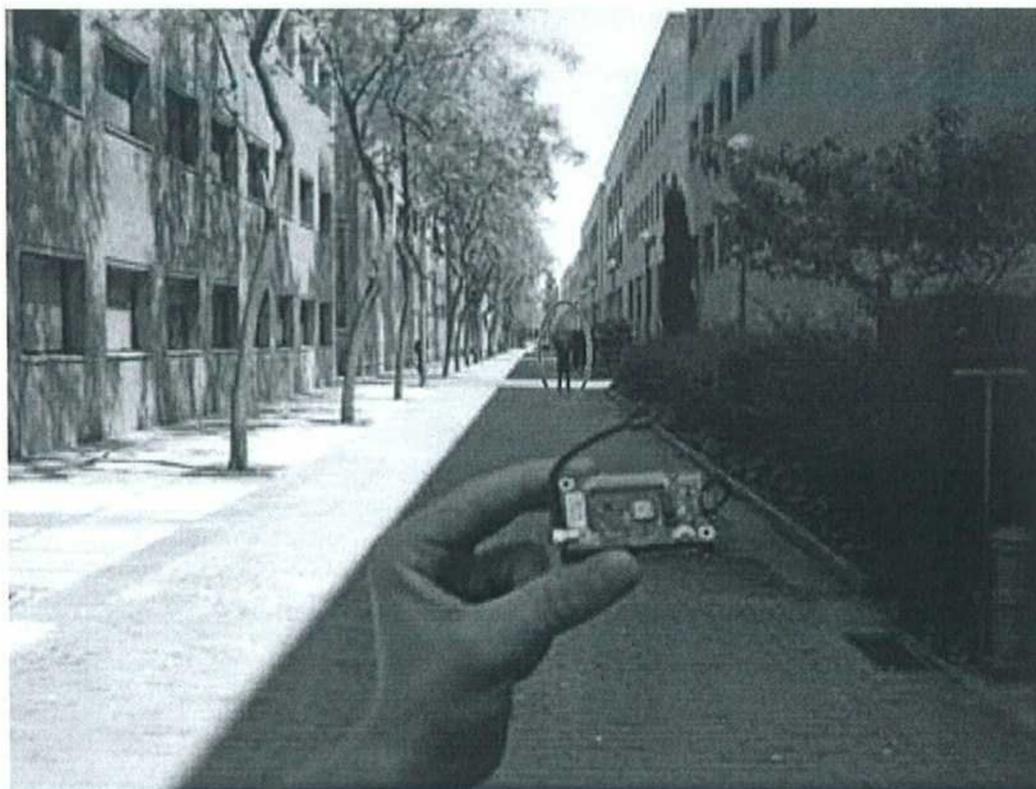


Plataforma WSN/NIMS II

Primeras experiencias en CIMNE

J. Jiménez
A. Priegue
E. Oñate



Plataforma WSN/NIMS II

Primeras experiencias en CIMNE

J. Jiménez
A. Priegue
E. Oñate

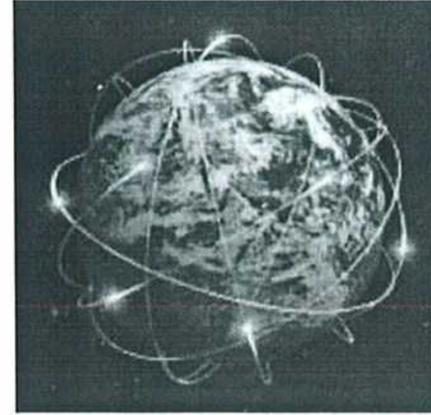
Publicación CIMNE N°-272, Mayo 2005

ÍNDICE

Redes de sensores sin cable: Un antes y un después	1
Tecnologías inalámbricas	2
ZigBee	2
Bluetooth	3
La Norma IEE 802.11	4
Plataforma WSN: Software	5
Sistema Operativo: TinyOS	5
Herramienta de consultas: TinyDB	5
Lenguaje de programación: nesC	5
Software de monitoreo: Mote-View	6
Entorno Unix: Cygwin	6
Plataforma WSN: Hardware	7
Una primera ojeada al Mote-Kit5040	7
Motas: Mica2 y Mica2Dot	8
Mica2 (MPR4x0)	8
Mica2Dot (MPR5x0)	9
Gateways: MIB510 Interface Boards	10
Sensores: MTS/MDA	11
MTS300CA/MTS310CA	12
MTS510CA	14
MDA500CA	14
Pruebas realizadas en CIMNE	15
Compilación y carga de código en una mota Mica2	15
Validación de tarjetas de sensores con XListen	17
Comunicación por radiofrecuencia entre motas	19
Medida y monitoreo de una pequeña red de sensores	20
Anexo: La tecnología WSN aplicada a un mundo real	24
Referencias	28

Redes de sensores sin cable: Un antes y un después

Los investigadores hablan ya de una nueva generación de sensores, capaces de organizarse así mismos, conectarse en red de manera inalámbrica y que podrían generar una revolución similar a la que tuvo la aparición de Internet en los años 70 del siglo pasado.



Internet nos conectó a una red planetaria de información - infinidad de bits almacenados en memorias y discos duros de ordenador -. Pero ahora, gracias a un desarrollo revolucionario de los sensores inalámbricos altamente miniaturizados, Internet se está extendiendo también hacia el mundo físico.

Lo llaman "la Integración de Internet" y va a transformar nuestra capacidad de entender y manejar el mundo físico a nuestro alrededor.

Al tratarse de una red autoorganizada e inteligente, los sensores filtran toda la información en bruto que reciben antes de enviar los descubrimientos importantes a la base central de operaciones.

Potencialmente, estos sensores podrían generar redes que vigilaran la mayoría del planeta, desde los modelos de compra de la gente hasta los movimientos de personas sospechosas. Si a esto le unimos los avances realizados en Inteligencia Artificial, algunos expertos vaticinan que en los próximos cinco años podrían incluso crearse sensores con inteligencia compleja.

"La mayoría del tráfico de datos ya no se realizará entre seres humanos, sino entre estas cucarachas de silicio".¹

1. Bob Metcalfe, investigador de la empresa Ember, con sede en Boston, que trabaja en el desarrollo de este tipo de sensores.

Tecnologías inalámbricas

El término "inalámbrico" hace referencia a la tecnología sin cables que permite conectar varias máquinas entre sí. El uso de la tecnología inalámbrica supone liberarse de los cables sin sacrificar las posibilidades de conexión. Las limitaciones de espacio y tiempo desaparecen aumentando así la eficacia y productividad.

A continuación se detallan algunas de las tecnologías inalámbricas que habilitan la posibilidad de comunicación y transmisión de datos entre los nodos que forman parte de una red de sensores sin cable.

ZigBee



ZigBee es una alianza de 25 empresas, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, con el objetivo de auspiciar el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica de bajo coste.

Destacan empresas como Invensys, Mitsubishi, Philips y Motorola que trabajan para crear un sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional, para usarlo dentro de dispositivos de domótica, automatización de edificios (inmótica), control industrial, periféricos de PC y sensores médicos. Los miembros de esta alianza justifican el desarrollo de este estándar para cubrir el vacío que se produce por debajo del Bluetooth.

ZigBee, conocido con otros nombres como "HomeRF Lite", es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 250 kB/s y rangos de 10 m a 75 m. Puede usar las bandas libres ISM de 2,4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU).

Una red ZigBee puede estar formada por hasta 255 nodos, los cuales tienen la mayor parte del tiempo el *transceiver* ZigBee dormido con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas. El objetivo es que un sensor equipado con un *transceiver* ZigBee pueda ser alimentado con dos pilas AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años. Como comparativa la tecnología Bluetooth es capaz de llegar a 1 MB/s en distancias de hasta 10 m operando en la misma banda de 2,4 GHz, sólo puede tener 8 nodos por celda y está diseñado para mantener sesiones de voz de forma continuada.

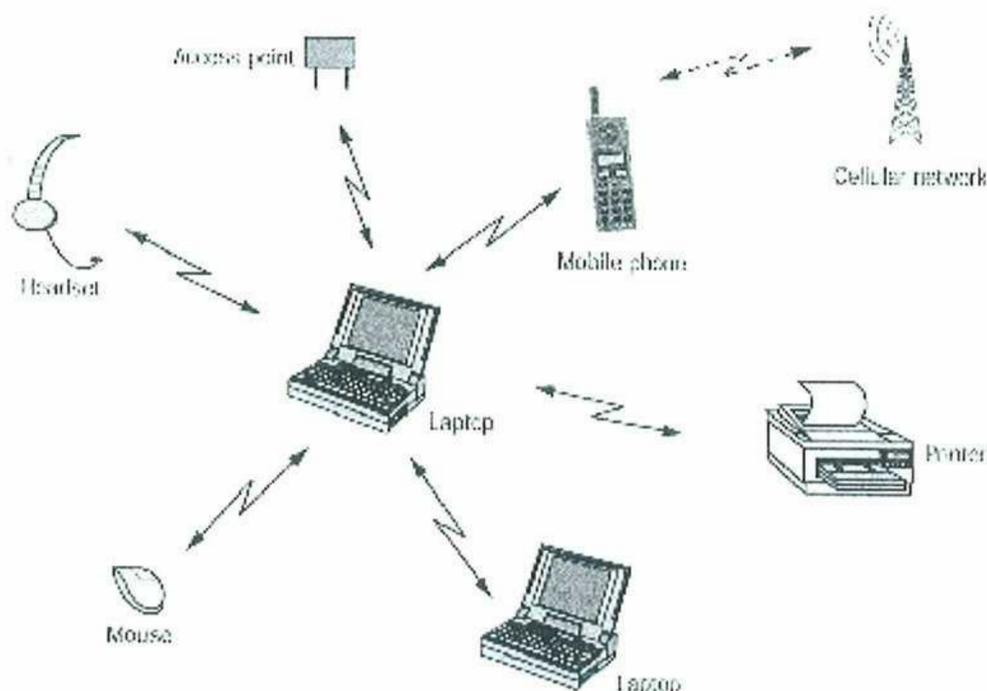
Los módulos ZigBee serán los transmisores inalámbricos más baratos jamás producidos de forma masiva. Con un coste estimado alrededor de los 2 euros dispondrán de una antena integrada, control de frecuencia y una pequeña batería.

Al igual que Bluetooth, el origen del nombre es oscuro, pero la idea vino de una colmena de abejas pululando alrededor de su panal y comunicándose entre ellas.

Bluetooth

Bluetooth es la norma que define un estándar global de comunicación inalámbrica, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia. Los principales objetivos que se pretende conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos
- Eliminar cables y conectores entre éstos
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre nuestros equipos personales



La tecnología Bluetooth comprende hardware, software y requerimientos de interoperabilidad, por lo que para su desarrollo ha sido necesaria la participación de los principales fabricantes de los sectores de las telecomunicaciones y la informática, tales como: Ericsson, Nokia, Toshiba, IBM, Intel y otros.

Posteriormente se han ido incorporando muchas más compañías, y se prevé que próximamente los hagan también empresas de sectores tan variados como: automatización industrial, maquinaria, ocio y entretenimiento, fabricantes de juguetes, electrodomésticos, etc. con lo que en poco tiempo se nos presentará un panorama de total conectividad de nuestros aparatos tanto en casa como en el trabajo.

Bluetooth opera en la banda libre de radio ISM a 2.4 Ghz. Su máxima velocidad de transmisión de datos es de 1 Mbps. El rango de alcance Bluetooth depende de la potencia empleada en la transmisión. La mayor parte de los dispositivos que usan Bluetooth transmiten con una potencia nominal de salida de 0 dBm, lo que permite un alcance de unos 10 metros en un ambiente libre de obstáculos.

Las conexiones son uno a uno con un rango máximo de diez metros, aunque utilizando amplificadores se puede llegar hasta los 100 metros, pero en este caso se introduce alguna distorsión. Los datos se pueden intercambiar a velocidades de hasta 1 Mbit/s. El protocolo bandabase que utiliza Bluetooth combina las técnicas de circuitos y paquetes para asegurar que los paquetes lleguen en orden.

El Grupo Especial de Interés en Bluetooth (SIG por sus siglas en inglés) anunció una “adhesión” a la versión 1.2 de la especificación Bluetooth, denominada Enhanced Data Rate (EDR). La especificación mejorada logra una tasa máxima de datos de 2.1 Mbps -- tres veces más que la tasa actual—usando el esquema de modulación PSK (Phase Shift Keying), el cual habilita que sea transmitida más data en cada paquete enviado sobre el radio de enlace de Bluetooth.

La Norma IEE 802.11

La norma IEE 802.11 nació en 1997, y sólo estaban contempladas las velocidades de transferencia de 1 y 2 Mbits/s. La reforma en 1999 dotó a esta norma de mayor velocidad, hasta 11 Mbits/s con adaptación automática. Los sistemas IEE 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.

La norma 802.11 ha sufrido diferentes extensiones sobre la norma para obtener modificaciones y mejoras. De esta manera se tienen las siguientes especificaciones:

- * 802.11 Especificación para 1-2 Mbps en la banda de los 2.4GHz, usando salto de frecuencias(FHSS) o secuencia directa (DSSS).
- * 802.11b Extensión de 802.11 para proporcionar 11Mbps usando DSSS.
- * Wi-Fi (Wireless Fidelity) Promulgado por el WECA para certificar productos 802.11b capaces de interoperar con los de otros fabricantes.
- * 802.11a Extensión de 802.11 para proporcionar 54Mbps usando OFDM.
- * 802.11g Extensión de 802.11 para proporcionar 20-54Mbps usando DSSS y OFDM. Es compatible hacia atrás con 802.11b. Tiene mayor alcance y menor consumo de potencia que 802.11a.

Plataforma WSN: SOFTWARE

El software del que se dispone en CIMNE es el proporcionado por Crossbow Technology, empresa proveedora del kit de desarrollo profesional MOTE-KIT5040. Toda esta tecnología es principalmente open-source y puede ser descargada desde su página Web: www.xbow.com.

Sistema Operativo: TinyOS

Un entorno ejecutable basado en componentes, diseñado para proporcionar soporte a sistemas profundamente integrados con restricciones extremas de hardware.

TinyOS es un sistema operativo diseñado para redes de sensores inalámbricos. Utiliza una arquitectura basada en componentes que proporciona rapidez en la innovación y la implementación al mismo tiempo que minimiza el tamaño del código, requisito necesario debido a las fuertes limitaciones de memoria inherentes a las redes de sensores.

La librería de componentes de TinyOS incluye protocolos de red, servicios distribuidos, drivers de sensores y herramientas de adquisición de datos – todos ellos pueden utilizarse tal cual o afinarse para aplicaciones personalizadas -. El modelo de ejecución orientado a eventos de TinyOS permite una alta granularidad en la gestión de energía al mismo tiempo que habilita la flexibilidad de planificación, necesaria debido a la naturaleza impredecible de las comunicaciones inalámbricas y las interfaces del mundo físico.

TinyOS ha sido portado a más de una docena de plataformas y a numerosas tablas de sensores. Una amplia comunidad lo utiliza en el mundo de la simulación para desarrollar y probar numerosos algoritmos y protocolos. Versiones recientes han recibido más de 10.000 descargas. Más de 500 empresas y grupos de investigación están utilizando TinyOS en motas Crossbow. Numerosos grupos están aportando código activamente a la web de sourceforge y trabajando conjuntamente para establecer servicios de red estándares e interoperables, contruidos desde una base de experiencia directa y afinados a través de análisis competitivos en un entorno abierto.

Herramienta de consultas: TinyDB

TinyDB es un sistema de procesamiento de consultas para extraer información desde una red de sensores TinyOS. Al contrario que otras soluciones para procesamiento de datos en TinyOS, TinyDB no requiere que el usuario escriba código C para los sensores. En su lugar, TinyDB ofrece una interfaz simple parecida a SQL para especificar los datos a los que se quiere acceder, incluyendo parámetros adicionales como el intervalo de actualización de los datos.

Lenguaje de programación: nesC

nesC es una extensión del lenguaje de programación C diseñado para incorporar los conceptos estructurales y el modelo de ejecución de TinyOS.

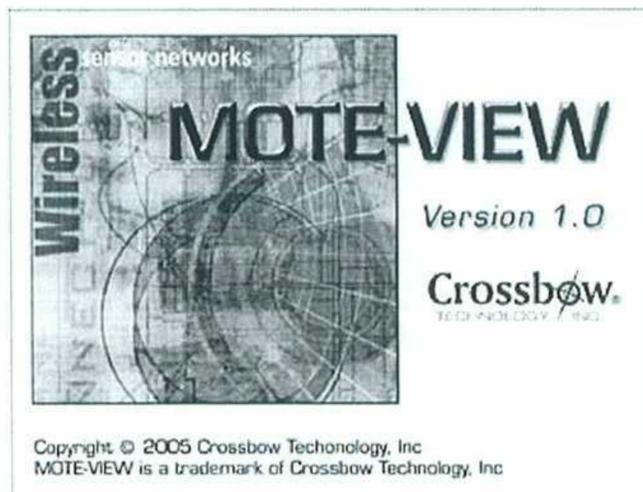
Los conceptos básicos de nesC son:

- Separación entre construcción y composición: los programas están formados por componentes que se conectan entre sí para formar programas completos. Los componentes tienen concurrencia interna en forma de flujos de control. Los flujos de control pueden acceder a los componentes a través de sus interfaces.

- Especificación del comportamiento de los componentes mediante un conjunto de interfaces. Las interfaces pueden ser ofrecidas o usadas por componentes. Las interfaces ofrecidas pretenden representar la funcionalidad que el componente ofrece a su usuario, las interfaces utilizadas representan las funcionalidades que el componente necesita para realizar su trabajo.
- Los interfaces son bidireccionales: especifican un conjunto de funciones a implementar en el proveedor (comandos) y un conjunto a implementar por el usuario de la interfaz (eventos). Típicamente los comandos se invocan descendientemente, desde la aplicación hacia los componentes cercanos al hardware mientras que los eventos se invocan ascendientemente. Esto incrementa la eficiencia, facilita el diseño robusto y permite un mejor análisis estático de los programas.

Software de monitoreo: MOTE-VIEW

MOTE-VIEW se diseñó para ser la interfaz de usuario primaria entre un usuario y una red de sensores inalámbricos. MOTE-VIEW está destinado a usuarios finales como un paquete software para simplificar la instalación y la monitorización. MOTE-VIEW ofrece una manera fácil de registrar los datos de sensores inalámbricos en una base de datos, analizar y mostrar las lecturas de los sensores. Los datos de los sensores pueden almacenarse en una base de datos en el PC o en una base de datos autónoma en una puerta de enlace o *gateway*.



- Históricos y graficación en tiempo real.
- Mapa topológico y visualización de redes.
- Exportación de datos en formato CSV y XML.
- Impresión de resultados gráficos.
- Programación de motas: MoteConfig.
- Compatibilidad con Windows® XP y 2000 SP4.

Entorno UNIX: CYGWIN

Cygwin es un completo entorno UNIX utilizable en plataformas Windows. Básicamente se trata de una dll que emula este entorno de trabajo y, además, consta de multitud de paquetes UNIX portados para ser utilizados bajo este emulador.

Plataforma WSN: HARDWARE

Una primera ojeada al MOTE-KIT5040

El hardware con el que cuenta CIMNE es el que viene incluido en el kit de desarrollo profesional, MOTE-KIT5040, proporcionado por Crossbow. Éste se puede clasificar, a grosso modo, en tres grandes grupos: motas, sensores y puertas de enlace (*gateways*).

MOTAS

Estas plataformas hardware consisten en tarjetas procesadoras con radio (*MPR: mote processor radio*), comúnmente referidas como motas. Estos dispositivos alimentados con pilas ejecutan XMesh, una pila de protocolos de red desarrollada por Crossbow. Además de ejecutar Xmesh, cada mota opera sobre TinyOS.

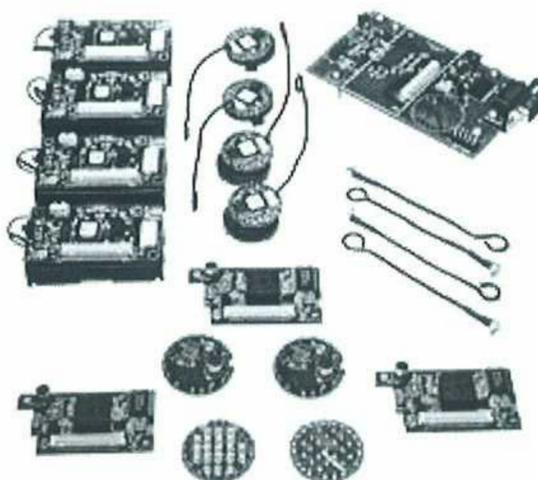
SENSORES

Las tarjetas de sensores y de adquisición de datos (MTS y MDA) se conectan directamente a las motas. El soporte de una amplia gama de sensores incluye sensores incrustados así como interfaces para sensores externos.

PUERTAS DE ENLACE (GATEWAYS)

La puerta de enlace Stargate y las tarjetas interfaz para motas (MIB) permiten a los desarrolladores conectar motas a un PC, una PDA, Internet u otros tipos de redes inalámbricas.

Los componentes hardware que incluye el kit profesional MOTE-KIT5040 son los que se muestran a continuación:

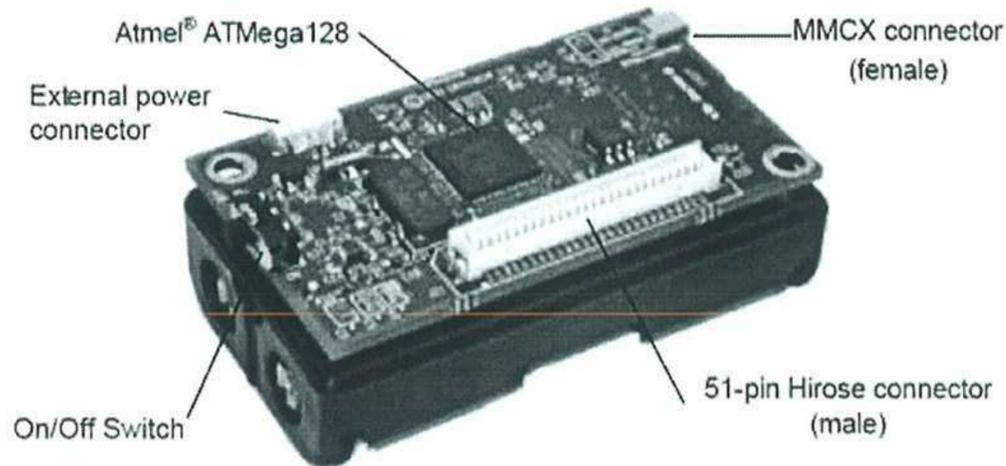


- 4 motas MICA2.
- 4 motas MICA2DOT.
- 3 tarjetas de sensores MTS310 (Aceleración, Magnetismo, Luz, Temperatura, Micrófono y Zumbador).
- 2 tarjetas de sensores MTS510 (Aceleración, Luz, Micrófono).
- 2 tarjetas de adquisición de datos MDA500.
- 1 tarjeta programadora y estación base (*gateway*) MIB510.
- Software Mote-View.
- Manuales de usuario del hardware.
- Guía rápida de TinyOS.
- Disponible en 315MHz, 433MHz y 868/916MHz.

MOTAS: MICA2 y MICA2DOT

MICA2 (MPR4X0)

Las series de hardware MPR400 (916 MHz), MPR410 (433 MHz) y MPR420 (315 MHz) son una de las últimas generaciones de tecnología de motas. Todos los modelos utilizan un potente micro-controlador Atmega 128L y una radio de frecuencia ajustable con un extenso alcance. Las radios de las series MPR4X0 y MPR5X0 son compatibles y se pueden comunicar entre ellas.



El conector MMCX es el dispositivo hardware que permite incorporar una antena externa, necesaria para la comunicación inalámbrica.

El conector de 51 pins ofrece una interfaz de usuario para tarjetas de sensores adicionales. Este conector incluye interfaces para alimentación y tierra, control de potencia de sensores periféricos, entradas ADC para leer las salidas de los sensores, una interfaz UART y I2C, E/S digital de propósito general y otros.

Las MPR400 se alimentan mediante pilas. La forma de las MPR400 se diseñó para coincidir con la de dos pilas AA; sin embargo se puede utilizar cualquier combinación de baterías con un voltaje de entre 2.7 y 3.3 V DC.

Las MICA2 se pueden alimentar externamente mediante:

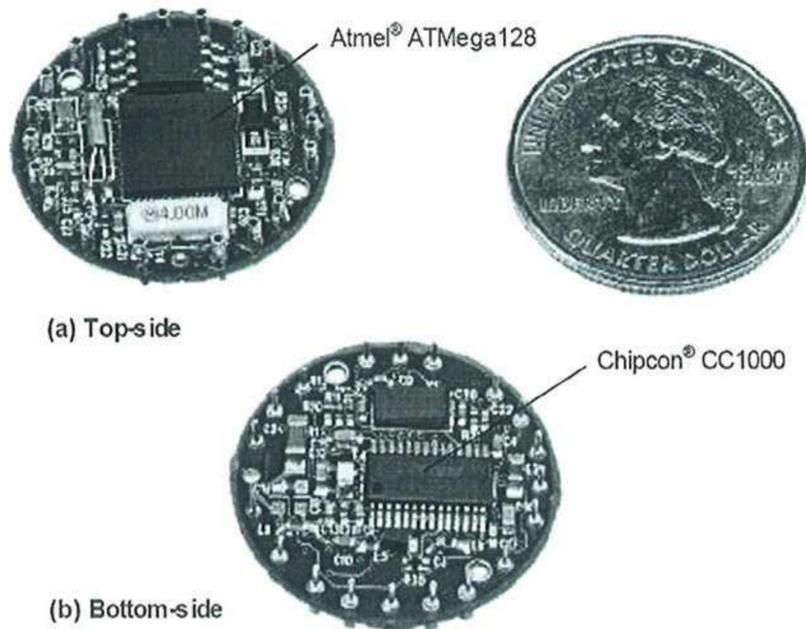
1. El conector de 51 pins.
2. El conector Moles de 2 pins.

Las MICA2 incluyen una memoria flash de 4 Mbits para almacenar datos, mediciones y otros datos definidos por el usuario. TinyOS soporta un micro sistema de ficheros que corre sobre este componente de memoria. El dispositivo de memoria flash soporta más de 100.000 lecturas de medición.

MICA2DOT (MPR5X0)

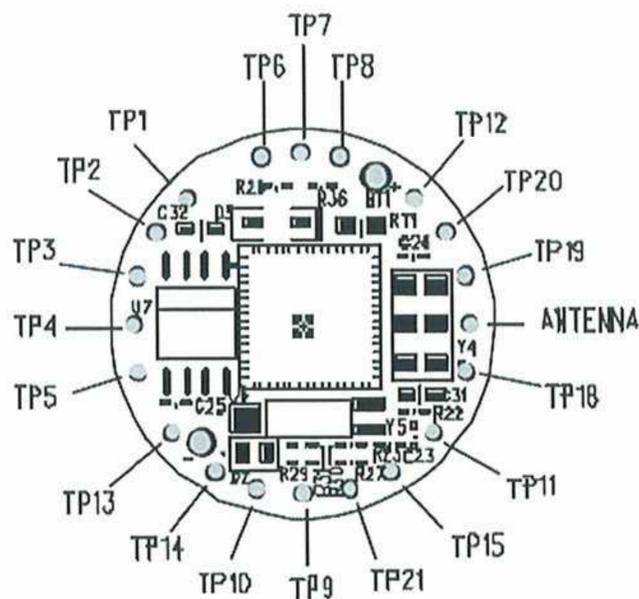
Las MPR500 (916 MHz), MPR510 (433 MHz) y MPR520 (315 MHz) se alimentan con pilas. La forma de las MPR500 se diseñó para coincidir con una pila de botón; sin embargo se puede utilizar cualquier combinación de baterías con un voltaje de entre 2.7 y 3.3 V DC.

Las MICA2DOT, al igual que las MICA2, incluyen una memoria flash de 4 Mbits para almacenar datos, mediciones y otros datos definidos por el usuario. TinyOS soporta un micro sistema de ficheros que corre sobre este componente de memoria. El dispositivo de memoria flash soporta más de 100.000 lecturas de medición.



La interfaz de las MPR500 consiste en una serie de 19 pins distribuidos alrededor de la superficie circular de la mota, tal como muestra la siguiente imagen.

Estos pins representan un subconjunto de los disponibles en las MPR400. Incluyen pins de control de potencia, canales ADC, alimentación, tierra, E/S digital de propósito general y el puerto serie para programación. Para aplicaciones con más E/S digital, los pins AD pueden ser reconfigurados como entrada/salida digital pero no como ambas a la vez.



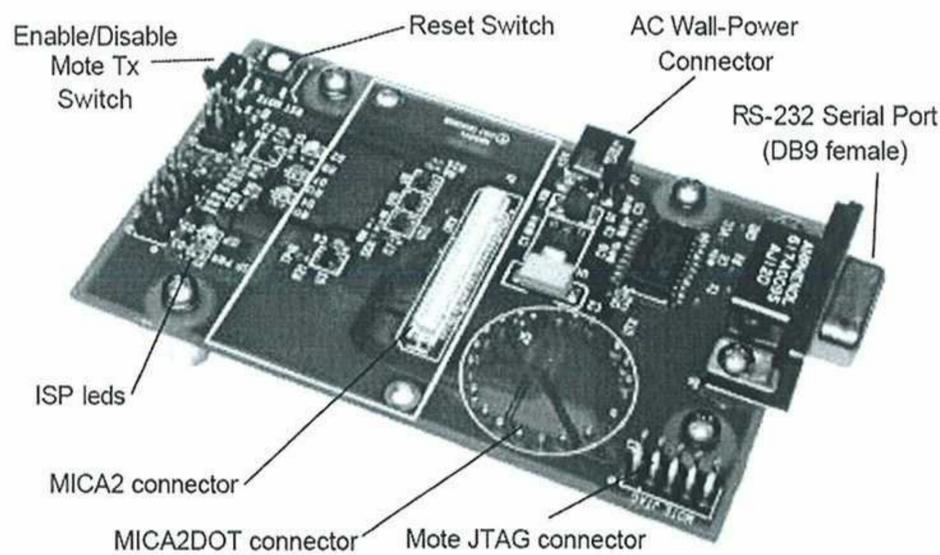
A continuación se muestra una tabla comparativa de las tres grandes familias de motas: MICA, MICA2, MICA2DOT.

Mote Hardware Platform	MICA2	MICA2DOT	MICA
Models (as of Nov. 2003)	MPR400/410/420	MPR500/510/520	MPR300/310
10-Bit ADC	✓	✓	✓
Digital I/O	✓	✓	✓
UART	✓		✓
LEDs	3	1	3
AM Radio			✓
FM Tunable Radio	✓	✓	
Base Radio Frequency (MHz)	916/433/315	916/433/315	916/433
Flash Data Logger Memory	✓	✓	✓
Antenna Connector	✓		
3.3V Booster			✓

GATEWAYS: MIB510 Interface Boards

La tarjeta MIB510 es una tarjeta interfaz multipropósito usada en conjunto con las familias de motas MICA y MICA2DOT, pues sólo funciona con procesadores Atmega 128. Esta tarjeta ofrece energía a los dispositivos a través de un adaptador de energía externo y habilita una interfaz con puerto serie RS232 para poder reprogramar los procesadores de las motas. Incluyendo a su vez un conector específico para la reprogramación de las MICA2DOT.

Para reprogramar las motas basta con conectar la tarjeta MIB510 al puerto paralelo del PC, acoplar la mota en la tarjeta, usando los conectores de pins correspondientes, y finalmente ejecutar el software que se requiere para descargar la aplicación del PC a la mota.



Tal como muestra la imagen anterior, la tarjeta MIB510 incluye un procesador en la placa (ISP) encargado de programar las motas. El código es descargado al ISP, por el puerto serie, y este procesador programa el código dentro de la mota.

El procesador ISP tiene dos leds, 'SP PWR' (verde) y 'ISP' (rojo). 'SP PWR' es usado para indicar el estado de energía de la tarjeta MIB510 y si el led 'ISP' está encendido significa que la MIB510 tiene el control del puerto serie. Si este último parpadea es porque el botón de RESET está activado.

El interruptor RESET de la tarjeta MIB510 resetea tanto el procesador ISP como el procesador de la mota. Reseteando en primer lugar el procesador ISP.

SENSORES: MTS/MDA Sensor and Data Acquisition Boards

Las series MTS de tarjetas de sensores y las series MDA de sensores y tarjetas de adquisición de datos están diseñadas para interactuar con las motas MICA, MICA2 y MICA2DOT de Crossbow.

Estas tarjetas MTS y MDA permiten un gran abanico de diferentes modalidades sensoriales, así como hacer de interfaz a sensores externos. La siguiente tabla muestra las diferentes familias de tarjetas de sensores y adquisición de datos disponibles para cada familia de motas.

Chapter	Crossbow Part Name	Motes Supported	Sensors and Features
2	MTS101CA	MICA, MICA2	Light, temperature, prototyping area
3	MTS300CA	MICA, MICA2	Light, temperature, microphone, and buzzer
3	MTS310CA	MICA, MICA2	Light, temperature, microphone, buzzer, 2-axis accelerometer, and 2-axis magnetometer
4	MTS400CA	MICA2	Ambient light, relative humidity, temperature, 2-axis accelerometer, and barometric pressure
4	MTS420CA	MICA2	Same as MTS400CA plus a GPS module
5	MTS510CA	MICA2DOT	Light, microphone, and 2-axis accelerometer
6	MDA300CA	MICA2	Light, relative humidity, general purpose interface for external sensors
7	MDA500CA	MICA2DOT	Prototyping area

A continuación nos centraremos en las familias de tarjetas de sensores MTS310CA, MTS510CA y en la de adquisición de datos MDA500CA, que son de las que disponemos actualmente en CIMNE.

MTS300CA / MTS310CA

La MTS300CA (Figura 3-1a) y MTS310CA (Figura 3-1b) son flexibles tarjetas de sensores con una variedad de modalidades sensoriales. Estas modalidades pueden ser usadas en el desarrollo de redes de sensores, en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo detección de vehículos, estudios sísmicos, movimiento, extensiones acústicas, robótica y otras más.

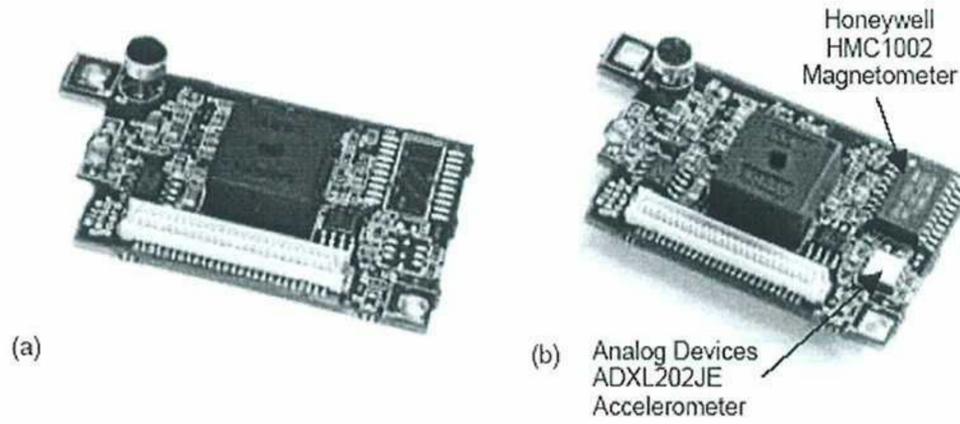
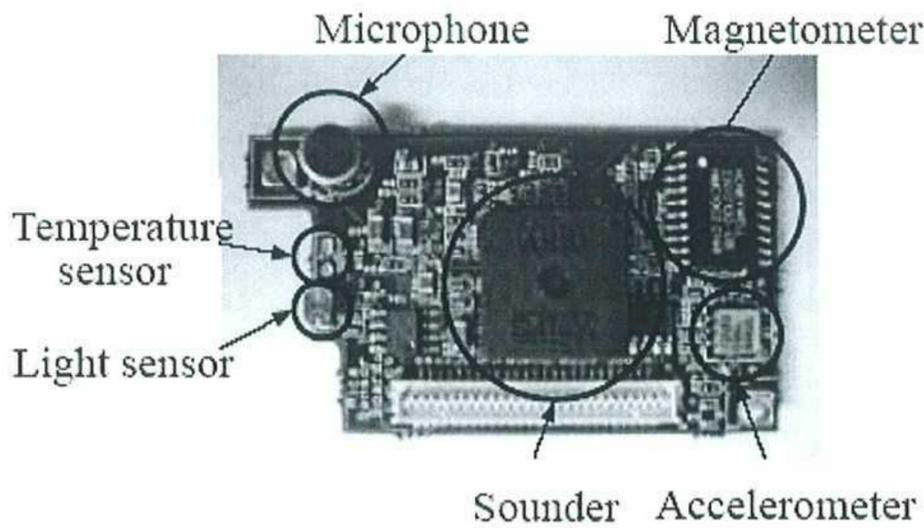


Figure 3-1. (a) MTS300CA and (b) MTS310CA with the accelerometer and magnetometer highlighted

Las modalidades sensoriales de las que consta una MTS310CA son las siguientes:



Micrófono

El circuito de micrófono se usa principalmente para medir/evaluar diferentes rangos acústicos, así como hacer posibles grabaciones acústicas.

Este circuito amplifica la salida de bajo nivel del micrófono. Esta salida puede ser alimentada directamente dentro del convertidor analógico-digital ADC2, usando el circuito selector de la salida del micrófono (MX1) para conectar la señal de salida del micrófono a la señal ADC2. Esta configuración es útil para grabaciones y medidas de acústicas generales. Los ficheros de audio resultantes de las grabaciones se almacenan en la memoria Flash de las motas MICA, MICA2 para ser descargados posteriormente, para su posible análisis.

Sounder o zumbador/vibrador

El zumbador es un simple resonador de frecuencia fija de 4 kHz. El impulso y el circuito que controla la frecuencia están ubicados en el interior del zumbador. La única señal que se requiere para encender y apagar el zumbador es Sounder_Power, que es controlada por el interruptor P1, que se ajusta por la línea de hardware PW2.

Usando grupos de motas con zumbadores y micrófonos se pueden construir sistemas de localización y posicionamiento: una mota activa el zumbador y envía, a la vez, un paquete RF por radio. Una segunda mota escucha el paquete RF y activa un contador en su procesador. Este contador se va incrementando hasta que el detector de tono detecta el zumbido. El valor del contador en ese momento es el "tiempo de vuelo" del sonido entre las dos motas, que puede ser transformado en la distancia aproximada entre ambas motas.

Sensores de luz y temperatura

El sensor de luz es una simple fotocélula CdSe. La salida de este sensor está conectada al canal 1 del convertidor analógico-digital (ADC1). Cuando hay luz la salida nominal del circuito es cercana a VCC y cuando está oscuro la salida es cercana a GND o cero.

El sensor de temperatura (Panasonic ERT-J1VR103J) es un componente de superficie instalado en la localización RT2. Configurado en un simple circuito divisor de voltaje, con una lectura nominal de media escala a 25°C. La salida de este circuito está conectada también al canal ADC1.

Acelerómetro 2-ejes

Este sensor puede ser usado para la detección de inclinación, movimiento, vibración y/o medición sísmica. La señal que controla este sensor es la PW4 y la salida está conectada a los canales ADC3 y ADC4.

Magnetómetro 2-ejes

Sensor sumamente sensible, capaz de medir el campo magnético terrestre y otros campos magnéticos más pequeños. Una útil aplicación de este sensor es la detección de vehículos. Varias pruebas realizadas con éxito han detectado perturbaciones de automóviles en radios de 5 metros. El sensor es un Honeywell HMC1002.

Todos los sensores detallados anteriormente tienen un circuito de control de encendido. Por defecto la condición del sensor es apagado, para minimizar el consumo de energía de la tarjeta de sensores. Las líneas hardware que controlan los encendidos se muestran en la siguiente tabla.

Sensor/Actuator	Control Signal
Sounder	PW2
Microphone	PW3
Accelerometer	PW4
Magnetometer	PW5
Temperature (RT2)	INT2
Photocell (R2)	INT1

Pruebas realizadas en CIMNE

Compilación y carga de código en una mota MICA2

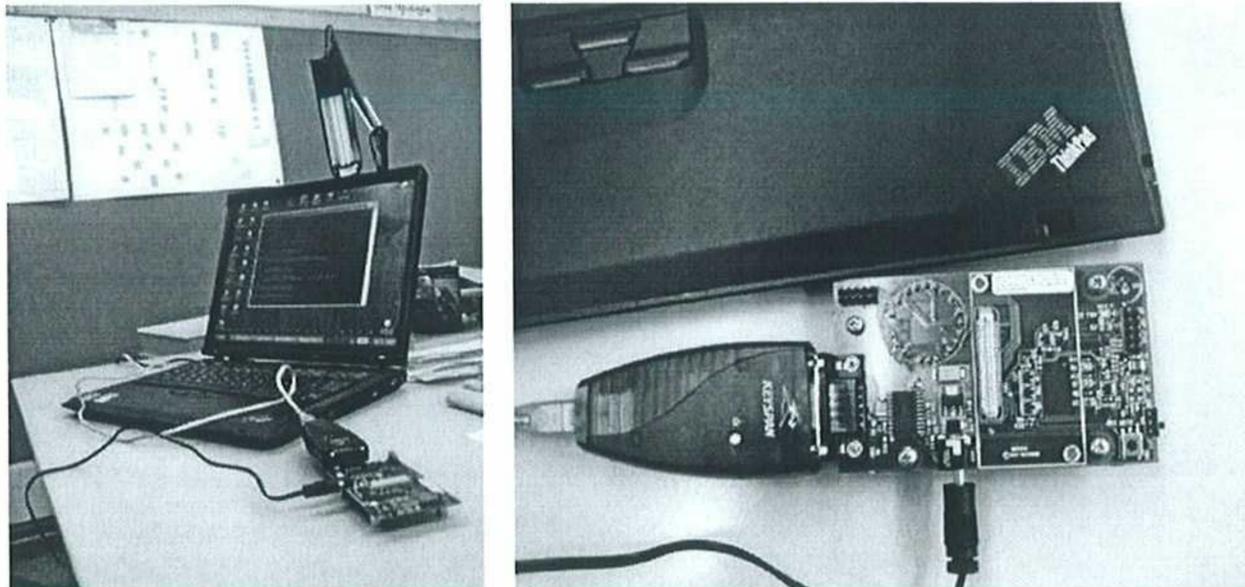
La primera prueba realizada con el kit de desarrollo con el que se dispone ha sido la de la programación de una mota MICA2. Para ello se han necesitado los siguientes componentes:

- 1 tarjeta MIB510
- 1 mota MICA2
- 1 cable RS232 con adaptador USB
- 1 PC
- Software: Cygwin

El objetivo de esta primera prueba ha sido familiarizarse con el sistema operativo TinyOS y el entorno de Cygwin, necesarios para la compilación y carga de código de aplicaciones en las motas. Así como tener un primer contacto con el hardware detallado anteriormente.

Los pasos que se han llevado a cabo para concluir satisfactoriamente la prueba han sido los siguientes:

En primer lugar se ha conectado la tarjeta MIB510 al PC, mediante el uso del cable RS232 y el adaptador USB. Manteniendo el interruptor de la tarjeta en OFF y alimentándola con la correspondiente toma de corriente tal como se muestra en las siguientes imágenes.



A continuación se ha abierto una nueva ventana Cygwin y navegado hacia el directorio de aplicaciones, donde se encuentran disponibles varios códigos de prueba, distribuidos en el software que se ofrece con el kit de desarrollo profesional de Crossbow. De estas aplicaciones se ha seleccionado la denominada como '*blink*', una aplicación sencilla, para empezar, que una vez cargada en la mota hará que parpadee el led rojo de ésta.

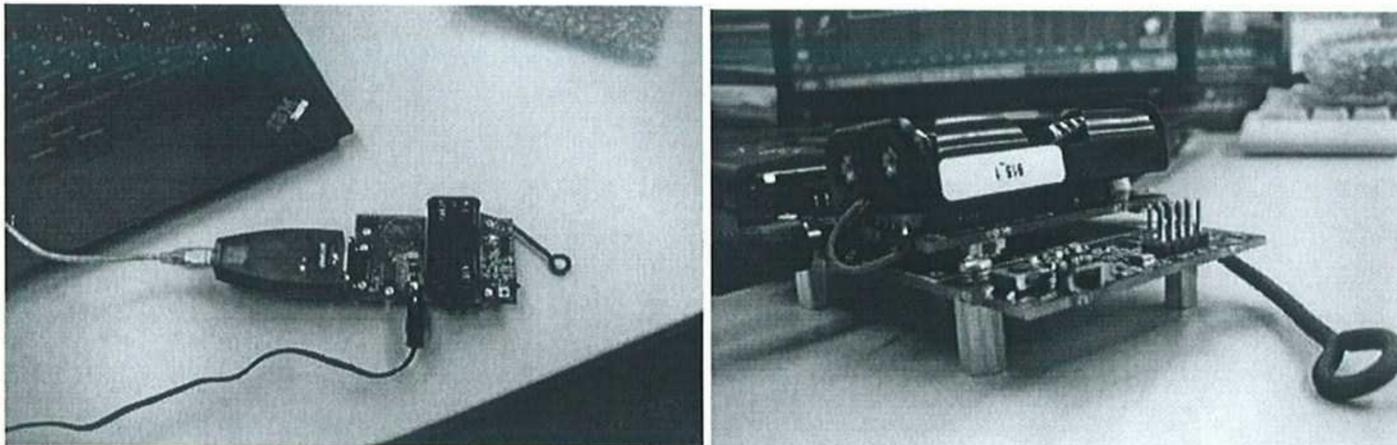
Una vez ubicados en el directorio de la aplicación en cuestión, se ha compilado dicho código, preparándolo para cargarlo en una mota de la familia MICA2, utilizando la siguiente sentencia en la ventana Cygwin:

```

/opt/tinyos-1.x/contrib/xbow/apps/Blink
Jordi Jimenez@JORDI ~
$ cdxapps
Jordi Jimenez@JORDI /opt/tinyos-1.x/contrib/xbow/apps
$ cd Blink
Jordi Jimenez@JORDI /opt/tinyos-1.x/contrib/xbow/apps/Blink
$ make mica2
mkdir -p build/mica2
  compiling Blink to a mica2 binary
ncc -o build/mica2/main.exe -Os -I../contrib/xbow/tos/platform/mica2 -finline
-limit=100000 -Wall -Wshadow -DDEF_TOS_AM_GROUP=0x81 -Wnesc-all -target=mica2 -f
nesc-cfile=build/mica2/app.c -board=micasb -DCC1K_DEFAULT_FREQ=RADIO_916BAND_CHA
NNEL_00 -DRADIO_XMIT_POWER=0xFF -DIDENT_PROGRAM_NAME="Blink" -DIDENT_PROGRAM_NAM
E_BYTES="66,108,105,110,107,0" -DIDENT_USER_HASH=0xf42d5997L -DIDENT_UNIX_TIME=0
x4291eab6L Blink.nc -lm
  compiled Blink to build/mica2/main.exe
      1414 bytes in ROM
      44 bytes in RAM
avr-objcopy --output-target=srec build/mica2/main.exe build/mica2/main.srec
Jordi Jimenez@JORDI /opt/tinyos-1.x/contrib/xbow/apps/Blink
$

```

El siguiente paso ha sido montar la mota MICA2 sobre la tarjeta MIB510, utilizando el conector de pins para dicho acoplamiento. Es sumamente importante recordar que antes de instalar la mota sobre la tarjeta programadora, se han de quitar las pilas de la mota o asegurarse que su interruptor marca que ésta está apagada (OFF).



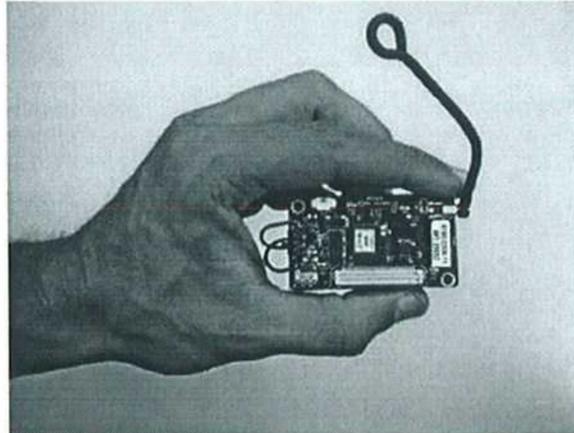
En último lugar, se ha procedido a la descarga de la aplicación *blink*, previamente compilada, desde el PC a la mota, por medio de la tarjeta MIB510. Para ello sólo ha sido necesario la ejecución de la siguiente instrucción, en la ventana Cygwin que anteriormente se había abierto, donde 4 indica, en este caso en particular, el puerto COM donde está conectado el cable RS232 al PC.

```

Jordi Jimenez@JORDI /opt/tinyos-1.x/contrib/xbow/apps/Blink
$ make mica2 reinstall mib510,4_

```

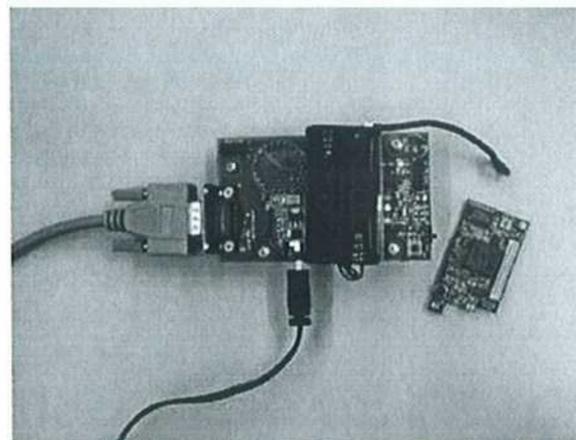
Una vez ejecutada la anterior instrucción, el código es cargado en la mota. Para probar el correcto funcionamiento de esta aplicación embebida, basta con desacoplar la mota de la MIB510, cargarla con las pilas correspondientes y encenderla posicionando su interruptor hacia la posición ON. Con ello y si todo ha funcionado bien, se puede comprobar el parpadeo del led rojo de la mota, ocasionado por la aplicación que se ha cargado en ella.



Validación de tarjetas de sensores con XListen

En esta segunda prueba el objetivo principal es la supervisión del correcto funcionamiento de una tarjeta de sensores, en este caso, la MTS310 y cómo obtener los valores medidos por ella. Para su ejecución han sido necesarios:

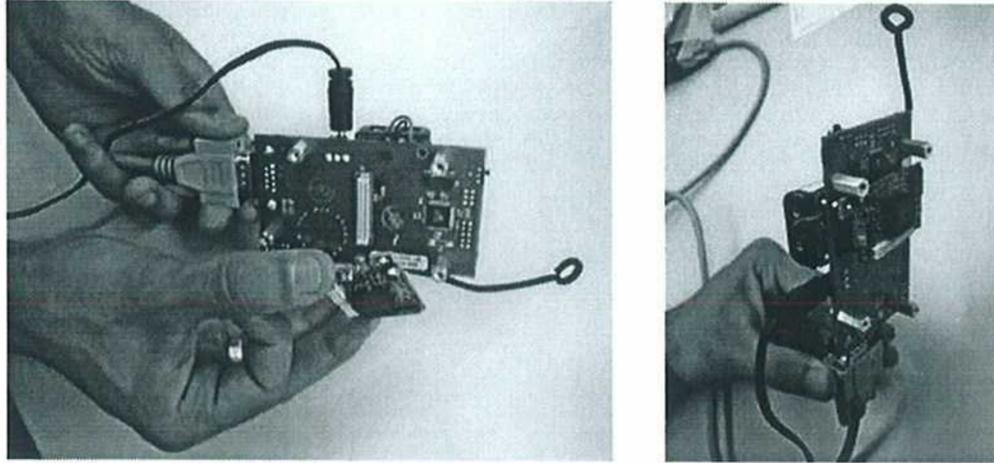
- 1 tarjeta MIB510
- 1 mota MICA2
- 1 tarjeta de sensores MTS310
- 1 cable RS232 con adaptador USB
- 1 PC
- Software: Cygwin



En primer lugar, se ha compilado y cargado la aplicación XSensorMTS300 en la mota. Para ello se han seguido los pasos anteriormente detallados en la primera prueba: conectar la tarjeta MIB510 al PC, instalar la mota MICA2 sobre ella y abrir una ventana Cygwin para buscar la aplicación, compilarla y cargarla.

```
Jordi Jimenez@JORDI ~  
$ cdxbow  
  
Jordi Jimenez@JORDI /opt/tinyos-1.x/contrib/xbow  
$ cd apps/XSensorMTS300  
  
Jordi Jimenez@JORDI /opt/tinyos-1.x/contrib/xbow/apps/XSensorMTS300  
$ make mica2 install,1 mib510 4
```

Con la mota programada, se ha colocado la tarjeta de sensores MTS310 en la parte inferior de la tarjeta MIB510, acoplándola con el conector de pins correspondiente, que hace que mota y sensores estén unidos.



Por último se ha utilizado la instrucción *xlisten* para escuchar los paquetes de información de los sensores que, a través de la mota, son captados y enviados por la tarjeta MIB510 al PC como paquete de datos RS232.

En las siguientes imágenes se puede observar la información que captan los sensores que incluye la tarjeta MTS310. Los datos de la primera figura se han tomado orientando el sensor de luz hacia uno de los fluorescentes de la zona de trabajo, mientras que en la segunda se ha ocultado dicho sensor bajo una de las mesas, por lo que se puede comprobar como disminuyen claramente las unidades que miden la luz tomada.

```

> /opt/tinyos-1.x/contrib/xbow/bin
mts310 id=01 vref= 17b thrm=022b light=03c2 mic=0089
  accelX=00ee accelY=01e1 magX=00af magY=00ae
MTS310 [sensor data converted to engineering units]:
  health:   node id=1 parent=0
  battery:  = 3304 mv
  temperature=28.63 degC
  light:    = 3106 ADC mv
  mic:      = 137 ADC counts
  AccelX:   = -4240.000000 g, AccelY:  = 620.000000 g
  MagX:     = 23.63 mgauss, MagY:    =23.50 mgauss

7e427d5e0000811d840101007b012b02c1038900ee00e101af00ad000000000000000000000005a1e [
391
mts310 id=01 vref= 17b thrm=022b light=03c1 mic=0089
  accelX=00ee accelY=01e1 magX=00af magY=00ad
MTS310 [sensor data converted to engineering units]:
  health:   node id=1 parent=0
  battery:  = 3304 mv
  temperature=28.63 degC
  light:    = 3103 ADC mv
  mic:      = 137 ADC counts
  AccelX:   = -4240.000000 g, AccelY:  = 620.000000 g
  MagX:     = 23.63 mgauss, MagY:    =23.36 mgauss

7e427d5e0000811d840101007c012f0204004f000401ec01ae00ad0000000000000000000000053c9 [
391
mts310 id=01 vref= 17c thrm=022f light=0004 mic=004b
  accelX=00f3 accelY=01ec magX=00ae magY=00ad
MTS310 [sensor data converted to engineering units]:
  health:   node id=1 parent=0
  battery:  = 3295 mv
  temperature=28.97 degC
  light:    = 12 ADC mv
  mic:      = 75 ADC counts
  AccelX:   = -4140.000000 g, AccelY:  = 840.000000 g
  MagX:     = 23.50 mgauss, MagY:    =23.36 mgauss

7e427d5e0000811d840101007c012f0204004f000401ec01ae00ad0000000000000000000000053c9 [
391
mts310 id=01 vref= 17c thrm=022f light=0004 mic=004f
  accelX=0104 accelY=01ec magX=00ae magY=00ad
MTS310 [sensor data converted to engineering units]:
  health:   node id=1 parent=0
  battery:  = 3295 mv
  temperature=28.97 degC
  light:    = 12 ADC mv
  mic:      = 79 ADC counts
  AccelX:   = -3800.000000 g, AccelY:  = 840.000000 g
  MagX:     = 23.50 mgauss, MagY:    =23.36 mgauss
    
```

De este modo se comprueba que la tarjeta de sensores funciona correctamente, pues se pueden verificar los datos leídos por ella, así como la correcta conexión entre sensores y mota, ya que es esta última la que está programada para captar los datos recibidos por los sensores y enviarlos, en este caso, al puerto serie de la tarjeta MIB510.

Comunicación por radiofrecuencia entre motas

El objetivo de esta tercera prueba es hacer que se comuniquen dos motas vía radiofrecuencia. Una de las dos hace de transmisora y la otra de receptora de los paquetes RF que le enviará la primera.

Para la realización de esta prueba se ha necesitado:

- 1 tarjeta MIB510
- 2 motas MICA2
- 1 cable RS232 con adaptador USB
- 1 PC
- Software: Cygwin

El primer lugar se ha programado la mota transmisora. Para ello se ha compilado y descargado en la mota la aplicación *CntToLedsAndRfm*, disponible en el paquete software distribuido por Crossbow en el kit de desarrollo profesional.

```
Jordi Jimenez@JORDI /opt/tingos-1.x/contrib/xbow/apps/XSensorMTS300
$ cd xbow

Jordi Jimenez@JORDI /opt/tingos-1.x/contrib/xbow
$ cd apps/CntToLedsAndRfm

Jordi Jimenez@JORDI /opt/tingos-1.x/contrib/xbow/apps/CntToLedsAndRfm
$ make mica2 install.1 mib510 4_
```

Desinstalada dicha mota de la tarjeta MIB510, si se activa, cargándola con sus pilas y poniendo a ON su interruptor, se comprueba que la aplicación embebida funciona si los tres leds de la mota (rojo, verde, amarillo) empiezan a encenderse y apagarse de forma incremental.

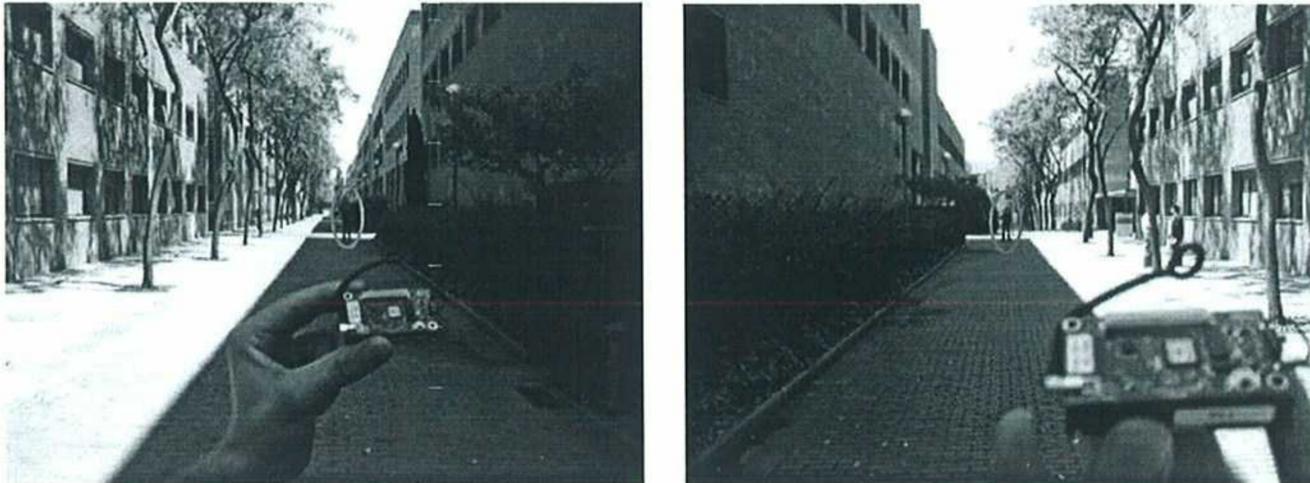
Para programar la mota receptora se han seguido los mismos pasos que para la transmisora, pero esta vez seleccionando la aplicación *RfmToLeds*.

```
Jordi Jimenez@JORDI /opt/tingos-1.x/contrib/xbow/apps/CntToLedsAndRfm
$ cd ../RfmToLeds

Jordi Jimenez@JORDI /opt/tingos-1.x/contrib/xbow/apps/RfmToLeds
$ make mica2 install.2 mib510 4
```

Con ambas motas programadas, se ha comprobado que la comunicación entre ellas es posible: cuando encendemos las motas, la transmisora envía paquetes RF a la receptora, haciendo que a esta última se les encienda, también de manera incremental, los leds. Si se mantiene encendida la mota receptora y se apaga la transmisora, los leds de la receptora se apagan automáticamente, pues ya no está recibiendo ningún paquete RF.

Se ha probado la transmisión entre las motas en diversas zonas y situaciones, para estudiar el alcance de la tecnología inalámbrica que las comunica.



En las imágenes anteriores se puede observar un alcance de hasta 50 metros donde se ha verificado que la comunicación entre ambas motas es perfecta. También se han realizado pruebas de comunicación con obstáculos en el ambiente, como pueden ser paredes de madera y de hormigón, donde se ha verificado también que las motas se comunican atravesándolas, aunque en estos casos la distancia entre ellas debía ser menor para tener una completa transmisión de datos. Por último, mencionar que el alcance de transmisión nos ha permitido tener varias motas en diferentes plantas consecutivas del edificio, siempre estando, aproximadamente, alineadas en una misma vertical imaginaria.

Medida y monitoreo de una pequeña red de sensores

El objetivo de esta prueba es hacer una pequeña red inalámbrica de sensores, que midan temperatura, luz y nivel de ruido en diferentes puntos o lugares de nuestra zona de trabajo, obteniendo y visualizando los datos resultantes en el software Mote-View de Crossbow.

Para la realización de esta prueba ha sido necesario:

- 1 tarjeta MIB510
- 4 motas MICA2
- 3 tarjetas MTS310
- 1 cable RS232 con adaptador USB
- 1 PC
- Software: Mote-View

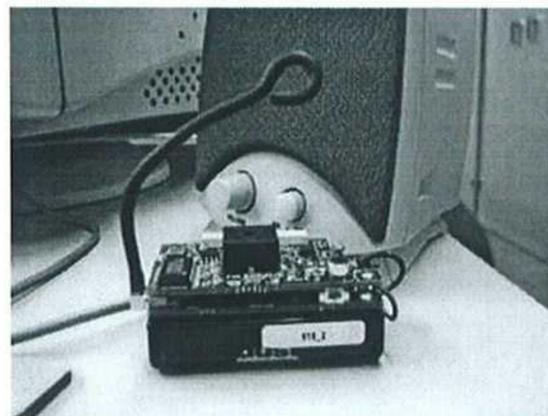
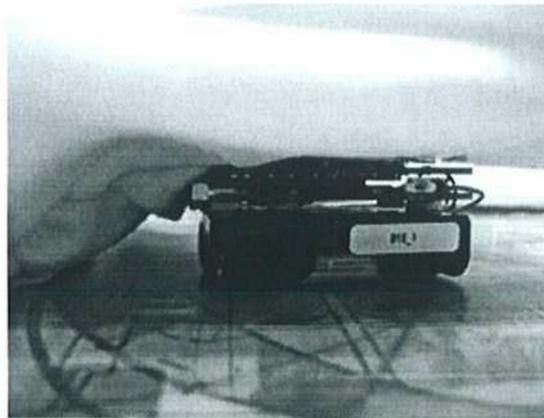
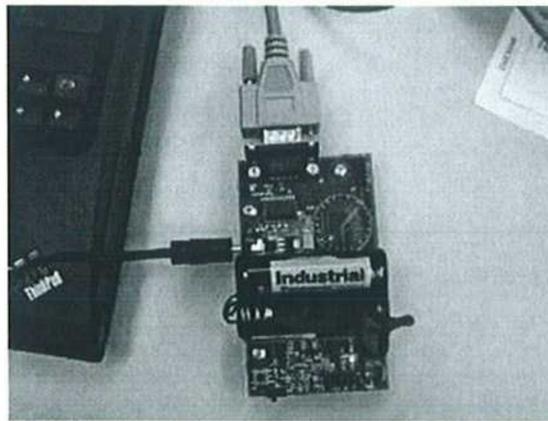
En esta prueba, en lugar de programar cada una de las motas con la aplicación XSensorMTS300, utilizando Cygwin, se han programado usando el software Mote-View, mediante el uso de MoteConfig, que permite cargar códigos pre-compilados a las motas a través de la tarjeta MIB510 por el puerto serie.

Una vez programadas las cuatro motas, a tres de ellas se les ha acoplado una tarjeta de sensores MTS310, que son las que toman los datos de temperatura, luz y ruido en los lugares seleccionados. Mientras que la mota que queda es la que se queda acoplada en la tarjeta MIB510, para hacer receptora de toda la información captada y enviarla al PC, donde se han monitoreado todos estos datos con las herramientas correspondientes que proporciona Mote-View.

Por lo tanto, una vez ubicadas las motas en los puntos a medir, cargadas con las pilas, se activan, posicionando su interruptor a ON y la tarjeta MIB510, que esta vez hace de pasarela (*gateway*), en posición OFF, empieza a captar información y a visualizarla en Mote-View.



En la imagen anterior se puede observar donde están ubicadas tres de las cuatro motas utilizadas: la mota acoplada en la tarjeta MIB510 (receptora), y dos de las tres motas que capturan datos, una de ellas tapadas ligeramente con una camiseta, para comprobar como afecta en la fotocélula que capta la intensidad de luz, y la más alejada, situada estratégicamente al lado de un altavoz en funcionamiento, para verificar el correcto funcionamiento del sensor de micrófono.



En las anteriores figuras se pueden apreciar dichas motas más de cerca:

La mota base o *gateway*, programada con identificador 0 (imagen superior izquierda), que no hace falta que esté cargada con las pilas, pues ya la alimenta la tarjeta MIB510.

La mota con identificador 1 (imagen superior derecha), situada a unos 50 centímetros de la estación base y ligeramente tapada con una camiseta.

La tercera mota, con identificador 2, situada aproximadamente a unos 3 metros de la base y, como se puede observar en la imagen inferior izquierda, muy cercana a un altavoz en funcionamiento.

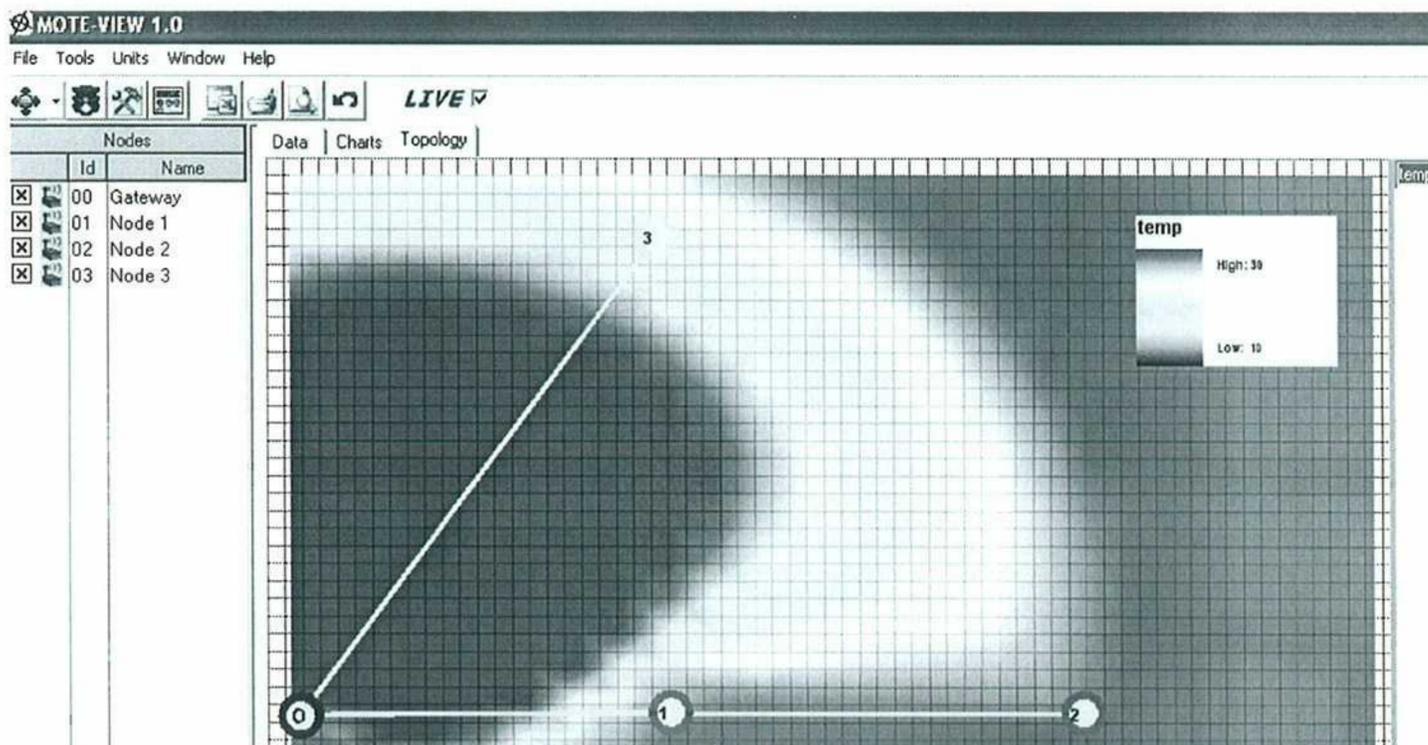
Y por último, en la imagen inferior derecha, la cuarta mota con identificador 3, que también capta y envía datos, situada en una planta superior del edificio, cerca de un aparato de aire acondicionado, para tener constancia de la diferencia de temperatura entre ambas plantas.

En las siguientes capturas de pantalla del software Mote-View se puede comprobar varios registros de datos tomados por estos sensores y enviados inalámbricamente a la estación, gracias a la red de motas.

Nodes		Data Charts Topology										
	Id	Name	Node Data								Time	
			Id	voltage	temp	light	accel_x	accel_y	mag_x	mag_y	mic	
<input type="checkbox"/>	00	Gateway	0	3,3 V	0,91 C	311	-1,36 g	-1,46 g	21,74 mga	27,55 mga	207	25/05/2005 12:37:54
<input type="checkbox"/>	01	Node 1	1	3,1 V	30 C	1	-0,09 g	-0,18 g	24,71 mga	24,71 mga	465	25/05/2005 12:38:05
<input type="checkbox"/>	02	Node 2	2	3,1 V	28,8 C	901	0,1 g	-0,19 g	24,85 mga	24,98 mga	569	25/05/2005 12:38:07
<input type="checkbox"/>	03	Node 3	3	3,13 V	25,19 C	922	0,01 g	-0,79 g	42,27 mga	24,85 mga	490	25/05/2005 12:38:05

En la anterior tabla del Mote-View se puede comprobar, en el menú de la izquierda, que todas las motas, debidamente identificadas, están activas y que la comunicación es perfecta, como indica el color verde de los iconos.

En las diferentes filas de la tabla de datos aparecen los valores medidos por los sensores, de los cuales cabe recalcar la diferencia de temperatura tomada por el sensor de la cuarta mota (id=3), respecto a los demás, debido a la presencia del climatizador. También destaca el nivel de luz tomado por el sensor tapado por la camiseta (id=1) y el nivel de ruido de la mota ubicada cerca del altavoz (id=2).



El software Mote-View también ofrece la posibilidad de realizar mapas topológicos, con cualquiera de los datos tomados por los sensores, en el caso de la imagen anterior, con los diferentes niveles de temperatura tomados en la última prueba realizada en CIMNE.

ANEXO

LA TECNOLOGÍA WSN APLICADA A UN MUNDO REAL

Smarter Sensors for: Environmental Remote Sensing



The importance of monitoring our physical environment has never been higher. Many groups - from agricultural operators to natural resource developers to biological researchers to homeland security - all need to make reliable, sensitive measurements in remote or dispersed locations. Crossbow's TinyOS based wireless solutions and low-cost MEMs based sensor capabilities enable breakthrough environmental monitoring performance for our customers in some of the harshest and most demanding applications including:

- Irrigation Management
- Frost Detection and Warning
- Pesticide Application
- Harvest Timing
- Bio-remediation and Containment
- Water Quality Measurement and Control

Sample parameters that may be monitored are:

- Air Temperature
- Relative Humidity
- Location (GPS)
- Motion (Acceleration)
- Ambient Light
- Solar Radiation
- Wind Speed/Direction
- Barometric Pressure
- Precipitation
- Soil Moisture/Temperature
- Dew Point (based on air temperature and relative humidity)
- Battery Health (Voltage)
- Radio Signal Strength

XYZ On A Chip: Integrated Wireless Sensor Networks for the Control of the Indoor Environment In Buildings

The project is a collaborative effort between four research centers at the University of California: The Center for the Built Environment (CBE), the Berkeley Sensor and Actuator Center (BSAC), the Berkeley Wireless Research Center (BWRC), and the Integrated Manufacturing Lab (IML), in the Department of Mechanical Engineering.

AIRFLOW MEASUREMENT TECHNOLOGY

We have developed a new algorithm for using ultrasonic chirp signals for measuring air velocity in open areas of buildings. The technology enables us to measure air velocity over arbitrarily long path lengths. Ultimately we plan to use networks of these sensors for flow visualization indoors. This work is important because air motion affects thermal comfort, indoor air quality, and energy consumption in buildings. It is also important because currently available technology is expensive and cannot produce spatially averaged readings.

MULTI-SENSOR, SINGLE-ACTUATOR CONTROL OF TEMPERATURE

We have developed an algorithm for using information from a sensor network to control multiple spaces in a building with a single actuator. Usually a single sensor placed in one of the spaces is used to control this type of system. Our results indicate that we can simultaneously reduce energy consumption and improve comfort by replacing the single sensor with a sensor network that has at least one sensor in each space. The performance improvement is achieved without changing the actuation, making the strategy ideal for retrofits in existing buildings.

MULTIPLE SENSOR CONTROL OF UFAD SYSTEMS

We have also studied the energy implications of using sensor networks to control systems that are designed to intentionally produce a temperature gradient indoors. These systems are called underfloor air distribution (UFAD) systems. They are becoming increasingly popular in commercial buildings. These systems are commonly controlled with a single temperature sensor. Our results indicate that we could significantly improve energy performance by using a sensor network with two or more sensors in each space to control such a system.

Design and Construction of a Wildfire Instrumentation System Using Networked Sensors

Collecting real time data from wildfires is important for life safety considerations, and allows predictive analysis of evolving fire behavior. One way to collect such data is to deploy sensors in the wild fire environment. FireBugs are small, wireless sensors (motes) based on TinyOS that self-organize into networks for collecting real time data in wild fire environments. The FireBug system combines state-of-the-art sensor hardware running TinyOS with standard, off-the-shelf World Wide Web and database technology for allowing users to rapidly deploy FireBugs and monitor network behavior.



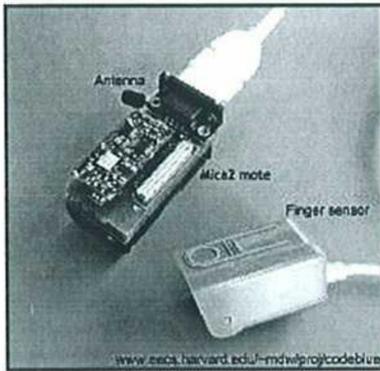
CodeBlue: Wireless Sensor Networks for Medical Care

Sensor networks permit data gathering and computation to be deeply embedded in the physical environment. This technology has the potential to impact the delivery and study of resuscitative care by allowing vital signs to be automatically collected and fully integrated into the patient care record and used for real-time triage, correlation with hospital records, and long-term observation.

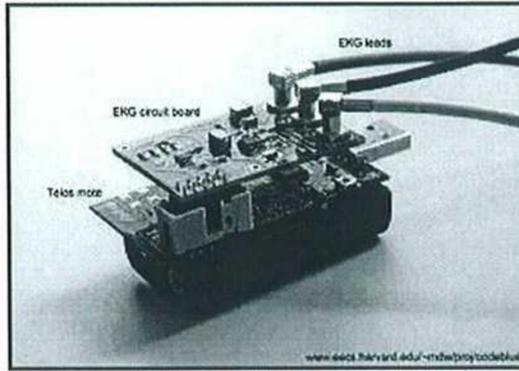
Vital sign data, such as pulse oximetry, are poorly integrated with pre-hospital and hospital-based patient care records. It is therefore difficult to study how duration and depth of hypoxemia affect patient outcome. Neither can one measure the impact on outcome of various maneuvers or therapeutic interventions that are meant to reverse the effects of hypoxemia.

Wireless Vital Sign Sensors

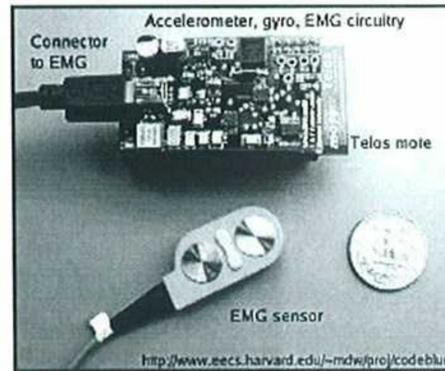
We have developed a small, wearable wireless pulse oximeter and 2-lead EKG based on the Mica2, MicaZ, and Telos sensor node platforms. These devices collect heart rate (HR), oxygen saturation (SpO2), and EKG data and relay it over a short-range (100m) wireless network to any number of receiving devices, including PDAs, laptops, or ambulance-based terminals. The data can be displayed in real time and integrated into the developing pre-hospital patient care record. The sensor devices themselves can be programmed to process the vital sign data, for example, to raise an alert condition when vital signs fall outside of normal parameters. Any adverse change in patient status can then be signaled to a nearby EMT or paramedic.



Wireless pulse oximeter sensor.

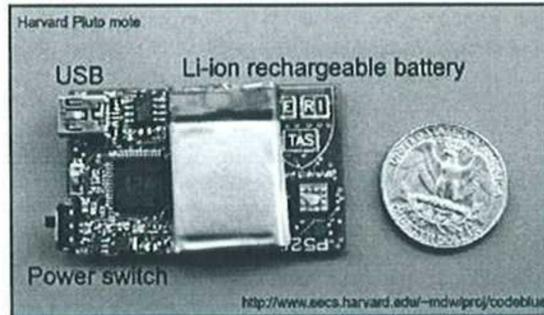


Wireless two-lead EKG.

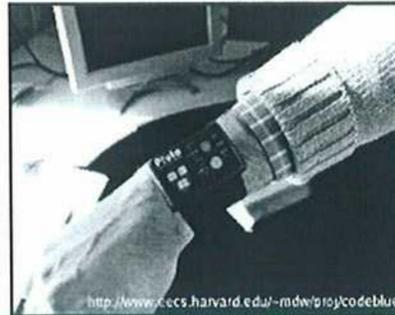


Accelerometer, gyroscope, and electromyogram (EMG) sensor for stroke patient monitoring.

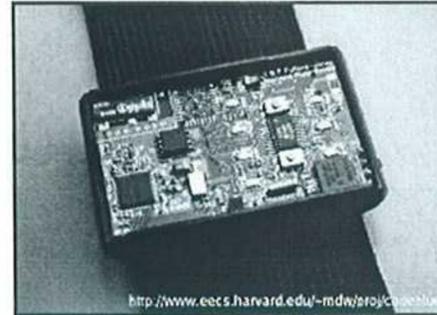
The Pluto mote, designed here at Harvard, is a scaled-down version of the Telos designed to be small, lightweight, and wearable. The Pluto incorporates a tiny, rechargeable Li-ion battery, small USB connector, and 3-axis accelerometer. It will be used initially for monitoring physical activity and motor functions.



The Harvard "Pluto" mote, designed to be small and wearable.

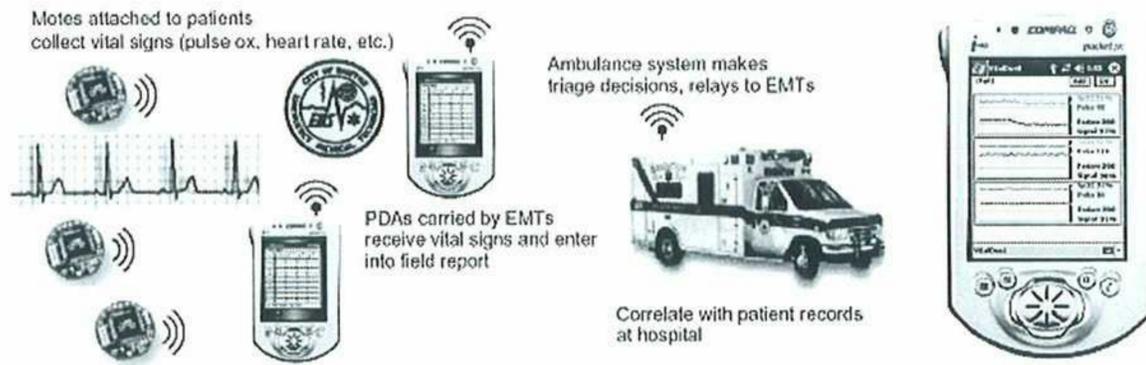


Pluto mote with case and wriststrap.



Pluto mote in case.

CodeBlue Software Platform



Example use of CodeBlue for emergency response.

PDA displaying real-time vital signs of multiple patients.

Referencias

Crossbow Wireless Sensor Networks

<http://www.xbow.com>
http://www.xbow.com/Industry_solutions/Environmental.htm
<http://www.xbow.com/Products/productsdetails.aspx?sid=61>

Redes de sensores

www.straddle3.net/context/03/es/2004_03_02.html
www.divulcat.com/divulgacion/sensores_una_nueva_revolucion_tecnologica__411.html

Tecnologías inalámbricas

www.zonablueetooth.com/que_es_bluetooth.htm
es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth

Manuales de usuario

MPR-MIB_Series_User_Manual_7430-0021-05_A.pdf
MTS-MDA_Series_User_Manual_7430-0020-03_A.pdf
Getting_Started_Guide_7430-0022-05_B.pdf

Mote-View

MOTE_VIEW_QuickStart_7410-0008-02_A.pdf
<http://www.xbow.com/Support/downloads.htm>

NescC:

<http://nescs.sourceforge.net>

TinyOS

<http://www.tinyos.net/>
<http://www.citris.berkeley.edu/technology/sensors/tinyos.html>

TinyDB

<http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/overview.html>
http://intel-research.net/berkeley/features/tiny_db.asp

Anexo

<http://www.cbe.berkeley.edu/research/briefs-wirelessxyz.htm>
<http://firebug.sourceforge.net/>
<http://www.eecs.harvard.edu/~mdw/proj/codeblue/>