

Plataforma para la integración y la gestión homogénea de formatos de electrocardiografía

J. D. Trigo, A. Kollmann², A. González¹, D. Hayn², Á. Alesanco, G. Schreier² y J. García¹

¹ Universidad de Zaragoza/Instituto de Investigación en Ingeniería Aragón (I3A), c/ María de Luna, 3. 50018 – Zaragoza

² AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Safety and Security Department, Reininghausstrasse 13, 8010 Graz, Austria

{jtrigo, aglezrgez, alesanco, jogarmo}@unizar.es, {alexander.kollmann, dieter.hayn, guenter.schreier}@ait.ac.at

Resumen

Durante las dos últimas décadas se ha propuesto una amplia variedad de protocolos y estándares para el almacenamiento y la transmisión de las señales de electrocardiografía (ECG). Esta multiplicidad de formatos genera entornos de gestión no homogéneos en los hospitales. Para solventar esta situación, se desarrollaron inicialmente conversores punto a punto entre formatos. Esta aproximación resulta poco efectiva, especialmente cuando el número de formatos a contemplar crece, ya que requiere una gran cantidad de conversores. En este artículo se propone una plataforma para la integración y la gestión homogénea de formatos de ECGs. La plataforma consiste en una aplicación que consta de cuatro módulos: un servlet, un applet, una base de datos y una página web. La idea principal es convertir los ECGs a un formato central, de modo que puedan ser almacenados, visualizados y gestionados de manera homogénea.

1. Introducción

El electrocardiograma (ECG) es una de las pruebas médicas más generalizadas en el diagnóstico de enfermedades cardiovasculares. Con el desarrollo de las nuevas plataformas de telemonitorización, tareas tales como la transmisión, el almacenamiento y la gestión de las señales digitales de ECG han cobrado especial interés tanto en el campo de la investigación como en las organizaciones hospitalarias.

En este contexto, se ha propuesto una amplia variedad de protocolos y estándares para la representación digital de los ECGs. Algunos de los más extendidos son: el *Standard Communications Protocol for Computer-Assisted ElectroCardioGraphy* (SCP-ECG), el *HL7 annotated ECG* (HL7 aECG), el *Medical waveform Format Encoding Rules* (MFER), o el *Digital Imaging and Communication in Medicine* (DICOM) *Waveform Supp. 30*. Cabe destacar, sin embargo, que la lista de formatos coexistentes es prolija: *General Data Format* (GDF), *File Exchange Format* (FEF), *PhilipsXML*, *ecgML*, *XML-ECG*, *WaveForm DataBase* (WFDB), etc. Mención aparte merecerían los formatos propietarios de los fabricantes, cuya estructura y composición no se encuentra disponible.

Esta multiplicidad genera un evidente problema en el ámbito de la interoperabilidad y estandarización de las señales electrocardiográficas. Para resolver, en parte, esta situación, se pueden encontrar en la literatura diversos proyectos de conversión entre pares de formatos [1-4].

Sin embargo, esta aproximación resulta poco eficiente cuando el número de formatos implicados crece, ya que requiere desarrollar un gran número de conversores. Por otro lado, esta heterogeneidad genera diversos problemas de organización en los sistemas de gestión de información médica de los hospitales. Los fabricantes de electrocardiógrafos generalmente proporcionan el software que se necesita para visualizar y gestionar los ECGs provenientes de sus dispositivos, o bien, en el caso de que cumplan alguno de los formatos de ECGs, se pueden encontrar visualizadores de libre distribución para los formatos más extendidos. En un entorno hospitalario, puede producirse la situación de que se disponga de diferentes electrocardiógrafos que registran los ECGs en diferentes formatos. Por tanto, para gestionar de manera eficiente los diferentes formatos que pueden llegar a un servidor de información médica, surge la necesidad de diseñar nuevos sistemas de gestión homogénea. En esta línea ya se han presentado algunas iniciativas, sin embargo, no terminan de cumplir con las expectativas de un sistema de estos requisitos, en algunos casos porque se elige como formato central uno de los propios formatos involucrados (excluyendo así campos que no se pueden traducir directamente) [5-6], y, en otros, porque se usan diferentes herramientas de visualización [7].

En este artículo se propone una plataforma basada en acceso web para la integración y la gestión homogénea de formatos de electrocardiografía, haciendo uso de un formato central capaz de aglutinar las características de cualquier formato de ECGs.

2. Estándares de cardiología considerados

El número de formatos para codificar archivos de ECG disponibles hoy en día es muy amplio y diverso. La presente plataforma cubre cuatro de los más extendidos:

- *SCP-ECG* [8]: Formato de codificación binaria que define una estructura de información para comunicar dispositivos de ECGs y sistemas concentradores.
- *HL7 aECG* [9]: Extensión del estándar HL7 que define un formato en XML para el almacenamiento y transmisión de ECGs anotados.
- *DICOM Supp. 30* [10]: Inicialmente DICOM se orientó a imágenes médicas. El suplemento 30 permite la representación de señales biomédicas como el ECG.
- *PhilipsXML* [11]: En el año 2003 Philips hizo público su formato en XML para representar ECGs.

3. Conversores y sistemas de gestión

3.1. Conversores punto a punto y su problemática

Se han publicado varios proyectos que cubren la relación entre los campos de algunos de los formatos de ECG más extendidos (Fig. 1). Por ejemplo, se han presentado trabajos cubriendo las relaciones de HL7 aECG con Philips XML [1], de SCP-ECG con DICOM [2-3], o de SCP-ECG y HL7 aECG con DICOM [4].

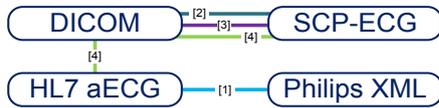


Figura 1. Conversores punto a punto en la literatura

Sin embargo, esta aproximación de conversores punto a punto no es eficiente. Siguiendo este planteamiento, el número de conversores que se necesitan (siendo n el número de formatos que se consideran) es $n*(n-1)/2$. Por otro lado, usando una estrategia de formato central, el número de conversores es n . A medida que el número de formatos considerados crece, la aproximación del formato central resulta cada vez más eficiente (Fig. 2).

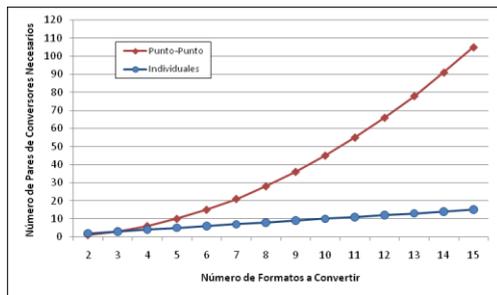


Figura 2. Comparativa de estrategias

Por otro lado, los servicios de gestión de información de los hospitales se han de enfrentar a la engorrosa circunstancia de tener que gestionar diferentes formatos y diferentes aplicaciones de visualización.

3.2. Sistemas de gestión integrada y su problemática

Una solución a este problema es el diseño de nuevos sistemas de gestión integrada. Observando la literatura, en [5], se usa SCP-ECG como formato central interno, traduciendo HL7 aECG (junto con otros formatos como Unipro o Scifor) a SCP-ECG, mientras que en [6] se elige HL7 aECG como formato central. Elegir como formato central uno de los propios formatos implicados tiene como ventaja que el número de conversores necesarios se reduce en una unidad. Sin embargo, como desventaja, puede darse que alguno de los campos provenientes de un formato no se pueda traducir al formato central elegido. En [7], por otro lado, se usa ASCII como formato para guardar los ECGs, pero posteriormente se usan diferentes herramientas de visualización para cada formato.

Por tanto, algunas de las mejoras posibles incluirían: el diseño de un formato central en XML capaz de cubrir cualquier campo de cualquier formato y, por otro lado, el diseño de una plataforma web que mejore la accesibilidad y reduzca la gestión asociada.

4. Plataforma de gestión homogénea

4.1. Formato central de ECG en XML

En la solución implementada el formato interno está basado en XML y se ha diseñado tras analizar los puntos en común de los cuatro estándares contemplados en la plataforma. A continuación se muestra un extracto simplificado del formato XML.

```
<ecgxml>
  <manufacturer>
    <manufacturer>Philips</manufacturer>
    <model>Pagewriter Trim</model>
    <serialNumber>M4993</serialNumber>
  </manufacturer>
  <patient>
    <patientid>12345</patientid>
    <name>
      <lastname>Trigo</lastname>
      <firstname>Jesus</firstname>
      <middlename>Daniel</middlename>
    </name>
    <dateofbirth>1981-12-21</dateofbirth>
    <sex>Male</sex>
    <height><cm/></height>
    <weight><kg/></weight>
  </patient>
  <date_time>
    <date>2006-06-21</date>
    <time>19:54:24</time>
  </date_time>
  <waveforms>
    <leads>I II III aVR aVL aVF V1 V2 V3 V4 V5 V6</leads>
    <signalcharacteristics>
      <samplingrate>500</samplingrate>
      <signalresolution>5</signalresolution>
      <signalbandwidth>0.05-150</signalbandwidth>
      <acsetting>50</acsetting>
      <bitpersample>16</bitpersample>
      <durationperchannel>11000</durationperchannel>
    </signalcharacteristics>
    <parsedwaveform>
      ... ECG_SAMPLES ...
    </parsedwaveform>
  </waveforms>
</ecgxml>
```

4.2. Módulos y diagrama Entidad-Relación

La plataforma diseñada se ha implementado en Java y consta de cuatro módulos diferenciados (Fig. 3). A continuación se detalla la función de cada uno de ellos:

- *Servlet*: Se encarga de extraer la información de los ECGs para, posteriormente, realizar la conversión al formato central así como de realizar la conversión inversa, del formato central a SCP-ECG.
- *Applet*: Es el visor propiamente dicho. Muestra por pantalla la señal ECGs así como datos asociados al paciente y al dispositivo adquirente. También permite realizar medidas sobre la señal ECG representada. Cabe destacar que un *applet* facilita enormemente la accesibilidad, puesto que un navegador estándar es suficiente para hacer uso del sistema.
- *Base de Datos (BBDD)*: En la BBDD se almacenan los ECGs. A ella se accede a través de la página web (para listar los ECG) y a través del *servlet* (para extraer o almacenar). En este trabajo, la BBDD se gestiona con identificadores, pero en una implementación real se integraría en el sistema del hospital.
- *Página Web*: Se usa para emular un sistema de información de un hospital. Interacciona con la base de datos, el *servlet* y el *applet*.

En la Fig. 4 se presenta el diagrama Entidad-Relación de la plataforma. En él se observan las clases y métodos de los módulos y la relación entre ellos. Asimismo, se muestran tres de las principales acciones del sistema: visualización, conversión y acceso a la base de datos.

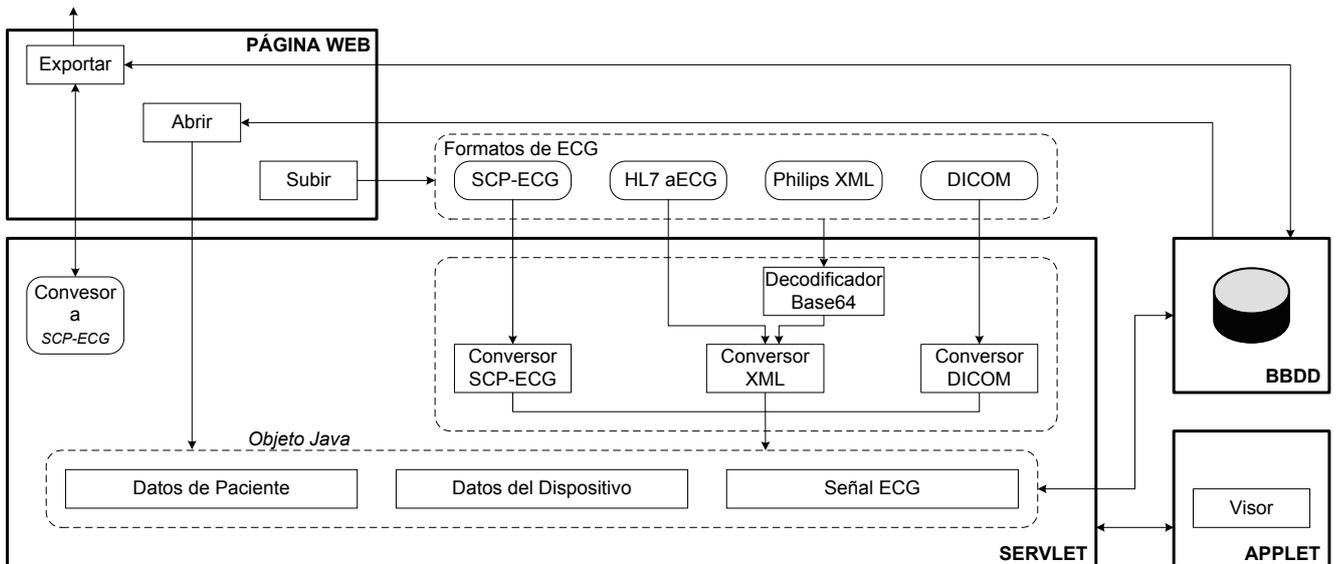


Figura 3. Arquitectura software de la plataforma

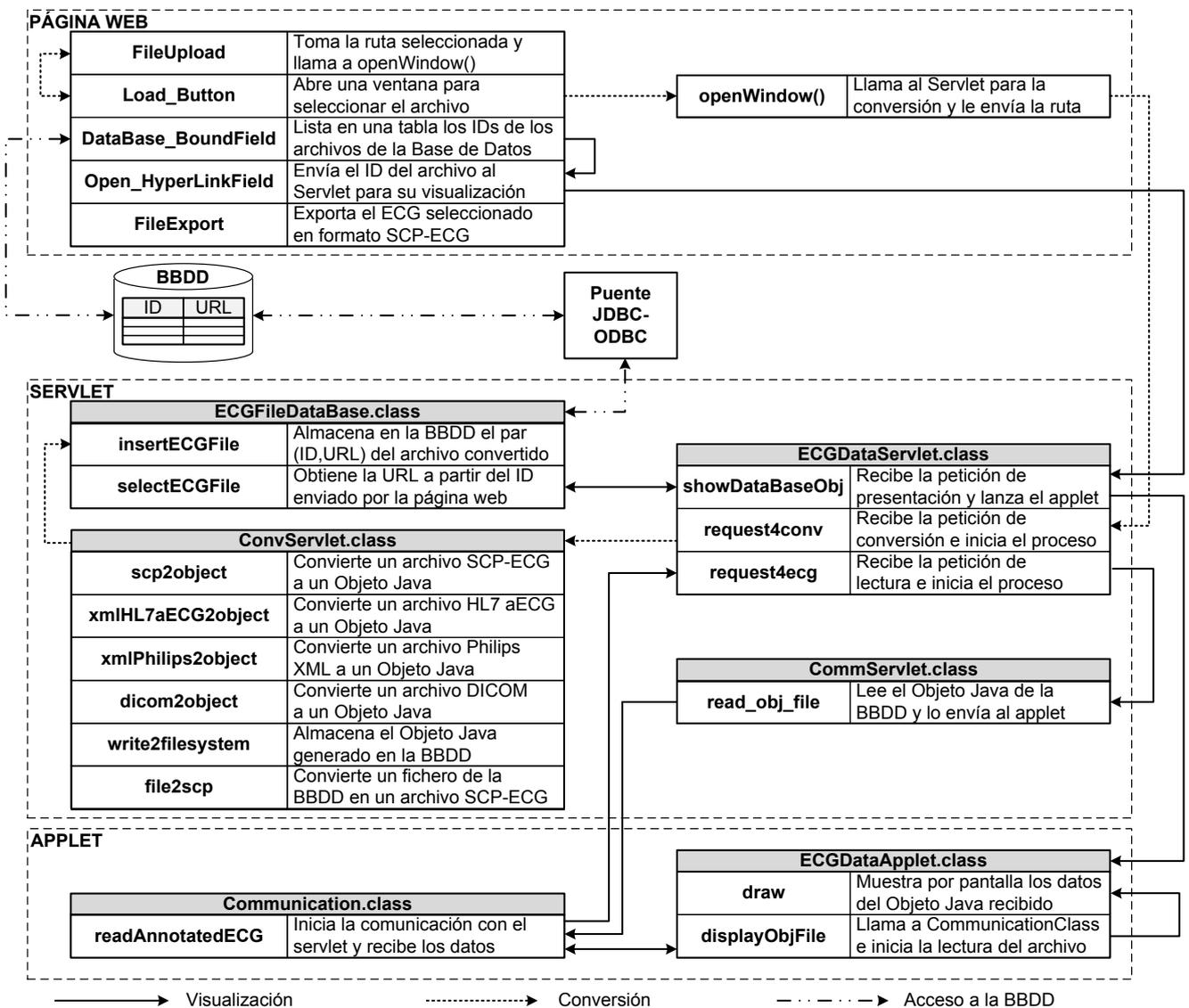


Figura 4. Diagrama Entidad-Relación

5. Resultados

La Fig. 5 muestra el *front-end* de la aplicación, donde se listan los archivos ECG que se encuentran en la base de datos para abrirlos o exportarlos y desde donde se puede subir un nuevo registro de ECG.

En la Fig. 6, el visor de ECGs muestra las derivaciones que contenga el archivo así como los datos asociados de paciente y dispositivo. Diversas configuraciones típicas se han preestablecido: 2x6, 3x4, 12x1, 2x1 ó 1x1. El visor ofrece la posibilidad también de realizar medidas de amplitud y duración sobre la señal ECG (Fig. 7).

Cabe destacar también que, aunque la plataforma se ha diseñado para acceso web, también se ha considerado la posibilidad de que el usuario trabaje *off-line*. Para ello, se ha creado, a partir del código del *applet*, una aplicación *off-line* basada en *Java Network Launching Protocol* (JNLP), que el usuario se puede descargar.



Figura 5. Página Web inicial con la lista de los ECGs

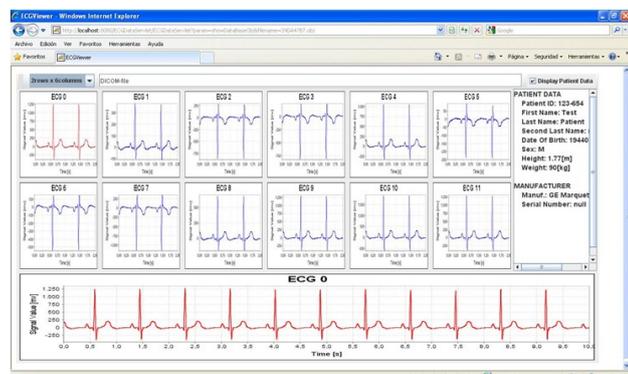


Figura 6. Visualizador de ECGs

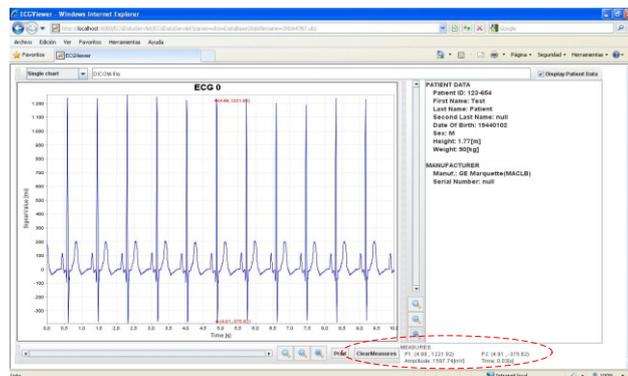


Figura 7. Realización de medidas en el visualizador de ECGs

6. Conclusiones y líneas futuras

Se ha presentado una plataforma para la integración y la gestión homogénea de algunos de los formatos de ECGs que pueden llegar a un servidor de información médica.

Tras el análisis de las estructuras de los formatos de ECG, se ha llegado a la conclusión de que, en la actualidad, no existe un consenso global en la estructura ni en los campos de información que un archivo de ECG debe contener. Esta situación inspiró la decisión de crear un formato central abierto, capaz de gestionar uniformemente los distintos formatos del ECG.

Dos características básicas del sistema desarrollado son la modularidad y la accesibilidad. El diseño modular permite añadir un nuevo formato de ECGs al sistema simplemente desarrollando su clase conversora. Por otro lado, un navegador básico es suficiente para acceder al sistema, evitando así la instalación de múltiples aplicaciones de gestión.

De entre las futuras líneas de trabajo cabe destacar la implementación de nuevos conversores, la inclusión del soporte para anotaciones en los ECGs y, finalmente, el diseño del formato central basado en una ontología de ECGs. Otra línea de interés es la inclusión de aspectos de privacidad y seguridad en el sistema para garantizar la confidencialidad, integridad y origen de la señal.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por los proyectos TIN2008-00933/TSI de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y Fondos Europeos para el Desarrollo Regional (FEDER), y TSI-020302-2009-7/Plan Avanza I+D del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Referencias

- [1] E. D. Helfenbein, R. Gregg, and S. Zhou, "Philips medical systems support for open ECG and standardization efforts," in *Computers in Cardiology*, 2004, pp. 393-396.
- [2] V. Sakkalis, et al., "A gateway between the SCP-ECG and the DICOM supplement 30 waveform standard," in *Computers in Cardiology*, 2003, pp. 25-28.
- [3] L.-L. Wang, N.-N. Rao, L.-X. Pu, and G. Wang, "Developing a DICOM Middleware to Implement ECG Conversion and Viewing," in *Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE-EMBS)*, 2005, pp. 6953-6956.
- [4] M. J. B. van Ettinger, J. A. Lipton, M. de Wijs, N. van der Putten, and S. P. Nelwan, "An open source ECG toolkit with DICOM," in *Computers in Cardiology*, 2008, pp. 441-444.
- [5] M. de Wijs, M. van Ettinger, S. H. Meij, and S. P. Nelwan, "Integration of multiple ECG databases into a unified framework," in *Computers in Cardiology*, 2005, pp. 447-450.
- [6] P. Marcheschi, A. Mazzarisi, S. Dalmiani, and A. Benassi, "ECG standards for the interoperability in patient electronic health records in Italy," in *Computers in Cardiology*, 2006, pp. 549-552.
- [7] C.C. Chiang, W.C. Tzeng, H.C. Cheng, C.T. Lin, Y. C. Yang, S. F. Liang, S. B. Lim, "Construction and Application of an Electronic ECG Management System," in *J. Inf. Technol. Appl.*, 2007, vol. 2, pp. 135-140.
- [8] SCP-ECG, "Standard Communication Protocol for Computer-Assisted electrocardiography," EN1064:2005+A1:2007.
- [9] HL7 aECG, "Health Level 7. Annotated ECG.," FDA XML Data Format Design Specification. Revision C-2002.
- [10] DICOM Supplement 30: Waveform Interchange. (2010, January). Available: http://medical.nema.org/Dicom/supps/sup30_ib.pdf
- [11] N. Long, "Open ECG data standard: Philips medical systems perspective," *Journal of Electrocardiology*, 2003, vol. 36, pp. 167.