

SISTEMA MICROCONTROLADO PARA MONITORAMENTO REMOTO DE SINAIS DE ECG E TEMPERATURA UTILIZANDO COMUNICAÇÃO SEM FIO

S. Moribe* e J. M. Maia**

*PPGEB-DAELN/Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba, Brasil

** CPGEI-PPGEB-DAELN/Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba, Brasil
e-mail: smoribe@utfpr.edu.br

Resumo: Este trabalho apresenta o projeto de um sistema microcontrolado para aquisição de sinais fisiológicos de ECG (Eletrocardiograma) e temperatura corporal utilizando comunicação *Bluetooth* com *smartphones* para o monitoramento remoto. Como *front-end* dos sinais fisiológicos foi utilizado o conversor analógico/digital ADS1298, específico para medidas de biopotenciais, e o microcontrolador MSP430BT5190 desenvolvido para aplicações com o circuito integrado *Bluetooth* CC2560, todos da *Texas Instruments*. Para comunicação *Bluetooth* com o *smartphone* foi utilizado o módulo PAN1323/1325 da *Panasonic* que tem como componente principal o circuito integrado CC2560 e antena integrada. A placa de circuitos impressos foi desenvolvida utilizando o *software* EDA (*Electronic Design Automation*) *open-source* KiCad. Foram realizados testes em bancada com os kits de desenvolvimento e avaliação dos fabricantes e concluiu-se que o projeto proposto atende às necessidades do sistema.

Palavras-chave: ECG, *bluetooth*, monitoramento, telemedicina, microcontrolador.

Abstract: *This paper presents the project of a microcontroller system designed for acquisition and remote monitoring of physiological signals such as ECG (Electrocardiogram) and body temperature using Bluetooth communication with smartphones. As the front end of the physiological signals it was used the ADS1298 analog/digital converter, which is specific for biopotentials measurement, and the MSP430BT5190 microcontroller developed for CC2560 Bluetooth integrated circuit, all of them by Texas Instruments. For the Bluetooth and smartphone communication, was used Panasonic's PAN1323/1325 module with integrated antenna and CC2560 chip as the main component. The printed circuit board was developed using the KiCad EDA (Electronic Design Automation) open source software. Tests made in the working bench with the development and evaluation kits of manufactures found out that the proposed project meets the needs of the system.*

Keywords: *ECG, Bluetooth, monitoring, telemedicine, microcontroller.*

Introdução

A telemedicina envolve o monitoramento da condição de um paciente por um profissional de saúde localizado remotamente e, desta forma, disponibilizar um atendimento médico rápido, podendo melhorar de forma significativa os cuidados de saúde do paciente. Então, a telemedicina é capaz de fornecer enormes benefícios para a sociedade, como a possibilidade de pacientes serem examinados sem ter que se deslocar para um centro médico [1].

Com o desenvolvimento dos celulares inteligentes (*smartphones*), diversos recursos tecnológicos, tais como redes 3G/4G, redes sem fio *Wi-Fi* (*Wireless-Fidelity*), *Bluetooth*, entre outros, ficaram disponíveis na palma de nossas mãos. Devido a isto, muitos aplicativos estão sendo desenvolvidos para *smartphones* em todas as áreas do conhecimento. Na área de saúde isto não é diferente, destacando-se o conceito de *mHealth* (*mobile Health*) que envolve o uso de dispositivos móveis na coleta de dados clínicos, fornecendo informações para profissionais de saúde, pesquisadores e pacientes [2]. Na telemedicina, redes sem fio como *Zigbee*, *Bluetooth* e *Wireless Local Area Networks*, têm sido largamente utilizados [3].

O uso de *smartphones* na área de saúde, com todos os seus recursos, tende a crescer e agregar muito valor. Segundo pesquisa do projeto *Pew Internet - Mobile Health* em 2012, 31% dos proprietários de *smartphones* têm utilizado o aparelho para ver informações de saúde, contra 17% de dois anos atrás [4].

Medir os sinais fisiológicos em humanos é um dos desafios dos projetistas de sistemas de monitoramento, pois estes sinais apresentam baixa amplitude e consequentemente uma relação sinal/ruído muito baixa. O sucesso na aquisição destes sinais depende do conhecimento de suas fontes, das boas práticas de projeto, além do uso de componentes de alto desempenho e com características apropriadas [5].

A demanda por sistemas eletrônicos de monitoramento de pacientes crescerá sensivelmente nos próximos anos, reforçado pelos avanços tecnológicos [1]. Seguindo esta tendência, este trabalho aborda o desenvolvimento de um sistema eletrônico microcontrolado para monitoramento de sinais fisiológicos de ECG (Eletrocardiograma) e temperatura corporal utilizando comunicação *Bluetooth* com

smartphones para acesso remoto dos profissionais médicos.

Materiais e métodos

No projeto da placa, foram pesquisados e utilizados componentes eletrônicos de processamento, comunicação e condicionamento de sinais necessários para o *front-end* de um ECG com 12 derivações, sendo os testes realizados utilizando os kits de avaliação e desenvolvimento do fabricante dos componentes.

O sistema de monitoramento remoto de sinais ECG e temperatura corporal utilizando comunicação sem fio é mostrado no diagrama ilustrativo da Figura 1.

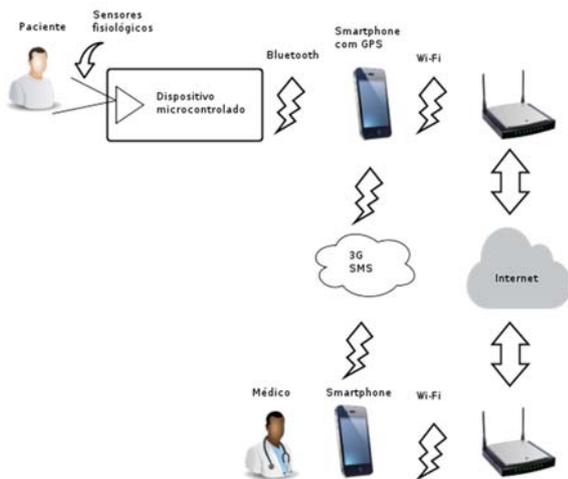


Figura 1: Diagrama ilustrativo do sistema de monitoramento de ECG e temperatura corporal.

A placa desenvolvida é representada pelo bloco “Dispositivo microcontrolado” da Figura 1, que recebe os sinais fisiológicos dos eletrodos e sensores através de um conversor analógico/digital (ADC) fabricado especificamente para ECG. O ADC é controlado por um microcontrolador, de baixo consumo e alto desempenho, que recebe os sinais convertidos e os envia via *Bluetooth* ao *smartphone*. Este, por sua vez, armazena as informações e possibilita o acesso das mesmas pelo profissional médico, através das redes das concessionárias 3G/4G ou pela rede *Wi-Fi* e internet.

Foram realizados testes de bancada utilizando o ADS1298RECG-FE – ECG *Front-End Performance Demonstration Kit* da *Texas Instruments* que é uma maneira fácil e econômica de iniciar desenvolvimentos de aplicações com o *Front-end* conversor analógico/digital ADS1298. Para gerar os sinais de ECG foi utilizado um simulador de ECG da *Bio-Tek* modelo *ECGplus*.

Para os testes de comunicação *Bluetooth*, foi utilizado o kit de desenvolvimento eZ430-RF256x da *Texas Instruments* que utiliza o módulo *Bluetooth PAN1323* da *Panasonic* implementado com o CI de comunicação *Bluetooth CC2560*.

Para os testes de temperatura corporal, foi utilizado o sensor LM35 da *Texas Instruments* ligado a entrada do

conversor analógico/digital de 12bits do MSP430BT5190 disponível na placa do kit eZ430-RF256x. Foi implementado um programa simples para leitura do conversor analógico/digital, sendo realizado uma média de 5 leituras do conversor para cada faixa de 20 a 50 °C. As medidas foram realizadas com um termômetro infravermelho modelo PE1 da *Tempgun* e um multímetro ET-2042 da *Minipa*.

Para o projeto da placa, nomeada *ECG_Blue*, foi utilizado o programa de código livre KiCad EAD (*Electronic Design Automation Software Suite*) que é um programa para criação profissional de esquemáticos e placas de circuito impresso de até 16 *layers* e que também apresenta recursos de modelagem 3D [6], sendo as principais partes mostradas no diagrama em blocos da Figura 2.

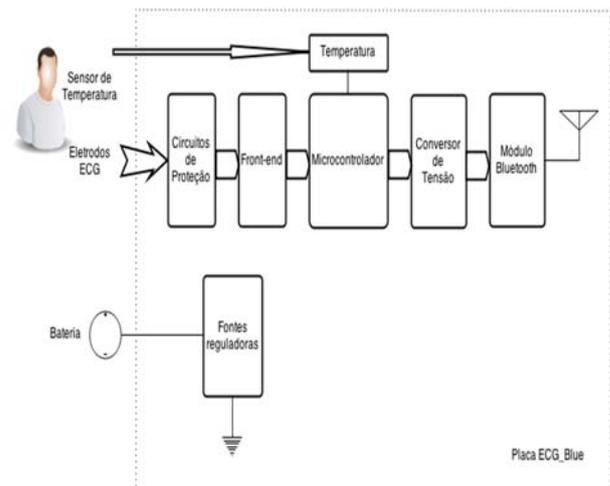


Figura 2: Diagrama em blocos da Placa *ECG_Blue*.

Circuitos de Proteção – Os sinais provenientes dos eletrodos para o ECG, antes de chegar ao *front-end*, passam por um circuito de proteção contra descargas eletrostáticas, composto por resistores e diodos de proteção.

Front-end – Composto pelo ADS1298 que é um componente *Texas Instruments* da família de conversores analógico/digital (ADC), baixo consumo, 8 canais, amostragem simultânea, 24 bits, delta-sigma com amplificadores de ganho programável (PGA) integrado, referência e oscilador interno. Desenvolvido para ser utilizado em medidas de biopotenciais, o componente incorpora todas as características comumente requeridas em aplicações médicas de eletrocardiograma (ECG) e eletroencefalograma (EEG) [7].

O ADS1298 tem entradas com multiplex flexível onde cada canal pode ser independentemente conectado ao gerador interno de sinais de teste, temperatura e detecção de desconexão do eletrodo (*lead-off*). Adicionalmente, qualquer canal de entrada pode ser selecionado para a derivação de sinal de saída de *Right Leg Drive* (RLD) [7].

Módulo Bluetooth – Para comunicação com o *smartphone* e para evitar possíveis problemas de RF (Rádio Frequência) no *layout* da placa e na antena, optou-se em utilizar o módulo *Bluetooth v4.0 PAN1323/1325*

da *Panasonic* que tem como componente principal o circuito integrado CC2560 da *Texas Instruments* e antena integrada [8].

Microcontrolador – Utilizado o MSP430BT5190 da *Texas Instruments*, desenvolvido para ser usado com o circuito integrado *Bluetooth* CC2560 em conjunto com a pilha *Mindtree's Ethermind Bluetooth* e *Serial Port Profile* (SSP), além de conter interface SPI para o ADS1298 e ADC de 12 bits para o sensor de temperatura [9].

Circuitos de Conversão de Tensão – Como o microcontrolador é alimentado em 3,0 V e módulo *Bluetooth* em 1,8 V foi necessário o uso de transceptores com conversores de tensão compostos pelo CI SN74AVC2T45 [10].

Sensor de Temperatura – Foi definido utilizar o sensor de temperatura analógico LM35 [11] por ser um dos mais simples e populares de mercado, calibrado em graus Celsius, na faixa de -55 a $+150$ °C com precisão de $0,5$ °C e linear em quase toda a faixa, além de que o microcontrolador MSP430BT5190 utilizado apresenta um conversor analógico/digital de 12 bits para fácil leitura do sensor. No entanto, outros sensores de temperatura podem ser utilizados no sistema.

Fontes Reguladoras – Para regular a tensão proveniente da bateria de 5,0 V e gerar as diversas tensões necessárias para alimentar os circuitos foram utilizados um gerador de tensão negativa TPS60403 [12] e os reguladores de tensão TPS72718 [13], TPS73201 e TPS73230 [14] todos da *Texas Instruments*.

Resultados

Nos testes realizados com o kit ADS1298RECG-FE junto com o simulador de ECG da *BioTek* verificou-se a viabilidade das leituras dos sinais ECG, sendo realizadas medidas a taxa de amostragem de 500 SPS (*Sample Per Second*) e capturados 1000 amostras por canal para os sinais simulados de ECG de 30, 60, 120, 180 e 240 batimentos por segundo. Como exemplo, a Figura 3 mostra os sinais ECG simulados das derivações periféricas e a Figura 4 mostra os sinais simulados das derivações precordiais, ambas em 120 batimentos por segundo.

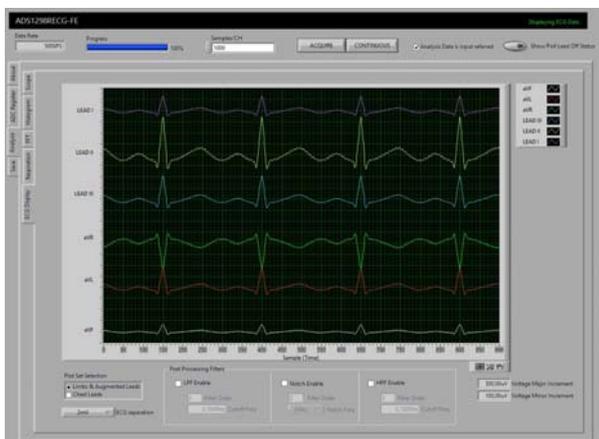


Figura 3: Sinais de ECG das derivações periféricas com frequência de 120 batimentos por segundo.



Figura 4: Sinais ECG das derivações precordiais em 120 batimentos por segundo.

Nos testes de comunicação *Bluetooth* com o kit eZ430-RF256x foi realizado o pareamento entre os dispositivos *USB/Bluetooth* e remoto *Bluetooth* e com o aplicativo de testes do fabricante foi possível avaliar a transferência de dados entre os dispositivos, confirmando o funcionamento do *Bluetooth* para esta finalidade.

Nos testes de temperatura foram obtidos os resultados mostrados na Tabela 1, confirmando a viabilidade do uso do LM35 para faixa de temperatura corporal.

Tabela 1: Valores obtidos no conversor A/D, variando a temperatura no sensor LM35

Temp. (°C)	Medido (V)	Média	Valor (V)
Estimada	Multímetro	ADC	Calculado
20,8	0,208	579,8	0,2124
25,0	0,25	698,2	0,2558
30,0	0,30	828,0	0,3033
35,0	0,35	974,0	0,3578
40,0	0,40	1117,8	0,4095
45,0	0,45	1216,4	0,4456
50,0	0,50	1389,2	0,5089

A placa *ECG_Blue* foi projetada para montagem do protótipo e ficou com as dimensões 110 x 69 x 1,6 mm (comprimento x largura x espessura) em dupla face.

Discussão e Conclusão

O desenvolvimento do sistema apresentado neste trabalho vem de encontro com a tendência de crescimento da necessidade de monitoramento contínuo de sinais fisiológicos e do uso de *smartphones* [1,2,3,4]. A comodidade da portabilidade, a quantidade enorme de aplicativos, a facilidade de uso e de estar o tempo todo “conectado”, fazem com que os *smartphones* estejam sempre à mão do usuário e utilizá-lo como uma interface simples e intuitiva proporcionará maior satisfação e conforto.

Neste trabalho foram feitos testes iniciais, utilizando kits de desenvolvimento e avaliação dos fabricantes, de medida de sinais simulados de ECG, comunicação Bluetooth e medidas de temperatura conforme demonstrados nos resultados, que permitiram concluir que o sistema proposto é adequado para o monitoramento remoto de ECG e temperatura corporal. No entanto, com pequenas modificações no sistema proposto, é possível a aquisição de outros sinais biológicos, tais como eletroencefalograma (EEG), oximetria de pulso, eletro-oculograma (EOG), etc.

Para garantir a segurança dos dados médicos, serão estudados alguns protocolos de criptografia para a escolha e implementação do mesmo no sistema.

Agradecimentos

Ao CNPq, à CAPES, à FINEP, Ministério da Saúde e Fundação Araucária pelo suporte financeiro. À *Texas Instruments* pela disponibilização de componentes eletrônicos que vem sendo utilizados no sistema.

Referências

- [1] Giorgio A. *Innovative Medical Devices for Telemedicine Applications, Telemedicine Techniques and Applications*, Prof. Georgi Grasczew (Ed.), ISBN: 978-953-307-354-5 (2011), *InTech*, Available from: <http://www.intechopen.com/books/telemedicine-techniques-and-applications/innovative-medical-devices-fortelemecine-applications>.
- [2] Gakare PK, Patel AM, Vaghela JR, and Awale RN. *Real time feature extraction of ecg signal on android platform, IEEE Conference Publications*, 2012.
- [3] Lee YG, Jeong WS, and Yoon G. *Smartphone-based mobile health monitoring, Telemedicine and e-Health*, vol. 18, pp. 585-590, 2012.
- [4] Fox S, Duggan M. *Mobile health 2012, Pew Internet & American Life Project*, 2012. Available from: <http://pewinternet.org/Reports/2012/Mobile-Health.a.spx>.
- [5] *Texas Instruments, ECG and EEG Applications. Quick Reference Guide*. 2012. Available from: <http://www.ti.com/lit/sg/slyt416/slyt416.pdf>.
- [6] Charras JP. *KiCad EDA software Suite*. Accessed: 2014. Available from: <http://www.kicad-pcb.org>.
- [7] *Texas Instruments, Low-Power, 8-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements. ADS1298, ADS1298R*. 2014. Available from: <http://www.ti.com/lit/ds/sbas459j/sbas459j.pdf>.
- [8] *Panasonic, Product Specification, Class 1 or 2 Bluetooth Module, PAN13XX Core Specification, Revision 4.20*. 2014. Available from: http://na.industrial.panasonic.com/sites/default/pidsa/files/pan13xxb_series_datasheet_v4.2.pdf.
- [9] *Texas Instruments. Mixed Signal Microcontroller, MSP430BT5190, SLAS703A*. 2013. Available from: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430bt5190.pdf>
- [10] *Texas Instruments, Dual-Bit Dual-Supply bus Transceiver with Configurable Voltage Translations and 3-State Outputs, SN74AVC2T45*. 2007. Available from: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74avc2t45.pdf>
- [11] *Texas Instruments, LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors, SNIA159D*. 2013. Available from: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [12] *Texas Instruments, Unregulated 60-mA Charge Pump Voltage Inverter, TPS60400, TPS6-4-1, TPS60402, TPS60403, SLVS324A*. 2004. Available from: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps60403.pdf>
- [13] *Texas Instruments, TPS727xx 250-mA, Ultralow Iq, Fast Transient Response, RF Low-Dropout Linear Regulator, TPS72718, SBVS128D*. 2014. Available from: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps72718.pdf>
- [14] *Texas Instruments, TPS732xx Cap-Free, NMOS, 250-mA, Low Dropout Regulator with Reverse Current Protection, TPS73230*. 2014. Available from: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps73230.pdf>