

# Sistema de adquisición, procesamiento y transmisión de señales biomédicas utilizando dispositivos móviles de uso masivo

Pablo A. Roncagliolo<sup>1,2</sup>, Luis T. Arredondo<sup>2</sup> y Agustín J. González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María, Chile*

<sup>2</sup>*Departamento de Ingeniería Biomédica, Universidad de Valparaíso, Chile*  
*pablo.roncagliolo@uv.cl*

**Resumen**— Este trabajo presenta diferentes ámbitos tecnológicos involucrados en la programación de un dispositivo móvil para realizar tareas de adquisición, procesamiento y transmisión de señales biomédicas. Esta tarea se alinea con el desarrollo permanente de nuevas tecnologías de soporte al diagnóstico y tratamiento de enfermedades, en base a la posibilidad de medir continuamente diversas variables como señales electrocardiográficas, presión arterial, concentración de oxígeno, o simplemente temperatura y pulso. El aporte de esta tecnología radica en su portabilidad y bajo costo, lo que permite su uso masivo. Específicamente el trabajo analiza la capacidad de adquisición y de procesamiento de señales de un equipo móvil estándar. Los resultados del trabajo permiten afirmar que en la actualidad, estos equipos poseen la capacidad de procesamiento suficiente para ejecutar sistemas de adquisición de señales. Estos sistemas, en conjunto con servidores externos, permiten vislumbrar un futuro cercano donde la posibilidad de realizar mediciones continuas de variables biomédicas deje de estar confinada a recintos hospitalarios y se comience a utilizar con mayor frecuencia en la vida cotidiana y en los hogares.

**Palabras clave**— Mobile Health, Home Care, Telemedicina.

## I. INTRODUCCIÓN

EL auge de la telefonía móvil, ha impulsado significativamente el desarrollo de dispositivos móviles que incorporan diversas tecnologías de hardware y software a costos cada vez menores. Actualmente la mayoría de los equipos de uso masivo poseen diferentes dispositivos periféricos (micrófono, cámara y pantallas de alta resolución), enlaces de comunicación local (infrarrojo y Bluetooth), canales de comunicación digital a través de la red de telefonía celular (GPRS), grandes unidades de memorias y permiten la ejecución de aplicaciones desarrolladas en lenguajes estándares como C o Java. Todas estas capacidades tecnológicas convierten a los teléfonos móviles de nueva generación, en excelentes plataformas para evaluar nuevos tipos de aplicaciones, donde la movilidad y la portabilidad sean requisitos relevantes.

La posibilidad de medir, analizar y registrar variables biomédicas o aspectos relacionados con la salud de las personas, en tiempo real y fuera de los recintos hospitalarios, ha generado un gran número de investigaciones y desarrollos tecnológicos que se agrupan bajo el concepto de 'Mobile Health' [1][2] y 'Home Care' [3]. Otras investigaciones apuntan a un horizonte tecnológico, donde los diferentes sensores y dispositivos de captura de variables biomédicas se incorporan a modo de vestimenta, y se denominan 'Wearable Sensors' [3]-[6].

Este trabajo presenta el diseño, desarrollo y evaluación de un sistema genérico de adquisición de variables biomédicas, utilizando dispositivos móviles de uso masivo, que consta de un sistema de adquisición a través de la entrada de audio del equipo, una aplicación de procesamiento local desarrollada en *Java 2 Micro Edition* (J2ME), y un protocolo de transmisión automática de información hacia un servidor externo a través de la red GPRS. Para ello se desarrolló un módulo básico de medición de pulso arterial utilizando fotopletimografía, con una interfaz electrónica que genera un *peak* de frecuencia y duración específica que es acoplado directamente al accesorio denominado 'manos libres'. Se ha escogido esta configuración simple y de bajo costo para la adquisición, por cuanto el objetivo de este trabajo es analizar el desarrollo de la aplicación J2ME y no la electrónica asociada a la adquisición o los protocolos de transmisión inalámbricos como Bluetooth.

Investigaciones similares [7] han desarrollado sistemas de *Home Care* que permiten conectar dispositivos médicos a equipos móviles, sin embargo, en muchos de estos casos el uso de estos dispositivos móviles se realiza bajo la modalidad de MODEM, pues no realizan tareas de adquisición ni procesamiento de la señal biomédica. Otras investigaciones [8][9] utilizan dispositivos móviles para la adquisición y transmisión de señales biomédicas, pero utilizan preferentemente PDAs y no teléfonos móviles.

Actualmente, junto con el aumento de la capacidad de procesamiento de los teléfonos móviles y la incorporación de nuevas tecnologías de comunicación, estos equipos han logrado el potencial para ejecutar tareas de adquisición, procesamiento y transmisión de señales previamente acondicionadas, como se presenta en este trabajo.

## II. DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA

El diseño de un sistema de móvil para adquirir señales biomédicas debe considerar las limitaciones inherentes a estos equipos, e incluir las posibles acciones de mitigación.

### A. Consideraciones relevantes para el diseño

El concepto 'equipo móvil' abarca una serie de equipos como teléfono celular, PDA, notebook, tablet PC, entre otros. Estos equipos presentan una serie de beneficios asociados a su portabilidad y autonomía, pero también poseen evidentes restricciones que se resumen en [10]:

- *Recursos limitados:* en comparación a las estaciones de trabajo, estos dispositivos poseen menor velocidad de procesador; menor capacidad de memoria y de disco; e interfaces de red con menor ancho de banda.

- *Vulnerabilidad:* los equipos portátiles son más susceptibles a sufrir daños o extravíos, problemas inherentes a su portabilidad. La seguridad y replicación de la información contenida, adquiere mayor relevancia.
- *Conectividad inestable y ancho de banda variable:* los equipos móviles pueden alternar entre conexiones a red de alto rendimiento como Wifi, o pueden optar a conexiones locales vía Infrarrojo o Bluetooth, y en lugares abiertos como la ciudad o carreteras, su conexión puede ser a través de la red GPRS/GSM.
- *Energía finita:* todo elemento portátil posee fuente de alimentación finita, lo que genera potenciales cortes en su conexión a la red y en aplicaciones de funcionamiento continuo.

Todas estas desventajas de los equipos móviles deben ser consideradas al momento de diseñar una aplicación de adquisición de señales biomédicas. Si bien es cierto constituyen fuertes limitantes para el desarrollo de este tipo de sistema, es necesario analizarlas con criterios objetivos y proponer algunas medidas de mitigación a estos problemas.

### B. Transducción y adaptación de señal

Para evaluar las características generales, ventajas y desventajas de una aplicación de captura de señales biomédicas utilizando teléfonos móviles, como primera aproximación se diseñó una interfaz electrónica que permite transformar en una señal audible la respuesta de un sensor genérico para fotopleletismografía. Esta señal puede estimular o reemplazar al micrófono común conectado al teléfono celular, transmitiéndole así una sucesión de tonos que corresponden al ritmo cardiaco. Para disminuir el tamaño y consumo de energía se desarrolló un circuito electrónico basado en componentes discretos, sin utilizar dispositivos programables. Este circuito además de la etapa de amplificación y filtraje, incorpora un circuito derivador que activa la emisión de una señal de frecuencia audible por cada pulso detectado (Fig. 1C).

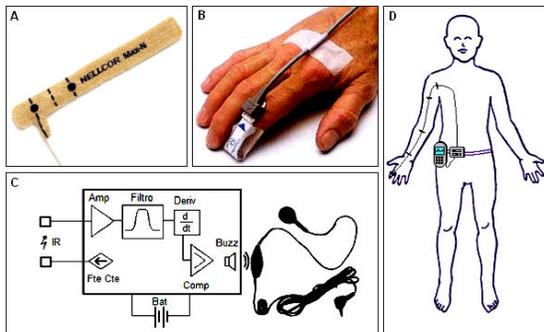


Fig. 1: Sensor para fotopleletismografía y esquema de uso del sistema.

En la Fig.1A se muestra el transductor de fotopleletismografía empleado, fabricado por la compañía Nellcor. La Fig.1B muestra el modo de uso y la Fig.1D presenta la disposición y conexión del sistema completo.

La entrada de sonido, disponible en todos los equipos móviles, permite capturar los voltajes entregados por el micrófono del dispositivo 'manos libres', lo que corresponde a una interfaz de conversión análogo-digital. Esta interfaz, diseñada para aplicaciones de audio, posee filtros que eliminan las señales continuas y de baja frecuencia, y la tasa normal de captura es de 8K muestras/seg. y cuantización de 8 bits/muestra.

El rango normal de frecuencias audibles está en el rango de 20Hz a 20KHz, no obstante, dada la tasa de muestreo, la frecuencia máxima detectada por este tipo de dispositivos no supera los 4KHz. Para la aplicación propuesta, el circuito diseñado entrega una señal de 400Hz y 0.1[seg.] de duración por cada pulso arterial detectado.

### C. Desarrollo de la aplicación móvil

La aplicación se desarrolló en lenguaje J2ME-MIDP2.0 [Apéndice B] y se evaluó en el equipo Nokia 6670.

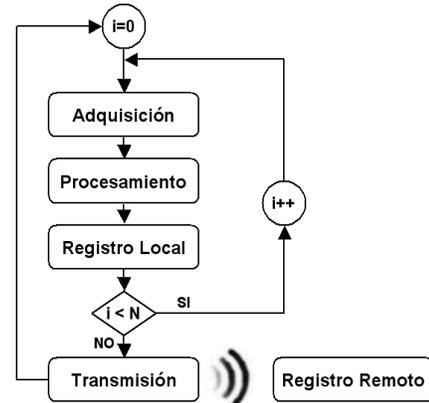


Fig. 2: Diagrama de flujo de la aplicación desarrollada.

Como se observa en la Fig. 2, las etapas principales de la aplicación corresponden a: i) la adquisición a través de la captura de la señal de audio; ii) el procesamiento local para determinar la latencia entre pulsos; iii) el registro local del promedio de pulsos por minuto (PPM); iv) y la transmisión periódica de la información hacia un servidor remoto.

Para determinar la latencia entre pulsos, se aplica un algoritmo de detección de pendientes positivas y negativas utilizando como referencia un valor de umbral, como se observa gráficamente en la Fig.3. El cálculo de PPM corresponde a un promedio móvil de los valores obtenidos en un conjunto consecutivo de pulsos detectados.

### D. Registro continuo

El registro continuo es posible en la medida que el procesamiento de la señal sea lo suficientemente rápido como para no detener las tareas de adquisición. Sin embargo, a pesar de que J2ME permite el uso *threads*, dadas las restricciones de velocidad de los equipos, no es posible ejecutar simultáneamente algoritmos de procesamiento sin generar disminuciones en la calidad de la adquisición. La alternativa utilizada en este trabajo consiste en realizar periodos de adquisición, seguidos de periodos breves de procesamiento (Apéndice A).

### E. Procesamiento de la señal

La entrada de audio del dispositivo móvil es digitalizada y almacenada en *buffers* internos de la aplicación, sobre los cuales se ejecuta un algoritmo de procesamiento. En esta aplicación, el procesamiento corresponde a filtros de promediación móvil, detección de máximos y cálculo de la latencia entre pulsos. En otro tipo de aplicaciones las tareas de procesamiento pueden ser más complejas, por ejemplo, la determinación de parámetros de un ECG o el análisis espectral de un EEG. En este contexto, es importante tener en cuenta que la factibilidad de realizar procesamiento en tiempo real sobre equipos móviles, ha sido comprobada en otros desarrollos previos [11][12].

### F. Almacenamiento local

En cada ciclo de adquisición-procesamiento, se obtiene el promedio de pulsos por minuto (PPM) registrados en el periodo. Estos valores son almacenados temporalmente en registros locales para su posterior transmisión a un servidor remoto de almacenamiento. Es importante tener en cuenta que el periodo de vaciamiento de los registros locales puede ser variable, por lo tanto se debe contemplar la capacidad de almacenamiento local del equipo móvil. En esta aplicación, para el registro PPM y la hora respectiva se requieren 3 bytes por minuto, lo que corresponde a 4,2Kbytes por día. El equipo utilizado en las pruebas posee una memoria de 8Mbytes, por lo tanto la capacidad de registro local no constituye una limitante en esta aplicación.

### G. Transmisión y almacenamiento remoto

El sistema de almacenamiento remoto corresponde a un servidor Web, que contiene páginas HTML para la visualización de los datos enviados desde el equipo móvil, y posee diferentes scripts desarrollados en lenguaje PHP para controlar la recepción de los datos y el manejo de los archivos. La aplicación JAVA del equipo móvil ejecuta periódicamente una llamada HTTP al servidor remoto, utilizando el método GET para el envío de los datos almacenados durante el periodo. Para realizar esta llamada se utiliza el canal GPRS que permite el envío de datos digitales desde el equipo móvil hasta cualquier punto de Internet. A diferencia del envío de datos a través de la red GSM o a través del envío de SMS, la transmisión vía GPRS está diseñada para el envío periódico de tramas pequeñas de datos, a bajo costo, lo que es adecuado para esta aplicación.

### H. Costos y masificación

Sólo a modo ilustrativo, en Chile al mes de Mayo de 2007, la transmisión a través de GPRS tiene un costo aproximado de USD\$0,0075 por kilobyte, por lo tanto para transmitir los 90Kbytes que puede generar este sistema durante 30 días transmitiendo cada 1 hora, se generaría un costo mensual de USD\$0,7.

Prácticamente la mayoría de los equipos móviles que actualmente están disponibles en el mercado, incorporan la posibilidad de ejecutar aplicaciones desarrolladas por terceros. En particular, J2ME se ha convertido en un estándar que facilita la portabilidad de las aplicaciones entre distintos modelos y marcas de equipos.



Fig. 3: Equipo Nokia6670 ejecutando la aplicación.

## III. EXPERIMENTACIÓN

La Fig.3 muestra en ejecución la aplicación desarrollada y se observa en modo gráfico los datos adquiridos en cada ciclo. Al respecto es importante destacar que durante la ejecución de la aplicación, el teléfono sigue operando normalmente para realizar y recibir llamadas, por la característica multitarea del sistema operativo [Apéndice B].

### A. Tiempo de adquisición, procesamiento y transmisión

La Tabla I presenta la medición de las diferentes etapas involucradas en un ciclo de adquisición y procesamiento. Se observa que el tiempo de adquisición es levemente superior al tiempo de captura. Esto ocurre pues una vez concluida la captura, el objeto Java que realiza la adquisición debe realizar un vaciamiento hacia otra estructura de datos para que sea accesible por el programador. También se puede observar que los tiempos de procesamiento son muy inferiores a los tiempos de captura, y que el tiempo requerido para el despliegue gráfico en pantalla es relativamente constante.

TABLA I

TIEMPOS EN DEL CICLO ADQUISICIÓN-PROCESAMIENTO

Etapas del Ciclo	Tiempo de Captura		
	1 seg.	5 seg.	10 seg.
Adquisición	1,031 (67%)	5,047 (90%)	10,078 (94%)
Procesamiento	0,032	0,047	0,048
Visualización	0,344	0,344	0,356
Garbage Collector	0,124	0,156	0,188

Por problemas de estabilidad en el manejo de la memoria de los dispositivos móviles programados con J2ME es necesario ejecutar periódicamente el algoritmo denominado *Garbage Collector* que permite liberar espacio de memoria eliminando objetos no utilizados. Al igual que el tiempo de visualización esta etapa requiere un tiempo no despreciable.

Sin embargo, tanto la etapa de visualización como la de liberación de memoria, no requiere ejecutar en todos los ciclos. Para ello existen dos estrategias: la primera corresponde al aumento del tiempo de captura, como se muestra en las columnas de la Tabla I, de esta manera los tiempos dedicados a las etapas de visualización y liberación de memoria pierden relevancia respecto del tiempo de captura; la segunda estrategia corresponde a postergar la ejecución de estas etapas, por ejemplo, se puede actualizar la información en pantalla una vez por minuto, y ejecutar la liberación de memoria luego de un número determinado de ciclos, según la cantidad de memoria del equipo utilizado.

La etapa de transmisión involucra los siguientes pasos: i) abrir la conexión HTTP sobre GPRS; ii) enviar la petición y los datos a través del método GET; iii) descargar la respuesta del servidor. La medición del tiempo total de la etapa de transmisión presenta una gran variabilidad, en momentos donde la señal de la red celular es débil, sin embargo, en lugares con adecuada cobertura esta variabilidad disminuye. En estos casos el menor tiempo medido fue de 3,20 seg. y el mayor tiempo fue de 5,34 seg. Es importante considerar que este tiempo se determinó para envío de 128 bytes (incluyendo datos y URL del servidor), y representa el tiempo total transcurrido desde que se inicia el establecimiento de la conexión hasta que se recibe la respuesta del Servidor Web.

### B. Registro en el servidor remoto

En el servidor Web se implementaron *scripts* PHP para la recepción de los datos a través de llamadas HTTP y su posterior almacenamiento y visualización. En la Fig. 4 se presenta un gráfico de los PPM respecto del estado de actividad informado por el usuario.

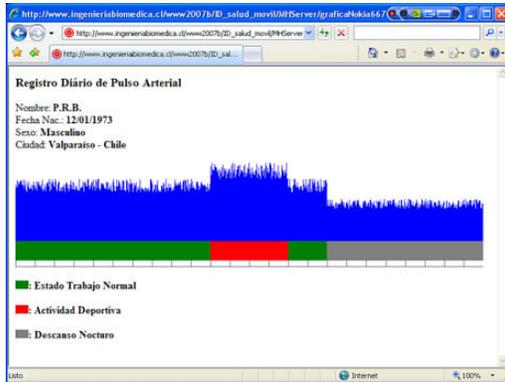


Fig. 4: Visualización de registros en el servidor Web.

El despliegue de información a través de una página Web es una herramienta útil en el seguimiento permanente de variables biomédicas, para uso personal o de apoyo médico.

## IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el desarrollo de un sistema de adquisición de señales biomédicas utilizando un teléfono móvil estándar. De acuerdo a los resultados experimentales se puede afirmar que es posible implementar rutinas de adquisición, procesamiento y transmisión de señales con tasas de muestreo suficientes para algunas variables biomédicas como el pulso arterial. Sólo se detectaron problemas de estabilidad de la aplicación debido a llenado de la memoria en periodos de ejecución prolongados. Estos problemas son inherentes a J2ME, por lo que se requiere la ejecución periódica del algoritmo *Garbage Collector*.

Es importante destacar que cada día los equipos móviles disponibles aumentan sus capacidades gráficas, de comunicación y de procesamiento, lo que augura cada vez mejores resultados en este tipo de sistemas. Respecto al objetivo del proyecto, se puede indicar que las principales ventajas del uso de teléfonos móviles en tareas de adquisición, procesamiento y transmisión de señales biomédicas, radican en la simpleza de las configuraciones, un uso intuitivo y flexible, su portabilidad y su conexión permanente. Además son dispositivos de bajo costo, por lo que es posible masificar el uso de este tipo de aplicaciones.

## V. TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se privilegió el desarrollo inicial de una aplicación de captura basada en la entrada de audio disponible en todos los equipos celulares, lo que permitiría su uso masivo, dado el bajo costo de los dispositivos. No obstante, en la actualidad los equipos móviles incorporan tecnologías inalámbricas de área local como Bluetooth o WiFi, lo que facilita el enlace con los dispositivos de adquisición, al no requerir cable de conexión. Los autores de este trabajo están integrando un módulo electrónico basado en Bluetooth para la conexión inalámbrica de los sensores con el equipo móvil y para la transmisión de los datos a una red local. También se implementarán

algoritmos de encriptación para seguridad en la transmisión y se utilizarán protocolos seguros (HTTPS) para la recepción y visualización de información en el Servidor Web.

## APÉNDICES

### A. Algoritmo de Adquisición

Se presenta el método de adquisición utilizado en base a las rutinas multimedia de la librería MMAPI de J2ME.

```
public void Capturar() {
    Player p; ByteArrayOutputStream output=null;
    RecordControl rc=null;

    try {
        p = Manager.createPlayer("capture:audio?rate=8000");
        p.realize();
        rc = (RecordControl)p.getControl("RecordControl");
        p.start();
        output=new ByteArrayOutputStream();
        rc.setRecordStream(output);
        rc.startRecord();// inicia adquisición
        ...
    }
}
```

### B. Herramienta de programación y Equipo utilizado

Se utilizó la plataforma Wireless Toolkit 2.2 de Sun Microsystems, en conjunto con Eclipse 3.2 como entorno de programación Java2 ME. Todos los software utilizados son de libre disposición y sin costos de licencias. El equipo utilizado fue el modelo Nokia 6670 S60, con procesador RISC 32 bits, ARM9 123Mhz, pantalla de 176x208 píxeles, sistema operativo multitarea Symbian OS 7.0, memoria interna de 8MB y externa de 64MB Flash. Canal GPRS, tasa máxima de descarga 40,3kbps y de envío 26,8kbps.

## REFERENCIAS

- [1] R. Istepanian, "M-Health: Emerging Mobile Health Systems", *Topics in Biomedical Engineering*, Springer, 1 edition, Nov. 2005.
- [2] J. Choi, S. Yoo, H. Park, J. Chun, "MobileMed: A PDA-Based Mobile Clinical Information System", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 10, No. 3, July 2006.
- [3] J. Yao, R. Schmitz, S. Warren, "A wearable point-of-care system for home use that incorporates plug-and-play and wireless standards", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 9, No. 3, sept. 2005.
- [4] M. Drugge, J. Hallberg, P. Parnes, K. Synnes, "Wearable systems in nursing home care: prototyping experience", *IEEE Pervasive Computing*, vol. 5, Issue 1, Jan.-March 2006.
- [5] H. Asada, P. Shaltis, A. Reisner, S. Rhee, R. Hutchinson, "Mobile Monitoring with Wearable Photoplethysmographic Biosensors", *IEEE Engineering In Medicine And Biology Magazine*, May. 2003.
- [6] P. Bonato, "Wearable sensors/systems and their impact on biomedical engineering", *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 22, Issue 3, May-Jun 2003.
- [7] M. Figueredo, J. Dias, "Mobile Telemedicine System for Home Care and Patient Monitoring", en *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, vol. 2, Sept 1-5 2004.
- [8] R. Fensli, E. Gunnarson, T. Gundersen, "A Wearable Ecg-recording System for Continuous Arrhythmia Monitoring in a Wireless Tele-Home-Care Situation", en *Proceedings of the 18th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems CBMS'05*, 23-24 Jun. 2005.
- [9] K. Goh, J. Lavanya, Y. Kim, E. Tan, C. Soh, "A PDA-Based ECG Beat Detector for Home Cardiac Care", en *Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, Sept. 1-4, 2005.
- [10] M. Satyanarayanan, "Mobile Information Access", *IEEE Personal Communications*, vol. 3, No.1, Feb. 1996.
- [11] P. Roncagliolo, A. González, "Capacitación en el uso de Equipos Médicos utilizando Herramientas de Realidad Aumentada", en *XI Jornadas Internacionales de Ingeniería Clínica y Tecnología Médica*, Argentina, Agosto 23-25 de 2006.
- [12] J. Tierno, C. Campo, "Smart Camera Phones: Limits and Applications", *IEEE Pervasive Computing*, vol.4, Issue 2, Abr. 2005.