

CONEXIÓN DE ANALIZADORES PERSONALES CON UN CENTRO DE CONTROL POR TELEFONÍA MÓVIL

Luciano Boquete¹, Rafael Barea¹, Ignacio Bravo¹, J. A. García Lledó², Ana de Santiago²

¹ Departamento de Electrónica, ² Departamento de Medicina.

Universidad de Alcalá

boquete@depeca.uah.es

Resumen

Se presenta en esta comunicación un sistema electrónico, diseñado para la transmisión de información desde determinados analizadores personales (glucómetros y coagulómetros) hacia un Centro de Control. Se trata de un sistema electrónico de bajo coste, portátil y reducido consumo eléctrico. La transmisión de información se realiza mediante el envío y la recepción de mensajes cortos de telefonía (SMS), optimizando así el coste de su utilización. El sistema desarrollado funciona actualmente con dos modelos comerciales de glucómetros y con un coagulómetro ampliamente utilizado.

I. INTRODUCCIÓN

En esta ponencia se presenta un sistema electrónico, diseñado para la conexión remota con un Centro de Control (normalmente un centro hospitalario) de diferentes tipos de analizadores biomédicos de uso frecuente, como son los glucómetros y los coagulómetros, aunque el sistema puede adaptarse a cualquier otro elemento con comunicaciones por un puerto RS232 (Fig. 1). La función del sistema electrónico desarrollado es actuar de pasarela entre estos dispositivos y un teléfono móvil comercial, y permitir la transferencia bidireccional de información hacia el Centro de Control. La finalidad última es implementar un sistema de telemedicina, que permita mejorar las condiciones de atención a grandes colectivos de enfermos crónicos, como pueden ser las personas diabéticas o las personas tratadas con anticoagulantes orales.

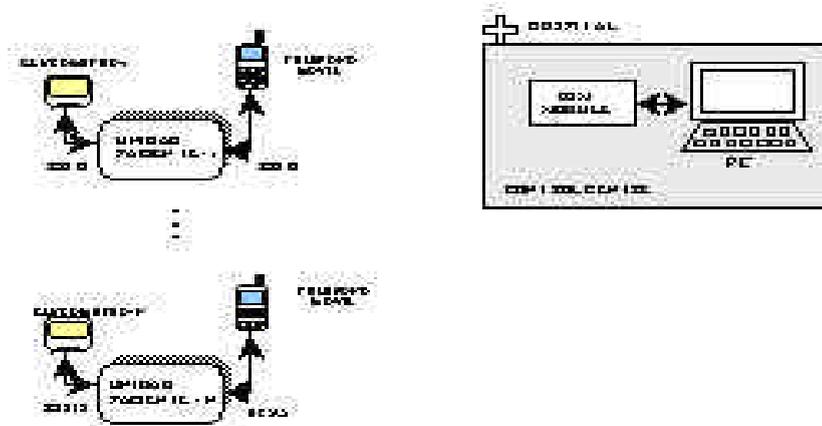


Fig. 1. Red de telemedicina por telefonía móvil

En los últimos años hemos asistido a un rápido desarrollo de los sistemas de telemedicina, debido, entre otros motivos, a:

- i) madurez de las diferentes tecnologías que conforman un sistema de estas características.
- ii) Posibilidad de realizar un seguimiento más cercano al paciente.
- iii) Ahorro de costes asistenciales y de camas de hospital.
- iv) Colaboración de expertos diferentes en el diagnóstico sobre todo en patologías especiales.
- v) Los datos recogidos pueden servir para análisis e investigación de las patologías.
- vi) Reducción de molestias al paciente, ya que se evitan desplazamientos y pérdidas de tiempo.

Con respecto al primero de los puntos indicados, destacamos los avances realizados en la integración de sistemas electrónicos, comunicaciones más avanzadas, desarrollo de algoritmos más elaborados, etc.

Los sistemas actuales pueden ser clasificados en función de la información del paciente que transmiten: ECG [1] [2] [3], imágenes médicas [4], presión sanguínea [1], niveles de glucemia [5] [6] [7]etc. o en función del medio de transmisión utilizado: radioenlaces de RF [8], telefonía fija [7][9], telefonía móvil [1][10], comunicaciones por satélite [11] [12], Internet [2] [5], etc.

El medio de transmisión que se utilice depende principalmente de la disponibilidad tecnológica y del ancho de banda que se necesite. Una de las opciones que cada vez se hace más interesante es la utilización de sistemas de telefonía móvil. Sus principales ventajas son:

- i) se trata de un servicio adoptado por muchos países y ampliamente extendido en cada uno de ellos, permitiendo una gran libertad de movimientos al usuario, debido a su amplia cobertura.
- ii) Los estándares de funcionamiento son estables y conocidos.
- iii) El coste de los terminales y de la transmisión de datos se mantiene en unos niveles aceptables.
- iv) Con las nuevas versiones de telefonía (GPRS, UMTS,...) se está aumentando la capacidad del ancho de banda disponible.
- v) Alrededor del sistema básico de telefonía (transmisión de datos) se pueden añadir otros servicios adicionales, como puede ser la localización geográfica del teléfono móvil.
- vi) No se necesita solicitar una banda específica de frecuencias.

La diabetes es una enfermedad metabólica que se manifiesta por una elevación de los valores de la glucosa en la sangre (glucemia). Tiene una gran importancia social y personal. Su forma más frecuente, el tipo 2, afecta hasta a un 4% de la población europea. La diabetes produce un aumento grave del riesgo de enfermedad cardiovascular, insuficiencia renal y daño ocular, así como una significativa reducción de la esperanza de vida [13]. El correcto tratamiento de la diabetes requiere mantener unos valores de glucemia dentro de un rango normal, siempre con dieta y ejercicio, y en muchos casos con fármacos o inyecciones de insulina. Se ha demostrado que el adecuado control de la glucemia conduce a una reducción del riesgo de desarrollar complicaciones de la enfermedad, y por tanto mejora el pronóstico de los enfermos [14] [15].

Para conocer el grado de control de la diabetes se puede medir la concentración de la glucosa en la sangre capilar, mediante punciones en la yema de los dedos que evitan las más complejas punciones venosas. Ese control puede hacerlo el mismo paciente con el uso de pequeños aparatos de análisis, denominados glucómetros. El conocimiento de los valores de glucemia permite conocer el grado de control de la enfermedad y ajustar el tratamiento. En algunos pacientes es necesario realizar múltiples controles en un mismo día, cuando los valores de glucemia no se controlan bien y son necesarias inyecciones múltiples de insulina. Además, el tratamiento de la diabetes supone un riesgo de reducción excesiva de la glucemia (hipoglucemia), que pueden llegar a producir cuadros de coma o muerte [16].

Existen síntomas de alarma que el paciente debe conocer (nerviosismo, somnolencia, mareo) de modo que la realización inmediata de una medida le puede permitir reconocer el cuadro y resolverlo rápidamente ingiriendo azúcar, aunque también es interesante que disponga de un medio efectivo de comunicación con un especialista, para consultar su estado.

Actualmente en España existen unas 400.000 personas tratadas con anticoagulantes orales, y su porcentaje anual de crecimiento es del 20%, lo que sin duda supondrá una enorme carga asistencial en los sistemas de salud [17]. Los pacientes sometidos a medicación con anticoagulantes orales deben de seguir un tratamiento muy cercano, con el fin de mantener sus niveles de tiempos de coagulación dentro de los umbrales adecuados y evitar procesos de trombosis o hemorragias. Los tipos de pacientes sometidos a esta medicación son los transplantados con válvulas mecánicas, pacientes amputados y también es de utilidad para la profilaxis secundaria del infarto de miocardio, conjuntamente con dosis pequeñas de aspirina. La administración de estos medicamentos obliga a los pacientes a la realización de análisis frecuentes de sangre, principalmente para medir su tiempo de coagulación, y si procede, ajustar su tratamiento, con el fin de prevenir sobredosis o riesgos de coagulación sanguínea. Normalmente los análisis deben realizarse en laboratorios con un mínimo de equipamiento, lo que obliga a los pacientes a desplazamientos periódicos y esto da lugar a los problemas típicos asistenciales: lista de espera, consumo de recursos sanitarios, etc.

Además de los glucómetros, ampliamente utilizados por el colectivo de enfermos diabéticos, existen en el mercado dispositivos portátiles denominados coagulómetros, con precios razonables y de fácil funcionamiento, que le permiten al paciente obtener el tiempo de coagulación de una gota de su sangre, apareciendo el resultado en el monitor del dispositivo, aunque también se almacena en su memoria digital. El sistema electrónico presentado en esta ponencia permite la conexión de diferentes modelos de glucómetros y coagulómetros y en general, cualquier dispositivo con un puerto de comunicaciones RS232 y el envío de la información almacenada a un Centro de Control, mediante telefonía móvil. Esta ponencia se ha estructurado en los siguientes apartados: en II se describe el hardware del sistema desarrollado, en III el software ejecutado en el microcontrolador; en el apartado IV se comentan las pruebas prácticas realizadas. Finaliza la comunicación resaltando las principales ideas que han sido desarrolladas.

II. DESCRIPCIÓN HARDWARE

Se representa en la figura 2 el diagrama de bloques del hardware que conforma el sistema desarrollado. El mismo se ha desarrollado alrededor de un microcontrolador, que asume la mayoría de las funciones necesarias: comunicación con el glucómetro o coagulómetro y con el teléfono móvil, memoria RAM y EEPROM para almacenamiento de datos, control de periféricos (teclado y display). Se describen a continuación cada uno de los elementos hardware:

- Puertos de comunicaciones RS232. Ambos utilizan un único circuito integrado (MAX233) para realizar la adaptación de los niveles de tensión entre el microcontrolador (0 y +5 v.) y el protocolo RS232 (-12 v y +12). De este modo, el sistema puede funcionar conectando al mismo tiempo el analizador y el teléfono móvil.
- Alimentación; se obtiene con una batería comercial de Ni-Cd de 9 v, adaptando el nivel a +5v. con un regulador de tensión de bajo DROP. La supervisión del nivel de alimentación se realiza por medio del microcontrolador, digitalizando la tensión de salida del regulador de tensión y comprobando que ésta se encuentra por encima de cierto umbral (la tensión mínima de funcionamiento del microcontrolador es de 4.3 voltios).

- Interfaz de usuario: teclado y display. El objetivo es presentar la información al usuario y que éste, mediante el teclado introduzca ciertos datos y comandos para el control del funcionamiento del sistema. En la versión actual, se utiliza un display tipo LCD que permite representar hasta 2 líneas de 16 caracteres cada una.
- Memoria no volátil para el almacenamiento de los datos recibidos desde el analizador, hasta la comprobación de que han sido correctamente recibidos en el Centro de Control.

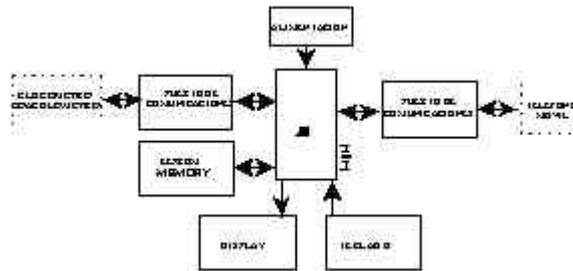


Fig. 2. Diagrama de bloques hardware.

III. SOFTWARE DEL MICROCONTROLADOR

El núcleo del diseño hardware es un microcontrolador comercial de Microchip. Los principales requisitos que debe cumplir es que pueda tener en funcionamiento al mismo tiempo 2 puertos RS232 (uno para comunicarse con el teléfono y otro con el analizador personal), que gestione un display y un teclado con un número reducido de teclas. También se ha considerado importante el disponer de los recursos software necesarios (Memoria de programa, Memoria de datos y Memoria permanente), con el fin de que en el programa se puedan incluir el mayor número posible de opciones. Las funciones implementadas permiten realizar las siguientes rutinas:

- inicialización y configuración de los elementos hardware. Permiten la configuración inicial de los diferentes elementos: display y teclado. Además se comprueba que el teléfono funciona correctamente e identifica automáticamente el tipo de analizador (coagulómetro o entre 2 modelos diferentes de glucómetros) conectado al sistema. En el caso en que falte alguno, a través del display se indica al usuario los pasos para resolver el problema.
- Envío/recepción de comandos AT al teléfono móvil. Este grupo de funciones controla el proceso de envío y recepción de SMS a través del teléfono móvil. Los mensajes intercambiados con Centro de Control deben tener una clave adecuada por cuestiones de seguridad.
- Envío/recepción de comandos hacia el analizador biomédico. Según el dispositivo detectado, utiliza el conjunto de comandos apropiado, para solicitar los datos almacenados en su memoria. La información leída se almacena en la memoria Flash externa al microcontrolador y al mismo tiempo, se borra de la memoria interna del analizador.
- Gestión del interfaz de usuario. Controla en cada momento la información presentada por el display así como el proceso de captura de las teclas activadas por el usuario. En el caso en que existan algún problema se editan mensajes de ayuda.

- iv) Gestión del interfaz de usuario. Controla en cada momento la información presentada por el display así como el proceso de captura de las teclas activadas por el usuario. En el caso en que existan algún problema se editan mensajes de ayuda.
- v) Control global de proceso. Es el grupo de funciones que organizan el funcionamiento del sistema. En líneas generales, el funcionamiento del sistema es el siguiente: una vez inicializado el sistema, éste comprueba la conexión del teléfono e identifica el tipo de analizador biomédico conectado al otro puerto serie. En la actualidad el sistema está preparado para trabajar con el coagulómetro marca Coauchek S (Roche) y con los glucómetros One Touch Profile Ultra Meter (Johnson and Johnson) y Bayer Esprit. A continuación, el microcontrolador procede al envío de los comando apropiados y a la recepción de los datos almacenados en los analizadores; una vez que los datos han sido grabados en la memoria Flash, se envía al analizador el comando apropiado para que los borre en su memoria interna. Cuando el usuario pulse una tecla adecuada, se considera que éste desea proceder al envío de los datos almacenados en la memoria Flash al Centro de Control. En el display aparecen una serie de mensajes, del tipo Dieta seguida, Ejercicio realizado, Tensión arterial, Dosis de insulina o de anticouagulante, etc, para que el usuario responda a través del teclado; una vez completada esta fase, se procede automáticamente al envío por medio de un SMS de la información al Centro de Control. El sistema queda a la espera de recibir un SMS desde el Centro de Control, indicando de la correcta recepción de los datos en este último y por lo tanto, se procede al borrado de la información almacenada en la memoria Flash del sistema y el SMS almacenado en la memoria del teléfono

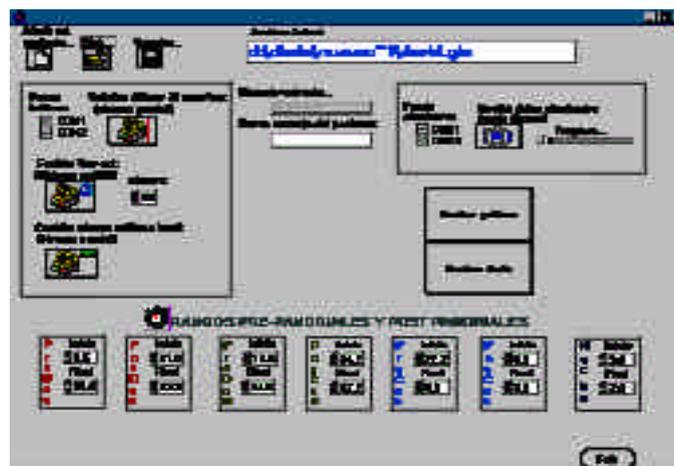


Fig. 3. Interfaz de usuario del Centro de Control

IV. PRUEBA REALIZADAS

El sistema descrito se ha implementado a nivel de prototipo en una placa PCB de circuito impreso, y ha sido utilizada para la realización de numerosas pruebas prácticas. Como Centro de Control se ha utilizado una aplicación para la recepción de la información y el establecimiento del diálogo con varios usuarios simultáneamente (3 usuarios). Se representa en la figura 2 el interfaz de usuario de la aplicación utilizada como Centro de Control (en este caso actuando como Centro de Control para enfermos diabéticos). Se ha comprobado el funcionamiento del sistema en diferentes condiciones: con los 3 tipos de analizadores indicados, provocando fallos en el sistema, etc, y éste ha respondido correctamente a lo esperado.

V. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un sistema electrónico para la transmisión de información por telefonía móvil desde varios dispositivos de análisis personal de uso frecuente. Consideramos que el mismo puede ser utilizado a nivel práctico en una red de telemedicina, debido a su facilidad de funcionamiento, bajo coste y versatilidad. De todos modos, se están desarrollando nuevas versiones, en la que se incluyen comunicaciones Bluetooth para dialogar tanto con los analizadores que tengan esta posibilidad como con el teléfono móvil, evitando de este modo la conexión de cables, que siempre supone un problema para personas mayores o discapacitadas, que presumiblemente serán colectivos que puedan utilizar este dispositivo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Roche Diagnostics el suministro del protocolo de comunicaciones con el coagulómetro marca Coaguchek S.

REFERENCIAS

- [1] S. Pavlopoulos, E. Kyriacou, A. Berler, S. Dembeyiotis, and D. Koutsouris, "A novel emergency telemedicine system based on wireless communication technology –AMBULANCE," *IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine*, vol. 2, n° 4, pp. 261-267, Dec 1998.
- [2] A. I. Hernández, F. Mora, G. Villegas, G. Passariello, and G. Carrault, "Real-time ECG transmission via Internet for nonclinical applications," *IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine*, vol. 5, n° 3, pp. 253-257, Sept. 2001.
- [3] L. Boquete, I. Bravo, R. Barea, and M. A. García, "Telemetry and control system with GSM communications," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 27, n° 1, pp. 1-8, Jan. 2003.
- [4] H. K. Huang, A. W. K. Wong, and X. Zhu, "Performance of asynchronous transfer mode (ATM) local area and wide area networks for medical imaging transmission in clinical environment," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 21, n° 3, pp. 165-173, 1997.
- [5] S. S. Pruna, R. Dixon, and N. D. Harris, "Black sea TeleDiab: diabetes computer system with communication technology for Black Sea region," *IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine*, vol. 2, n° 3, pp. 193-196, Sept. 1998.
- [6] R. Bellazzi et al., "A telemedicine support for diabetes management: the T-IDDM project," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 69, pp. 147-161, 2002.
- [7] E. J. Gómez, M. E. Hernando, A. García, F. del Pozo, J. Cermeño, R. Corcoy, E. Brugués, and A. de Leiva, "Telemedicine as a tool for intensive management of diabetes: the DIABETel experience," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 69, pp. 163-177, 2002.
- [8] G.C. Crumley, N. E. Evans, W. G. Scanlon, J. B. Burns, and T. G. Trouton, "The design and performance of a 2.5-GHZ teledcommand link for wireless biomedical monitoring," *IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine*, vol. 4, n° 4, pp. 285-291, December 2000.
- [9] E. Biermann, W. Dietrich, J. Rihl, and E. Standl, "Are there time and cost savings by using telemanagement for patients of intensified insulin therapy? A randomized, controlled trial," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 69, pp. 137-146, 2002.

- [10] B. Woodward, R. S. Istepanian and C. I. Richards, "Design of a telemedicine system using a mobile telephone," *IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine*, vol. 5, nº 1, pp. 13-15, 2001.
- [11] H. Murakami, K. Shimizu, K. Yamamoto, T. Mikami, N. Hoshimiya, and K. Kondo, "Telemedicine using mobile satellite communication," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 41, nº 5, pp. 488-497, May 1994.
- [12] C. Otto and A. Pipe, "Remote, mobile telemedicine: the satellite transmission of medical data from mount Logan," *Journal of Telemedicine and Telecare*, 3, Suppl. 1, pp. 84-85, 1997.
- [13] A. García-Lledó, "La afectación cardíaca en las enfermedades endocrinológicas," *Revista Clínica Española*, 200 (10): 566-69, 2000.
- [14] R. C. Turner, H. Millius, H. A. Neil, I. M. Stratton, S. E. Manley, D. R. Matthews Et al. "Risk factors for coronary artery disease in non-insulin dependent diabetes mellitus: United Kingdom Prospective Diabetes Study," *British Medical Journal*, vol 316: 823-828, 1998.
- [15] A de Santiago, A. García-Lledó, E. Ramos, J. Balaguer, C Santiago, and P Ruiz, "Influencia de la duración y control de la diabetes tipo 2 en la aparición de episodios cardiovasculares," *Revista Española de Cardiología*, vol. 53 , SUPPL 2, pp. 58, 2000.
- [16] Foster, DW. Diabetes Mellitus. En "Harrison, Principios de Medicina Interna," Fauci, Braunwald, Isselbacher, Wilson, Martin, Kasper, Hauser, Longo edit.. Mc Graw-Hill, 1998, 1ª, pp. 2341-65.
- [17] F. Martínez Brotons, "El control de la anticoagulación debe reacer en AP y especializada", *Diario Médico*, 18-10-02.