

RED DE SENSORES BLUETOOTH PARA MONITOREAR VARIABLES DE UN SISTEMA DE CALORIMETRÍA DIRECTA



AUTOR

Carlos A. Amaya G.
Ingeniero Electrónico
Investigador del grupo CEMOS - UIS
carlos_alberto_amaya@hotmail.com
COLOMBIA

AUTOR

Norberto Ardila R.
Ingeniero Electrónico
Investigador del grupo CEMOS - UIS
norteclearo3@hotmail.com
COLOMBIA

AUTOR

Oscar M. Reyes Torres
Ingeniero Electrónico y
Magíster en Ingeniería, Área Electrónica
Profesor Asistente - Universidad Industrial de
Santander
Investigador del grupo CEMOS - UIS
omreyes@uis.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

Carlos Rodrigo Correa Cely, PhD
Doctor en ciencias en polímeros e Ingeniería y
Postdoctor
Profesor Titular - Universidad Industrial de
Santander
Director del grupo CEMOS (Control electrónico
Modelado y Simulación - UIS
crrcorrea@uis.edu.co
COLOMBIA

Fecha de Recepción del Artículo: Mayo 20 de 2007
Artículo Tipo 1

Fecha de Aceptación del Artículo Julio 3 de 2007

RESUMEN.

El objetivo principal de este trabajo es el diseño e implementación de la monitorización de los datos provenientes de un sistema de calorimetría directa utilizando la tecnología Bluetooth como interfaz inalámbrica para el transporte de los datos a un PC. Cada sensor posee un transmisor que se encarga de enviar los datos de manera inalámbrica al receptor, el cual actúa como un concentrador que reúne los datos de los sensores en una sola trama serial, con el fin que una aplicación reconozca, organice y reproduzca gráfica y numéricamente el valor correspondiente a la medición realizada por cada sensor.

PALABRAS CLAVE

Bluetooth
Calorimetría
Inalámbrico
Red de sensores
Monitorización
LabView.

ABSTRACT

The main objective of this work is the design and implementation of a monitoring data system, which are coming from the direct calorimetry system using Bluetooth technology as wireless interface for transportation of data into a PC. Each sensor includes a transmitter which sends the data to the receiver in a wireless way. The receiver is like a hub that gathers data from the sensors in a single serial data stream, with the objective that an application recognizes, organizes and

reproduces graphically and numerically the value associated with the measurement carried out by each sensor.

KEYWORDS:

Bluetooth
Calorimetry
Wireless
Sensor Network
Monitoring
LabVIEW.

INTRODUCCION

En el marco del proyecto titulado "Desarrollo de un sistema de calorimetría directa con comunicación inalámbrica para pacientes hospitalizados" el Grupo CEMOS¹ pretende detectar los cambios en el calor corporal en seres humanos, y así seguir la evolución clínica post-operatoria o evaluar la respuesta de un paciente a un determinado tratamiento terapéutico. La base de desarrollo de tal sistema es la aplicación de los actuales métodos para el sensado y medición de calor adecuándolos a esta necesidad en particular, complementado con el procesamiento de la señal, su transmisión no invasiva (de manera inalámbrica) y su análisis computacional para proveer de forma clara y precisa la información deseada. Dicho sistema está constituido fundamentalmente de varios sensores que se distribuyen en distintas partes del cuerpo del paciente para la medición de flujo de calor y temperatura [1][2].

En este trabajo se presenta el desarrollo de una red inalámbrica basada en Bluetooth para el transporte de datos y el diseño de un software de visualización de los mismos, con el fin de monitorizar desde un PC las mediciones provenientes del sistema de calorimetría directa.

1. MARCO TEÓRICO

La banda sin licencia ISM es el medio físico con el cual los sistemas de radio de cada dispositivo Bluetooth utilizan para comunicarse (2.4-2,4835 GHz para América). Debido a la libre operación de esta banda, los sistemas de radio deben soportar la interferencia que produce el medio. Para reducir la interferencia producida, Bluetooth utiliza la técnica de Espectro Ensanchado por Saltos de Frecuencia (FHSS), dividiendo la banda en 79 canales (en América), cada una de ellas con un ancho de 1 MHz en las que son accedidas de acuerdo a una secuencia de salto definido por el dispositivo maestro (1600 saltos por segundo en conexión) [3].

Para permitir el uso de un canal en la transmisión y recepción de información al mismo tiempo, Bluetooth utiliza la Duplexación por División de Tiempo (TDD). Esta técnica consiste en utilizar el canal físico con periodos de tiempo iguales llamados ranuras de tiempo (timeslot), cada una de 625 microsegundos. Ranuras de tiempo subsecuentes pueden ser usadas para la transmisión y recepción de información, lo cual resulta en un esquema bidireccional o dúplex.

En un enlace físico, existen diferentes maneras de transportar la información deseada, los cuales son denominados por la especificación Bluetooth como transportes lógicos. Típicamente son usados el SCO (Síncrono Orientado a Conexión) y ACL (Asíncrono Orientado a Desconexión).

El SCO soporta información con límite de tiempo como voz o datos de manera síncrona. Involucra reservación de ranuras de tiempo, es decir, el maestro reserva ranuras de tiempo periódicamente con el fin de garantizar una transmisión instantánea con el esclavo. El dispositivo maestro puede soportar hasta tres transportes SCO de un mismo esclavo o de diferentes esclavos y el esclavo puede soportar tres transportes SCO del mismo maestro o dos transportes SCO de diferentes dispositivos maestros y soporta velocidades de 128 Kbps de forma simétrica (64 Kbps para transmisión y recepción).

Por su parte, ACL soporta información sin límite de tiempo como datos de manera asíncrona. Este transporte no involucra reservación de ranuras de tiempo, de manera que el maestro utiliza varias ranuras de tiempo para transmitir un paquete sin necesidad de mantener una transmisión instantánea con el esclavo. Soporta transferencias de datos asíncronos punto a multipunto y soporta velocidades de 778,6 Kbps de forma asimétrica (721 Kbps para transmisión y 57,6 Kbps para recepción) y 864 Kbps de forma simétrica (432 Kbps para transmisión y recepción).²

2. DISEÑO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

Para un óptimo desempeño de los servicios ofrecidos por el sistema de calorimetría, se establecieron los siguientes parámetros para la monitorización de los datos: operación en tiempo real y de manera no invasiva (el paciente está aislado eléctricamente del sistema de monitorización de los datos); reducido consumo de potencia; movilidad del paciente (que permita la mejor libertad de movimiento corporal posible); accesibilidad remota de la información; fiabilidad de transmisión (garantía de transmisión de datos desde los sensores hasta el sistema de visualización y análisis); flexibilidad del sistema (disposición de diversidad de dispositivos de monitoreo tales como PDA, Lap-top, PC y teléfonos celulares); reducida complejidad en la instalación del sistema.

La tecnología Bluetooth fue implementada principalmente por su gran difusión en el mercado y por la compatibilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes; además posee un protocolo de comunicaciones robusto que garantiza la integridad en la transmisión asíncrona de los datos, la cual fue utilizada para el presente proyecto, y la implementación del hardware Bluetooth se realiza de manera muy sencilla.

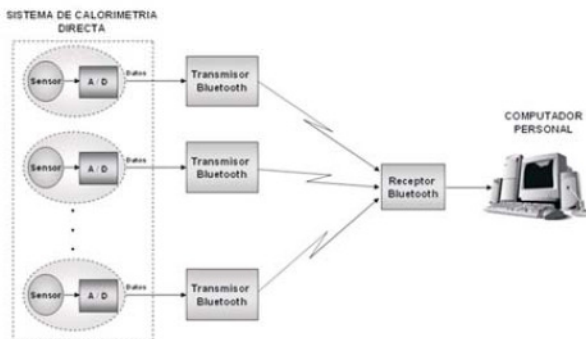
La monitorización del sistema de calorimetría directa se diseñó bajo el esquema mostrado en la Figura 1. En este diseño, cada sensor posee un transmisor (módulo Bluetooth F2M03AC2 de Free2move) que se encarga de enviar los datos de manera

(1) Grupo de Investigación en Control, Electrónica, Modelado y Simulación de la Universidad industrial de Santander.

(2) Estas velocidades son específicas para las versiones 1.1 y 1.2 del estándar Bluetooth.

inalámbrica al receptor (adaptador Bluetooth USB MSI BToes USB dongle), el cual actúa como un concentrador que reúne los datos de los sensores en una sola trama serial con el fin que el software de monitorización (desarrollado con LabVIEW 7.1, teniendo en cuenta los resultados de Linares y Quijano [4]) reconozca, organice y grafique los datos de calor correspondientes a cada sensor en un PC. De esta manera, es conformada una red Bluetooth, en la cual los transmisores actúan como dispositivos esclavos y el receptor actúa como dispositivo maestro.

Figura 1. Diseño del sistema de monitorización

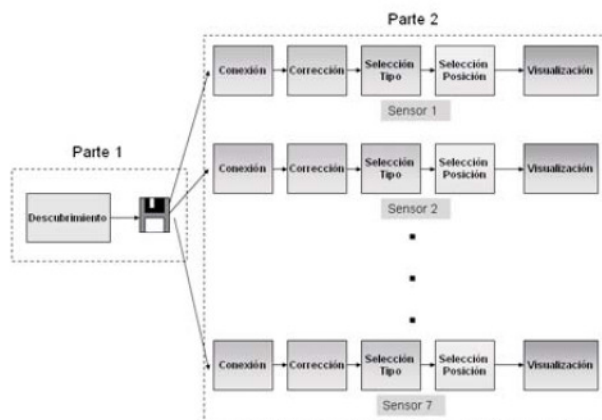


Fuente: autores.

3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN

El software fue desarrollado bajo el esquema mostrado en la Figura 2 y está compuesto por dos partes: la primera parte consiste en un software para el descubrimiento de dispositivos Bluetooth, encargado de almacenar el BD_ADDR de los módulos de medición que se desean visualizar, y la segunda parte consiste en el software para la conexión, el reconocimiento del tipo y posición de cada sensor y la visualización de los datos transmitidos por los módulos de adquisición de datos.

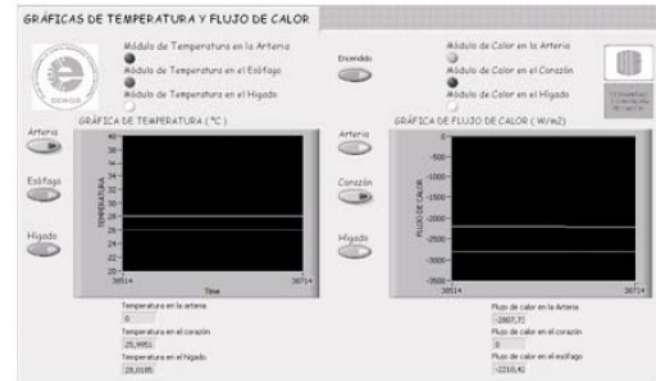
Figura 2. Estructura del software de visualización



Fuente: autores.

La apariencia final del software para monitorear las señales se aprecia en la figura 3, y en ésta se observa como cada uno de los posibles módulos que hacen parte de la red (3 de temperatura y 3 de flujo de calor) se detectan en tiempo real permitiendo la visualización de las respectivas señales y el procesamiento que eventualmente se requiera.

Figura 3. Ventana de trabajo del software de visualización en funcionamiento.



4. PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 POTENCIA DE ALIMENTACIÓN EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA

Esta prueba se realizó en dos fases. La primera fase consistió en la medición de la corriente de alimentación del módulo Bluetooth en espacio abierto (línea de vista). La segunda fase consistió en la medición de la corriente de alimentación del módulo Bluetooth en espacio con obstáculos.

Para ello, se contó con tres diferentes lugares con ambientes de oficina, con su respectivo personal y equipos en funcionamiento. Debido a la poca variación en la corriente de alimentación en las pruebas realizadas, se puede promediar que el consumo de corriente aproximado de los módulos Bluetooth, para las situaciones mencionadas anteriormente, es de 17 mA (63 mW). Por tanto, se estima que la autonomía de funcionamiento de la batería utilizada en las pruebas (Nokia BL-5C de 3.7 V y 850 mA-h) bajo condiciones normales de trabajo es aproximadamente de 33 horas para los módulos de medición y transmisión de datos de flujo de calor y de 29 horas para los módulos de medición y transmisión de datos de temperatura.³

4.2 COMPROBACIÓN DE ERRORES EN TRANSMISIÓN DE DATOS

Se diseñó un software para comparar visualmente los bits de datos, provenientes del sistema de calorimetría directa, transportados mediante el cable serial RS-232 con los bits de datos transportados mediante un enlace inalámbrico Bluetooth, con el propósito de comparar la fiabilidad en la transmisión inalámbrica mediante Bluetooth.

(3) La autonomía de la batería fue calculada con las características de corriente de los módulos de medición de flujo de calor [1] y de temperatura [2].

Además se optó por realizar una aplicación de corrección en lectura de los datos, ya que en general no existe forma de diferenciar los dos bytes en los que está contenida la información de cada dato transmitido. Dicha aplicación permite identificar, de manera estadística, si el primer byte leído realmente corresponde al más significativo, teniendo en cuenta que los bits b_0 y b_1 del byte menos significativo (BYTE2), que corresponden a los dos bits menos significativos de los datos de medición, cambian a mayor velocidad que los bits b_0 y b_1 del byte más significativo (BYTE1), puesto que estos últimos determinan variaciones de mayor rango en la señal medida, las cuales son menos probables.

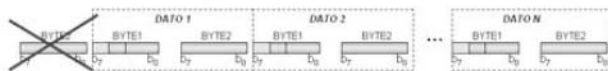
La aplicación desarrollada calcula numéricamente la suma de los cambios de los dos bits menos significativos de cada uno de los dos bytes de información durante las primeras N muestras, tal como se expresa en las ecuaciones (1) y (2):

$$\text{CambiosBYTE1} = \sum_{n=1}^N (b_0(n) \oplus b_0(n-1) + b_1(n) \oplus b_1(n-1)) \quad (1)$$

$$\text{CambiosBYTE2} = \sum_{n=1}^N (b_2(n) \oplus b_2(n-1) + b_3(n) \oplus b_3(n-1)) \quad (2)$$

De manera que si $\text{CambiosBYTE1} > \text{CambiosBYTE2}$ se debe asimilar el BYTE2 como el más significativo, y la palabra se debe completar con el siguiente byte recibido (Figura 4). En caso contrario, se asume que BYTE1 y BYTE2 se recibieron en el orden correcto.

Figura 4. Corrección del error en la lectura de los datos



Fuente: autores.

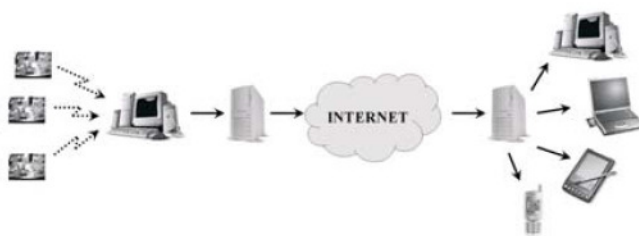
Esta solución es más sencilla, en comparación con otras alternativas, debido principalmente a que no implica manipulación de hardware y la aplicación se implementó sin requerir modificar las tramas originalmente diseñadas.

5. TRABAJOS FUTUROS

Los datos provenientes del sistema de calorimetría directa pueden ser transmitidos a ambientes externos a los hospitalarios utilizando dos medios principalmente: mediante Internet y mediante las redes de telefonía celular.

La primera alternativa consiste en realizar la monitorización en un PC enlazado directamente a un servidor para que un dispositivo (PC, PDA, Laptop o teléfono celular) conectado a Internet realice la lectura de los datos (Figura 5), lo que requiere toda la infraestructura necesaria (software y hardware) para la realización de esta tarea. La estructura presentada en esta alternativa es muy utilizada en los sistemas de medición y control industrial (SCADA) y similares.

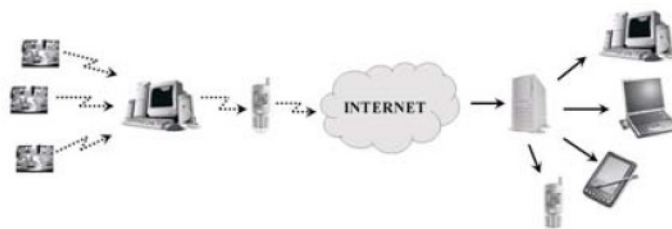
Figura 5. Envío de datos por un PC directamente al servidor Internet



Fuente: autores.

Otra forma de realizar la monitorización es enviar los datos del sistema de calorimetría desde un PC a Internet utilizando un teléfono celular (que soporte Bluetooth) como módem, usando el perfil de red dial-up (DUNP). Similar que la alternativa anterior, las mediciones del sistema de calorimetría directa pueden ser leídas por otro dispositivo conectado a Internet (Figura 6).

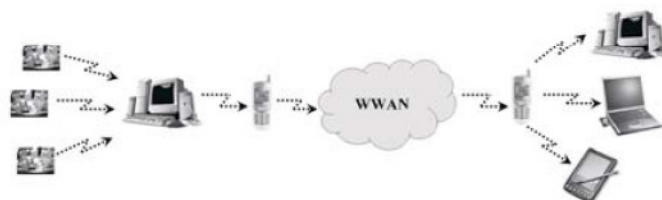
Figura 6. Envío de datos por un PC a Internet mediante un teléfono celular



Fuente: autores.

Por último, se pueden utilizar redes de tipo WWAN (por ejemplo redes de telefonía celular) como medio para la transmisión de los datos del sistema de calorimetría directa. El esquema de esta alternativa es mostrada en la Figura 7 y consiste en enviar los datos desde el PC a un teléfono celular por medio de otro que soporte Bluetooth, usando el perfil de WAP bajo Bluetooth (WAP). La monitorización puede realizarse directamente desde el teléfono celular receptor (con un software de monitorización apropiado) o desde otro dispositivo Bluetooth (PC, Laptop o PDA) enlazado con dicho teléfono celular.

Figura 7. Envío de datos por un PC a otro dispositivo mediante redes WWAN



Fuente: autores.

Otra alternativa para enviar los datos del sistema de calorimetría directa a las redes de telefonía celular es utilizar

un PC con un módem GPRS / GSM (Figura 8). Comercialmente es muy común encontrar módems con diferentes interfaces de conexión al PC (USB, RS-232, PCI, entre otros), con características tales como funcionalidad en varias bandas (900/1800/1900 MHz), tasa de transmisión serial (generalmente hasta 460,8 bauds), velocidad de enlace GPRS (28,8/53,6/85,6 kbps), entre otros. Este esquema de transmisión de datos se utiliza en algunos sistemas de lectura automática AMR (Automatic Meter Reading) y sobre este tema se está trabajando actualmente dentro del grupo de investigación CEMOS [3].

Figura 8. Uso de módem GPRS / GSM para el envío de datos a las redes celulares



Fuente: autores.

6. CONCLUSIONES

En términos de la aplicación para el sistema de calorimetría, se puede observar que en un ambiente hospitalario normal, es posible que se presente el caso de varios pacientes en una misma habitación que necesiten ser monitorizados. En este caso las redes de sensores asociadas a cada paciente deben identificarse previamente usando las direcciones de hardware de cada dispositivo Bluetooth, mostradas en la primera ventana al ejecutar la aplicación para el descubrimiento de dispositivos, seleccionando únicamente los sensores ubicados en el paciente al que se desea realizar las mediciones; este procedimiento requiere que la dirección del dispositivo Bluetooth de cada módulo de medición esté impreso en una superficie visible del mismo.

En general, el sistema desarrollado puede ser la base para la creación y el mejoramiento de las herramientas de telemetría y transporte de datos utilizadas en múltiples aplicaciones gracias a características logradas tales como:

- Realiza la lectura de datos proveniente de diferentes sensores en tiempo real.
- Se pueden transmitir lecturas a una distancia efectiva de hasta 40 metros respecto al sistema de visualización, dependiendo del ambiente de trabajo.
- La transmisión de los datos se realiza de manera rápida y confiable.
- El sistema de monitorización se puede implementar en diferentes dispositivos tales como PCs, PDAs y Laptops; utilizando un software adecuado, así como también se puede implementar en teléfonos celulares y similares.
- Es de fácil instalación y manejo.

7. REFERENCIAS

- [1]CADENA, OSCAR. GARCÍA, GUILLERMO. Diseño y construcción de un prototipo para la medición de flujo de calor en pacientes en estado post-operatorio mediante calorimetría directa: Método de sensado por flujo de calor. Tesis de grado. Bucaramanga: UIS, 2006. 80p.
- [2]ORTIZ J, ALVARO. VALDERRAMA G, LEON. Diseño y construcción De Un Prototipo Para la Medición De Flujo De Calor En Pacientes En Estado Post-Operatorio Mediante Calorimetría Directa: Método De Sensado Por Temperatura. Tesis de Grado, UIS 2006. 80p.
- [3]FRAMPTON Collin, McELHANEY Titan, MOOK Jonathan y SANSONE Antony. "Remote Data Acquisition using Bluetooth". Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition. 2005. 16p.
- [4]LINARES Ricardo y QUIJANO Jimmy. "Implementación Del Protocolo Bluetooth para la conexión inalámbrica de dispositivos electrónicos programables". Tesis de grado. UTP: Pereira, 2004. 6p.
- [5]SAAVEDRA, LISA. Diseño y construcción de un sistema de telemetría para automatizar la lectura de consumos en los medidores de agua. Tesis de Maestría en curso. Bucaramanga: UIS, 2006.