

Dispensador de Píldoras con Control por Telefonía Móvil

Luciano Boquete y José Manuel Rodríguez Ascariz
Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá
Plaza de San Diego, s/n, 28801 Alcalá de Henares, Madrid
Teléfono: 91 8856572
Correo Electrónico: luciano.boquete@uah.es

Resumen

Se presenta un dispensador de píldoras, controlado por telefonía móvil; su función principal consiste en permitir que en cada momento él o los usuarios accedan a la pastilla adecuada. Mediante telefonía móvil se puede controlar el funcionamiento del dispensador, siendo posible de este modo tener un control más cercano de la medicación del paciente. Se ha realizado un diseño hardware que permite la configuración del sistema con diferentes niveles de complejidad: conexión con un teléfono móvil mediante un puerto serie y Bluetooth.

1. Introducción

Una de las posibilidades para contribuir a la calidad de vida y a la autonomía de personas mayores y/o discapacitadas viene dada por la teleasistencia, mediante la cual es posible conseguir un seguimiento cercano de estas personas en diferentes ámbitos de su vida diaria. Los avances tecnológicos disponibles en los últimos tiempos, tanto a nivel hardware, comunicaciones, análisis de señal, etc. han propiciado la aparición de diferentes sistemas que permiten ayudar a pacientes, controlando por ejemplo señales electrocardiográficas [1][2][3], nivel de azúcar en sangre [1], tensión arterial [4][5][6], etc. A la hora de establecer el canal de comunicación, una opción que en muchos casos es ventajosa, consiste en la utilización de telefonía móvil [3][7][8], pues entre otras, tiene las siguientes ventajas:

- Sistema universal y con estándares conocidos.
- Bajo coste.
- Amplia cobertura.
- Ancho de banda y calidad de servicio suficiente para muchas de estas aplicaciones.

Uno de los problemas con los que se encuentran las personas mayores y/o discapacitadas es la necesidad de seguir una medicación, controlando aspectos tales como:

- Olvidos en la toma de la medicación.
- Que se realice a las horas previstas.
- En caso de que no se haya tomado, se tenga constancia de tal hecho.
- Dispensar la medicación exacta en cada caso.

Este problema es tan grave que se estima que cada año mueren en Estados Unidos 125.000 personas debido a que no siguen el tratamiento indicado [9]; otros datos alarmantes presentados en esta publicación son que el 21% de los pacientes nunca siguen la prescripción realizada, y que el 6% de los pacientes no son capaces de identificar sus propios medicamentos y que entre el 12 y el 20% toman las

medicinas de otros pacientes. Posibles justificaciones de estos hechos pueden ser [10]: desconocimiento de cómo tomar los medicamentos (oral, varias veces al día, antes/después de las comidas,...), ignorancia respecto a la importancia del tratamiento para su mejora, toma de varios medicamentos simultáneamente, olvidos, problemas de movilidad, etc.

El disponer de un sistema que permita evitar estos problemas puede ser de mucha utilidad, tanto para los propios usuarios, como para aquellas personas interesadas en su seguimiento: médicos, familiares, etc., ya que de este modo es posible que los usuarios disponga de más libertad y en definitiva, mayor calidad de vida. Además la información obtenida también puede ser utilizada por los Sistemas Públicos de Salud para controlar en muchos casos el gasto farmacéutico.

Los avances tecnológicos actuales permiten la implementación de un sistema con estas características con elevada fiabilidad en su funcionamiento, coste reducido (tanto de fabricación del dispositivo como del mantenimiento de su funcionamiento), y con un uso fácil y adecuado a las característica de los previsible usuarios.

Existen diferentes soluciones mediante las cuales se controla el proceso de dispensación de medicamentos (principalmente píldoras); a modo de ejemplo:

- A nivel de hospitales, residencias, etc, existe últimamente una tendencia hacia la utilización de dispositivos que permitan automatizar el proceso de administración de los medicamentos a los pacientes; pero en cualquier caso, estos dispositivos están destinados a ser utilizados por diferentes pacientes y a ser supervisados por el personal sanitario [11].

- Se han documentado varios sistemas electrónicos para cumplir esta función: [12] presentan un sistema basado en una CPU, con la función principal de recordar al paciente las horas de las tomas.



Fig. 1. Diagrama general

- [13] presentan un sistema electrónico para facilitar la medicación de sus usuarios, activando una alarma pero sin ningún tipo de comunicación a larga distancia.

- Dentro del proyecto MEDICATE [14] se han desarrollado tanto dispensadores portátiles como fijos

En esta comunicación se presenta un sistema que permite controlar el procedimiento de toma de píldoras por parte de uno o varios pacientes; en estos momentos se ha realizado completamente el diseño hardware/firmware del sistema y también se han implementado los protocolos de comunicaciones por telefonía móvil. Falta la realización del diseño mecánico final, para proceder a la integración del dispositivo y la realización de las pruebas finales de funcionamiento. Este documento se ha organizado en los siguientes puntos: a continuación se indican las principales prestaciones del dispensador y su diagrama de bloques; en el apartado 3 se comentan las principales características del diseño hardware realizado, en el siguiente apartado de forma muy breve se indican algunas ideas sobre el Centro de Control y finaliza la comunicación resaltando las principales conclusiones del trabajo realizado.

2. Diagrama General

Se comentan a continuación las principales características del dispensador de píldoras:

- El dispensador es un sistema mecánico-electrónico, que en cada momento permite al usuario obtener el medicamento previsto. Un sistema mecánico adecuado (controlado electrónica y telemáticamente) permite el acceso al tipo de medicamento y a la dosis prevista para cada momento determinado.
- El dispositivo permite dispensar varios tipos de medicamentos diferentes.
- Utilizando telefonía móvil, el dispensador está gobernado a distancia por un Centro de Control, de tal modo que es posible supervisar una red de dispositivos de este tipo.

- Cada vez que el usuario toma su medicación, tendrá que pulsar un botón o este evento se detecta por un sensor, con lo que es posible controlar si la dosis se recoge del Dispensador, a qué horas, retraso entre la hora prevista y la real, etc. Esta información podrá ser enviada al Centro de Control para su archivo y análisis, permitiendo de este modo un seguimiento del paciente.

- Desde el Centro de Control es posible solicitar y obtener informes sobre uno o varios dispositivos: grado de uso de los mismos, horas de toma de la medicación, etc.

- Desde el Centro de Control se permite programar a través de telefonía móvil el funcionamiento de cada uno de los diferentes dispensadores: variación de las horas de dispensación de la medicación, cambios en las dosis, en el tipo de medicamento, etc.

- Cada dispensador de forma automática cada vez que permita el acceso a un medicamento, abre un temporizador hasta que el paciente retira la medicación; si se sobrepasa un determinado tiempo (programable), envía un mensaje de alarma al Centro de Control; también emitirá un mensaje acústico para avisar al usuario.

- Cada vez que se repongan las existencias de uno o varios medicamentos, de forma automática se informa al Centro de Control, para que éste pueda administrar las dosis consumidas. De este modo el dispensador avisará con la suficiente antelación de la necesidad de reponer alguno de los medicamentos. Se muestra en la Fig 1 el diagrama general de bloques del sistema; desde el Centro de Control, configurado como una web médico/paciente, es posible acceder a un número indefinido de dispensadores.

3. Hardware del Dispensador

Se muestra en la Fig. 2 el diagrama de bloques del sistema hardware implementado para el control de las funciones de cada uno de los dispensadores de píldoras.

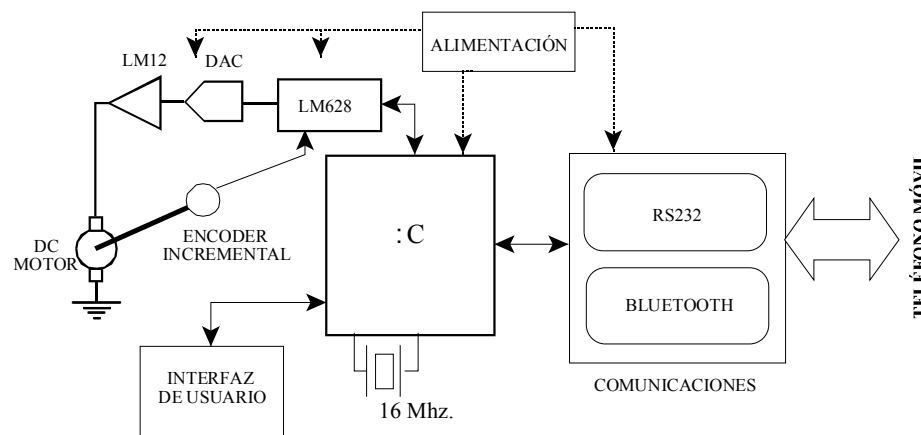


Fig. 2. Diagrama de bloques del dispensador.

El funcionamiento del dispensador está gobernado por el microcontrolador ATmega128, con núcleo RISC de 8 bits, capaz de alcanzar velocidades de hasta 16 MHz, lo que le confiere hasta 16 MIPS de capacidad de ejecución. Incorpora numerosas prestaciones: a nivel de memoria dispone de 128 kB de memoria Flash (reprogramable más de 10000 veces), 4 kB de EEPROM y 4 kB de SRAM. A nivel de comunicaciones permite comunicaciones IIC, SPI y 2 UART's. La programación se realiza sobre la propia tarjeta electrónica, a través de un interfaz JTAG.

El sistema se puede alimentar desde una batería recargable de Litio (4.2 voltios) o directamente desde una fuente de tensión continua de 2.5 - 6 voltios; todo este procedimiento se controla mediante el circuito integrado TPS65014 de la firma Texas Instruments.

Puesto que la función del sistema es entregar los medicamentos a horas determinadas, es preciso la implementación de un reloj-calendario en el sistema; para esta función se ha utilizado el circuito integrado DS1338-33, con un cristal externo de 32.768 Hz; este integrado se comunica con el microcontrolador por una interfaz serie (I2C). El DS1338 ofrece información sobre las horas, minutos, segundos, día de la semana, día del mes, mes y año. El último día de cada mes es ajustado de forma automática para los meses que tengan menos de 31 días incluyendo los años bisiestos hasta el 2100.

El interfaz de usuario del dispositivo esta formado por un número reducido de teclas, un display (basado en el HD44780) para mostrar los adecuados mensajes al usuario y un zumbador para la emisión de señales acústicas.

3.1. Comunicaciones

Con el fin de conseguir un sistema de elevada flexibilidad, que pueda ser utilizado en una gran variedad de situaciones diferentes, se han implementado varios sistemas de comunicación; se

ha realizado el diseño hardware para todos estos sistemas y en el momento de la fabricación, se puede decidir qué módulos se instalan, en función de las necesidades del equipo. Los módulos de comunicaciones disponibles en el sistema son los siguientes:

- Puerto RS232
- Sistema Bluetooth

Se comentan a continuación las principales características de cada uno de ellos:

Puerto RS232

Mediante este puerto de comunicaciones el microcontrolador puede establecer comunicación con cualquier dispositivo que disponga de este protocolo; por ejemplo, mediante un cable se conecta a un teléfono móvil y mediante los comandos apropiados, se puede disponer de un canal de comunicaciones a larga distancia. Este puerto se ha implementado en base al circuito integrado ICL3222.

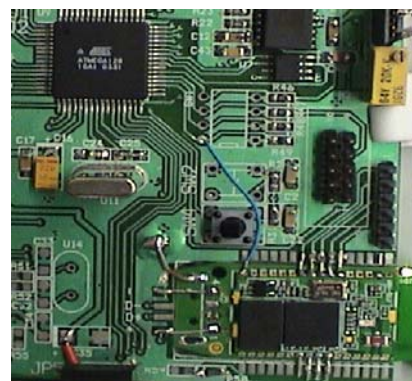


Fig. 3. Detalle del módulo de comunicaciones Bluetooth.

Sistema Bluetooth

El protocolo Bluetooth es utilizado por un gran número de dispositivos comerciales, como ordenadores personales, PDA's, teléfonos móviles,

etc., aspecto este que permite su amplia utilización. Los sistemas con el protocolo Bluetooth han sido diseñados primariamente para la conexión inalámbrica de sistemas informáticos, aunque con el tiempo se ha extendido a otros tipos de aplicaciones, como puede ser domótica [15] [16], electrónica de vehículos [17][18] o sistemas de seguridad [19], entre otras posibilidades. Aunque es posible adquirir módulos Bluetooth que funcionan a partir del protocolo RS232 o similares, en la solución implementada se ha optado por la implementación de este protocolo utilizando un hardware específico de bajo coste: el chipset BlueCore2-Ext de CSR, conectado al microcontrolador (interfaz de transporte) mediante UART. Con este módulo basado en el BlueCore2-Ext, se dispone de comunicaciones SPI e IIC, dos interfaces de comunicación ampliamente extendidas.

El firmware integrado por dicho módulo cumple la especificación 1.1 de Bluetooth, permitiendo, en el interfaz radio, comunicaciones asíncronas (ACL) de hasta 720 kbps (con transporte USB) y tres canales síncronos (SCO) de 64 kbps. Se trata de un dispositivo de Clase 2 (potencia de transmisión 4 dBm) con una sensibilidad típica de -80 dBm, capaz de alcanzar los 15 metros en entorno de oficina (numerosos obstáculos) y los 45 metros en espacio libre. Se muestra en la Fig. 3 una imagen parcial del prototipo implementado.

Fig. 4. Interfaz de usuario del Centro de Control

4. Centro de Control

Se basa en la utilización de un ordenador personal con las siguientes funciones: base de datos, servicio de consulta, comunicaciones por telefonía móvil, impresora y módulo de análisis inteligente de la información recibida. El mismo ha sido implementado utilizando el lenguaje LabWindows (versión 7.1), y su función es centralizar la información de los posibles pacientes, y que un especialista pueda seguir el estado de cada uno de ellos: obtención de estadísticas, detección de problemas en la medicación, variaciones de las pautas, etc. mediante una serie de módulos gráficos interconectados, es posible centralizar la información de una red de Dispensadores de

píldoras. A través de un módulo de acceso (protegido con password) es posible acceder a la aplicación y una vez en la misma, se puede dar de alta/baja un usuario, comprobar el funcionamiento de cada Dispensador, Bloquear su funcionamiento, Programar la secuencia de entrega de píldoras, obtener datos estadísticos sobre un usuario o sobre un conjunto de usuarios, etc. Como base de datos se utiliza MySQL v. 2.1.

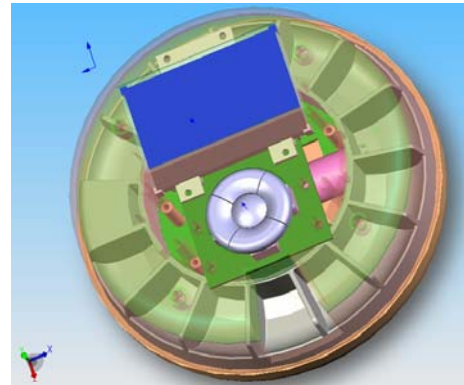


Fig. 5. Diseño industrial del dispensador

5. Resultados

Para la puesta a punto y validación del sistema mostrado en la figura 1 ha sido preciso la realización de las siguientes fases:

- Diseño y fabricación del prototipo de plástico, necesario para la implementación del dispensador (Fig. 5)
- Desarrollo del sistema electrónico según el diagrama de bloques de la Fig. 2, incluyendo el correspondiente circuito impreso. (Fig. 6).
- Programación del firmware para el control del sistema electrónico del dispensador y el establecimiento de comunicaciones con el Centro de Control.
- Programación del Centro de Control, según se indica en el apartado 4
- Integración de la solución y comprobación de su funcionamiento.

Después de todos estos pasos, se dispone de un sistema (Fig. 7) en condiciones de ser utilizado de forma comercial.

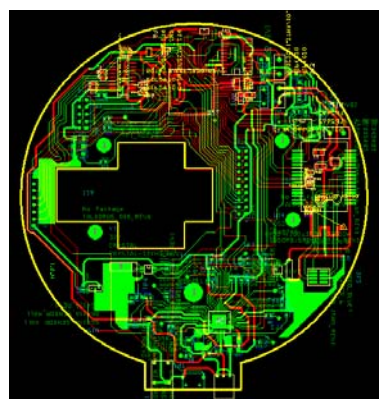


Fig. 6. Circuito impreso.



Fig. 7. Resultado final.

6. Conclusiones

Se ha presentado el diseño de un sistema que permite entregar medicamentos en forma de píldoras a un usuario; se trata de un sistema totalmente automático y con la posibilidad de ser controlado a distancia utilizando telefonía móvil. El diseño hardware ha sido completamente verificado.

Las ventajas del sistema propuesto son:

- Detección inmediata de cualquier alteración en la toma de la medicación.
- Permite un seguimiento cercano de los pacientes, al ser posible conocer la medicación tomada, a qué horas, etc.
- Obtención automática de datos.
- Sistema portátil, ya que depende únicamente de la existencia de cobertura de telefonía móvil. Puede ser utilizado en desplazamientos, vacaciones, etc.
- Sistema de bajo coste y con un mantenimiento de funcionamiento con coste reducido.
- Podrá ser utilizado en otros ámbitos: realización de ensayos clínicos o en veterinaria para la dispensación autorizada de determinados medicamentos, previa construcción de un prototipo más robusto e identificación del solicitante.
- Ahorro en medicamentos, con el consiguiente beneficio del sistema público de sanidad.

Agradecimientos

Proyecto de Investigación “Desarrollo de un dispensador de píldoras controlado por telefonía móvil”, Ref. 28/05 subvencionado por el IMSERSO (Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales).

Referencias

- [1] Pavlopoulos, S., Kyriacou, E., Berler, A., Dembeyiotis, S., & Koutsouris, D., “A Novel Emergency Telemedicine System based on Wireless Communication Technology –AMBULANCE”, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 2(4), 1998, 261-267.
- [2] Hernández, A. I., Mora, F., Villegas, G., Passariello, G. & Carrault, G., “Real-Time ECG Transmission via Internet for Nonclinical Applications”, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 5(3), 2001, 253-257.
- [3] Boquete, L., Bravo, I., Barea, R. & García, M. A., “Telemetry and Control System with GSM communications”, *Microprocessors and Microsystems*, (27), 2003, 1-8.
- [4] Pruna, S. S., Dixon, R. & Harris, N. D., “Black Sea TeleDiab: Diabetes Computer System with Communication Technology for Black Sea Region”, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 2(3), 1998, 193-196.
- [5] Bellazzi, R. et al., “A Telemedicine Support for Diabetes Management: the T-IDDM Project”, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, (69), 147-161.
- [6] Gómez, E. J., Hernando, M. E., García, A., del Pozo, F., Cermeño, J., Corcoy, R., Brugués, E. & de Leiva, A., “Telemedicine as a Tool for Intensive Management of Diabetes: the DIABETel Experience”, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, (69), 2002, 163-177.
- [7] Woodward, B., Istepanian, R. S. & Richards, C. I., “Design of a telemedicine system using a mobile telephone”, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 5(1), 2001, 13-15.
- [8] Salvador, C. H., Pascual, M., González, M. A., Muñoz, A., Márquez, J., Sosa, L., Cavero, M. A., Fernández, I. & Monteagudo, J. L., “Airmed-Cardio: A GSM and Internet Services-Based System for Out-of-Hospital Follow-Up of Cardiac Patients”, *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 9(1), 2005.
- [9] Wertheimer, A. I. & Santella, T. M., “Medication Compliance Research: Still So Far to Go”, *The Journal of Applied Research in Clinical and Experimental Therapeutics*, 3(3), 2003.
- [10] Corlett, A. J., “Caring for Older People: Aids to Compliance with Medication”, *British Medical Journal*, (313), 1996, 926-929.
- [11] Hggm. (2004). El Hospital Gregorio Marañón pone en marcha el primer dispensador inteligente de medicamentos en España. Disponible en: <http://www.hggm.es/pdfs/26ene04.pdf>.
- [12] Szeto, A.Y. J., & Giles, J. A., “Improving Oral Medication Compliance with and Electronic Aid”, *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 16, 1997, 48-58.
- [13] Doughty, K., Williams, G., & Holloway, L., “TEMPEST - An intelligent Pill Reminder and Delivery System”, Proceedings of the 20th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 20(3), 1998.
- [14] Governo, M., Riva, V., Fiorini, P. & Nugent, C., “MEDICATE Teleassistance System”, Proceedings of ICAR 2003 The 11th International Conference on Advanced Robotics Coimbra, Portugal, 2003.
- [15] Sriskanthan, N., Tan, F., & Karande, A., “Bluetooth Based Home Automation System”,

Microprocessors and Microsystems, 26(6),2002, 281-289.

[16] Kanma, H., Wakabayashi, N., Kanazawa, R. & Ito, H., "Home Appliance Control System over Bluetooth with a Cellular Phone", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 49(4), 2003, 1049-1053.

[17] Leen, G. & Heffernan, D., "Vehicles Without Wires", *IEE Computing & Control Engineering Journal*, 12(5), 2001,205-211.

[18] Mahmud, S.M.; Shanker, S., "In-vehicle Secure Wireless Personal Area Network (SWPAN)", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Volume 55, Issue 3, 2006.1051 – 1061.

[19] Choi, S. H., Kim, B. K., Park, J., Kang, C. H., & Eom, D. S., "An Implementation of Wireless Sensor Network for Security System Using Bluetooth", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 50(1), 2004, 236-244.