

MobileECG: Uma Ferramenta para Publicação e Integração de Dados de Sinais ECG

Tibet Teixeira¹, Francisco San Diego Castilho¹, Daniel Rodrigues¹,
Douglas Torquato¹, João Paulo Madeiro², José Maria Monteiro¹,
Angelo Brayner¹, Vânia Vidal¹, Narciso Arruda¹, Tiago Vinuto¹

¹MDCC – Universidade Federal do Ceará (UFC)
Fortaleza – CE – Brasil

²IEDS – UNILAB
Redenção, CE – Brasil

{tibet, sandiego, daniel, douglas}@lia.ufc.br

{monteiro, brayner, vvidal, narciso, tiagosv}@lia.ufc.br

jpaulo.vale@unilab.edu.br

Abstract. *The ECG signal acquisition is a simple and relatively inexpensive diagnostic tool, important for monitoring people suffering from a plethora of heart diseases. Extracting features from the ECG signal allows to comprehend details related to cardiac activity, which may present subtle changes, regular or irregular patterns, and so on. At this sense, we present here a tool named MobileECG¹, which provides signal acquisition, ECG feature extraction, besides ECG data integration and publication using Linked Data. Thus, MobileECG supplies a public knowledge base, which may be used to support complex queries, run mining algorithms and to yield collaboration among experts.*

Resumo. *A aquisição do sinal ECG consiste numa técnica relativamente simples, não-invasiva e de baixo custo, que permite o monitoramento de pacientes acometidos por uma diversidade de doenças cardíacas. A extração de informações ou parâmetros do sinal ECG possibilita a análise e compreensão da atividade cardíaca, a qual pode apresentar padrões regulares ou irregulares e alterações súbitas. Neste cenário, é apresentada a ferramenta MobileECG, a qual realiza a aquisição do sinal ECG, a extração de parâmetros do sinal, a extração de dados do sinal ECG, além da integração e publicação desses dados, seguindo os principais padrões para o compartilhamento de dados abertos na Web. Assim, a ferramenta MobileECG fornece uma base de conhecimento pública, que pode ser usada para dar suporte a consultas complexas e algoritmos de mineração, além de possibilitar a colaboração entre especialistas.*

1. Introdução

O sinal ECG é o registro das diferenças de potencial produzidas pela atividade elétrica das células cardíacas. O corpo humano por si só atua como um grande condutor de corrente

¹Um vídeo de demonstração da ferramenta MobileECG pode ser encontrado em: <http://tiny.cc/mobileecg>

elétrica, e quaisquer dois pontos na superfície podem ser conectados por eletrodos para registrar um ECG ou monitorar o ritmo do coração. O traçado obtido pelo registro eletrocardiográfico contém uma série de formas de onda e complexos, que foram denominados onda P, complexo QRS e onda T. As ondas ou deflexões são separadas por intervalos regulares. Assim, a despolarização atrial produz a onda P; a despolarização dos ventrículos produz o complexo QRS, e a repolarização ventricular produz a onda T.

Devido ao aumento contínuo dos custos com tratamentos, acompanhamentos médicos e cuidados com a saúde, as doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), incluindo-se as doenças cardíacas, derrame, câncer, diabetes e doença pulmonar crônica, são coletivamente responsáveis por quase 70% de todas as mortes no mundo, de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS). Adicionalmente, considerando também que a população mundial está envelhecendo, firma-se uma necessidade significativa de monitorar o estado de saúde de um paciente enquanto ele está em seu ambiente cotidiano. Nesse contexto, uma ampla variedade de protótipos de sistemas desenvolvidos visa fornecer informações em tempo real sobre a condição de saúde de um indivíduo, seja para o próprio usuário, para um centro médico ou diretamente para um cardiologista.

Os denominados sistemas vestíveis para monitoramento da saúde compreendem vários tipos de sensores em miniatura, vestíveis ou mesmo implantáveis, capazes de medir de um a três derivações de ECG, entre outros sinais fisiológicos, e posteriormente transmitir a informação extraída por meio de um link, possivelmente sem fio, para um dispositivo microcontrolador. Esse dispositivo pode transmitir o sinal condicionado e digitalizado para um *smartphone*, um computador ou um banco de dados colaborativo. Em seguida, algoritmos baseados em técnicas de processamento digital de sinais, segmentação de formas de onda e reconhecimento de padrões de doenças cardíacas podem ser executados em uma variedade de plataformas microprocessadas. Portanto, uma solução completa de monitoramento de sinais vitais engloba uma ampla variedade de componentes: sensores, materiais vestíveis, fontes de alimentação, comunicação sem fio, unidades de processamento, interface para o usuário, software e algoritmos para extração de parâmetros, estruturação e publicação dos dados [Pantelopoulos and Bourbakis 2010].

2. A Ferramenta MobileECG

Este trabalho apresenta uma ferramenta, MobileECG, a qual possibilita a aquisição do sinal ECG, a extração de parâmetros das formas de onda, a extração de dados dos sinais ECG, além da integração e publicação de dados de ECG, seguindo os principais padrões para o compartilhamento de dados abertos. Desta forma, a ferramenta MobileECG fornece uma base de conhecimento pública, que pode ser usada para dar suporte a consultas com diferentes níveis de complexidade, executar algoritmos de mineração de dados e aprendizagem de máquina, além de possibilitar a colaboração entre especialistas.

A Figura 1 ilustra a arquitetura da ferramenta MobileECG, a qual compreende os seguintes módulos: módulo de aquisição, módulo de aplicação no *smartphone* do paciente, módulo de processamento do sinal ECG e extração de parâmetros, módulo de extração de dados e módulo de integração e publicação de dados. O módulo de aquisição foi implementado utilizando-se um biossensor e um arduino. O módulo de aplicação foi implementado usando-se a plataforma Android e é executado no *smartphone* do paciente. Os módulos de processamento do sinal ECG e extração de parâmetros, de extração de

dados e de integração e publicação de dados foram implementados utilizando-se a tecnologia de Serviços Web e a linguagem Java. Esses três módulos são executados em uma nuvem computacional e podem ser acessados de forma independente de localização. Todos os módulos serão descritos a seguir.

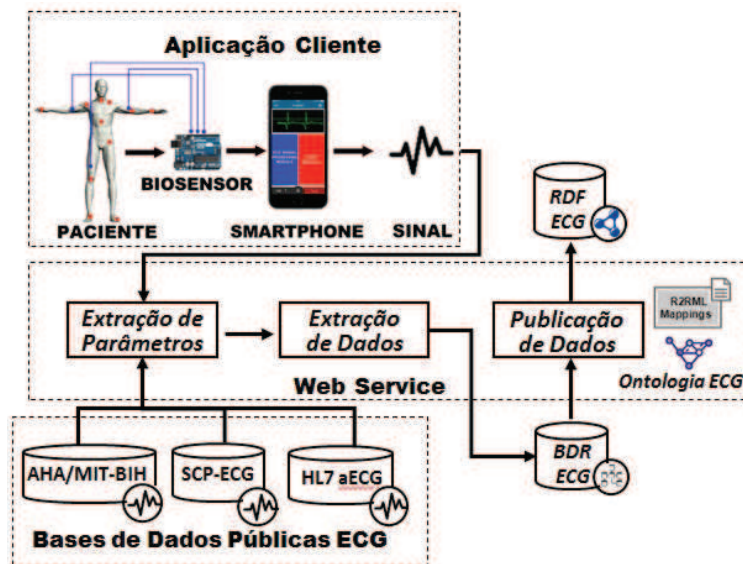


Figura 1. Arquitetura da ferramenta MobileECG

2.1. Módulo de Aquisição

O módulo de aquisição é formado por um biossensor acoplado em um microcontrolador Arduino. A captação do sinal ECG é realizada pelo biossensor, que mede e amplifica os potenciais elétricos derivados da atividade elétrica do coração, e, em seguida, transmite o sinal analógico para o Arduino. O biossensor utilizado, modelo *SHIELD-EKG-EMG*, é um hardware de código aberto que permite comunicação direta (*SHIELD*) com um microcontrolador Arduino, o qual, por sua vez, recebe o sinal analógico, realiza a conversão Analógica/Digital deste sinal e, em seguida, transmite o sinal digital para o *smartphone* do paciente utilizando um módulo (*SHIELD*) de comunicação *bluetooth*.

2.2. Módulo de Aplicação no Smartphone do Paciente

O módulo de aplicação consiste em um aplicativo (*App*) desenvolvido utilizando-se a plataforma Android que é executado no *Smartphone* do Paciente. Esta aplicação possui uma interface gráfica simplificada que permite realizar algumas atividades básicas, tais como: iniciar e finalizar o processo de aquisição do ECG, além de possibilitar a visualização do sinal recebido. O aplicativo permite ainda que o paciente registre eventos específicos, considerando qualquer queixa sobre seu estado de saúde: dor torácica, falta de ar, cefaleia, tontura, palpitações e batimento cardíaco acelerado, entre outros. Por fim, o aplicativo transmite o sinal recebido para o módulo de processamento do sinal e extração de parâmetros, por meio de um serviço Web.

2.3. Módulo de Processamento do Sinal e Extração de Parâmetros

Este módulo consiste em um serviço Web implementado em linguagem Java, o qual contém um conjunto de algoritmos de processamento digital de sinais, tais como: fil-

tagem para eliminação de ruído e interferências, aplicação de transformada *Wavelet* (análise tempo-frequência) para realce seletivo do complexo QRS e das ondas P e T, detecção dos picos, delineamento das formas de onda e extração de parâmetros. Como resultado desta etapa, os seguintes parâmetros são extraídos: amplitude e duração de cada complexo QRS, intervalos entre batimentos, amplitude e duração de cada onda P e de cada onda T e intervalos entre as diferentes formas de onda [Madeiro et al. 2012, Madeiro et al. 2013, do Vale Madeiro et al. 2017]. Vale destacar que este módulo recebe como entrada um sinal ECG, o qual pode ter sido originado de um biossensor, ou seja, do módulo de aquisição, ou de bases públicas previamente existentes (como por exemplo, AHA/MIT-BIH, SCP-ECG e HL7 aECG).

2.4. Módulo de Extração dos Dados

Este módulo consiste em um serviço Web implementado em linguagem Java que recebe como entrada uma matriz contendo os parâmetros extraídos do sinal. As informações contidas nesta matriz são processadas, e um conjunto de dados sobre o sinal ECG é extraído e armazenado em banco de dados relacional. A abordagem de extrair e armazenar os dados do sinal ECG em um banco de dados relacional foi adotada com o objetivo de simplificar o processo de publicação dos dados, uma vez que já existem ferramentas que possibilitam a criação de *dumps* dos dados relacionais em formato RDF e a disponibilização desses *dumps* em *triplestore* RDF, de forma semiautomática.

2.5. Módulo de Integração e Publicação dos Dados

O módulo de integração e publicação de dados consiste em um serviço Web implementado em linguagem Java que acessa o banco de dados relacional contendo as informações extraídas dos sinais ECG e exporta os dados relacionais para o formato RDF. Dividimos esse processo em duas etapas. Na primeira etapa, cria-se um *dump* dos dados relacionais em formato RDF. Para executar esta etapa, utilizamos a ferramenta *D2RQ*² junto com os mapeamentos na linguagem R2ML³, os quais relacionam o esquema do banco de dados relacional com o vocabulário da ontologia adotada para representar os sinais ECG. Na segunda etapa, os dados em formato RDF presentes no *dump* gerado anteriormente são materializados em um *triplestore* RDF, mais especificamente no Virtuoso⁴, de forma semiautomática. O Virtuoso disponibiliza um *SPARQL endpoint* que possibilita realizar consultas semânticas.

3. Estudo de Caso

Realizar consultas sobre dados de sinais ECG é uma tarefa bastante complexa, uma vez que tais dados são armazenados em formatos heterogêneos e não estruturados. Por outro lado, a publicação de dados de sinais ECG seguindo-se as premissas de *Linked Data* possibilita a realização de consultas semânticas. Para demonstrar este fato, apresentamos duas perguntas que podemos responder seguindo-se as referidas premissas.

3.1. Consultas SPARQL

Consulta Sparql 01: Quais pacientes do sexo masculino com mais de 60 anos tiveram algum batimento acelerado (acima de 100 batimentos por minuto) no ECG?

²<http://d2rq.org/>

³<https://www.w3.org/TR/r2rml/>

⁴<https://virtuoso.openlinksw.com/rdf/>

```

prefix ecga: <http://www.arida.ufc.br/ecg> .
prefix health: <https://health-lifesci.schema.org/> .
prefix ecg: <http://nemo.inf.ufes.br/biomedicine/ecg.html> .
SELECT ?paciente
WHERE {?paciente a health:Patient ; health:age ?idade ;
        health:gender ?sexo ; ecga:hasECG ?ecg .
        ?ciclo ecgo:part_of ?ecg .
        ?ciclo ecgo:hasBeat ?bat .
        ?bat a ecgo:FastBeat.
FILTER(?age >60 && ?sexo = "male")}
```

Figura 2. Consulta Sparql 01.

Consulta Sparql 02: Quais pacientes tomaram o medicamento *Aldomet* e apresentaram algum batimento cardíaco lento (abaixo de 60 batimentos por minuto) no ECG?

```

prefix ecga: <http://www.arida.ufc.br/ecg> .
prefix health: <https://health-lifesci.schema.org/> .
prefix ecg: <http://nemo.inf.ufes.br/biomedicine/ecg.html> .
SELECT ?paciente
WHERE {?paciente a health:Patient ; health:drug ?med .
        ?med rdfs:label ?nomemed .
        ?paciente ecgo:hasECG ?ecg .
        ?ciclo ecgo:part_of ?ecg ; ecgo:hasBeat ?bat .
        ?bat a ecgo:SlowBeat.
FILTER (?nomemed = "Aldomet")}
```

Figura 3. Consulta Sparql 02.

4. Trabalhos Relacionados

Em [Ngo and Veeravalli 2014], DuyHoa Ngo et al. propõem uma plataforma baseada nas tecnologias da Web Semântica que permitem o armazenamento de parâmetros extraídos do sinal ECG em uma base de dados seguindo-se os padrões de *Linked Data*. Os autores ressaltam ainda que a plataforma proposta é parte de um sistema de atenção à saúde baseado em armazenamento de dados em nuvem, o qual também captura os sinais ECG e outros sinais vitais através de biossensores localizados na superfície do corpo do paciente. Em [Trigo et al. 2012], Jesús Daniel Trigo et al. propõem o projeto e o desenvolvimento de um Sistema Integrado de Informações de Atenção à Saúde (IHIS - *Integrated Healthcare Information System*) para o gerenciamento de interoperabilidade de diferentes formatos de registros digitais de sinais ECG. Os autores propõem uma combinação de diferentes formatos de armazenamento de registros de ECG e uma arquitetura de software baseada em sistemas de informação empresarial (EIS) que permita uma padronização de interoperabilidade entre padrões e um gerenciamento homogêneo de diferentes formatos/padrões de armazenamento de sinais ECG. Em [Khumrin and Chumpoo 2016], Piyapong Khumrin e Pitupoom Chumpoo propõem uma abordagem visando à integração de dados eletrocardiográficos originados de diferentes formatos e a implementação de um sistema integrado de informações de dados eletrocardiográficos no contexto do sistema de informação do Hospital Maharaj Nakorn Chiang Mai (Tailândia). O sistema proposto integra diferentes formatos de dados de ECG utilizando-se um software desenvolvido em linguagem Java,

cuja interface funciona como um *Middleware* no processo de integração. Os autores aplicam um formato de dados de referência baseado em estruturação de classes definidas no ambiente Java para mapeamento de diferentes formatos de dados de ECG.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho, apresentamos uma ferramenta, denominada MobileECG. Podemos elencar diversos diferenciais entre a MobileECG e os trabalhos anteriores. A ferramenta MobileECG compõe uma solução completa de monitoramento de atividade cardíaca, compreendendo desde a etapa de aquisição do sinal, através de biossensores, conversão Analógica/Digital por meio do Arduíno, transmissão do sinal digital utilizando-se um aplicativo desenvolvido em Android disponibilizado em um *smartphone*, além da extração dos parâmetros do sinal, da extração dos dados acerca do sinal, integração e publicação de dados usando-se os padrões de *Linked Data*, tarefas essas realizadas por meio de serviços Web. Por fim, a ferramenta MobileECG fornece uma base de conhecimento pública, que pode ser usada para dar suporte a consultas complexas, executar algoritmos de mineração, além de possibilitar a colaboração entre especialistas. Como trabalhos futuros, iremos inserir na MobileECG processos de anonimização dos dados dos pacientes, visando à proteção das informações individuais, compactação dos dados dos sinais ECG, bem como investigar e implementar algoritmos de aprendizado de máquina para reconhecimento e/ou predição de padrões de doenças cardíacas e outros eventos adversos.

Referências

- do Vale Madeiro, J. P., dos Santos, E. M. B. E., Cortez, P. C., da Silva Felix, J. H., and Schlindwein, F. S. (2017). Evaluating gaussian and rayleigh-based mathematical models for t and p-waves in ecg. *IEEE Latin America Transactions*, 15(5):843–853.
- Khumrin, P. and Chumpoo, P. (2016). Implementation of integrated heterogeneous electronic electrocardiography data into maharaj nakorn chiang mai hospital information system. *Health informatics journal*, 22(1):34–45.
- Madeiro, J. P., Cortez, P. C., Marques, J. A., Seisdedos, C. R., and Sobrinho, C. R. (2012). An innovative approach of qrs segmentation based on first-derivative, hilbert and wavelet transforms. *Medical engineering & physics*, 34(9):1236–1246.
- Madeiro, J. P., Nicolson, W. B., Cortez, P. C., Marques, J. A., Vázquez-Seisdedos, C. R., Elangovan, N., Ng, G. A., and Schlindwein, F. S. (2013). New approach for t-wave peak detection and t-wave end location in 12-lead paced ecg signals based on a mathematical model. *Medical engineering & physics*, 35(8):1105–1115.
- Ngo, D. and Veeravalli, B. (2014). Applied semantic technologies in ecg interpretation and cardiovascular diagnosis. In *Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), 2014 IEEE International Conference on*, pages 17–24. IEEE.
- Pantelopoulou, A. and Bourbakis, N. G. (2010). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 40(1):1–12.
- Trigo, J. D., Martínez, I., Alesanco, A., Kollmann, A., Escayola, J., Hayn, D., Schreier, G., and García, J. (2012). An integrated healthcare information system for end-to-end standardized exchange and homogeneous management of digital ecg formats. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 16(4):518–529.