

Determinação de ritmo cardíaco a partir de sinais de fotopletismografia

Heart rate determination from photoplethysmography signals

Lucas Fernandes Alves dos Anjos
lucasanjos@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Amauri Amorin Assef
amauriassef@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Sergio Okida
sergiookida@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

RESUMO

A fotopletismografia (PPG) é uma técnica não invasiva que, a partir de seu sinal característico, possibilita a determinação da frequência cardíaca e do nível de saturação de oxigênio na hemoglobina. Consiste em medir a variação temporal do volume sanguíneo, que passa por uma determinada extremidade do corpo humano (dedo, lóbulo da orelha ou outros), utilizando métodos ópticos. Este trabalho tem por objetivo mostrar a aplicação de um método de processamento no sinal de PPG a fim de obter o ritmo cardíaco instantâneo. Para tanto, foi utilizado a placa de desenvolvimento AFE4490SPO2EVM da Texas Instruments para a aquisição do sinal e o software MATLAB para o desenvolvimento do algoritmo de determinação do ritmo cardíaco. O método utilizado obteve resultados consistentes com fácil implementação.

PALAVRAS-CHAVE: Fotopletismografia. Processamento de sinais. Ritmo cardíaco.

ABSTRACT

Photoplethysmography (PPG) is a non-invasive technique that enables to gather heart rate data and oxygen saturation in hemoglobin from its characteristic signal. This technique consists of measuring the variation of the blood volume that passes through a body border (finger, lug or other) using optical methods. This paper aimed to apply a method of PPG signal processing to acquire heart rate. Therefore, it was utilized the development board AFE4490SPO2EVM from Texas Instruments to acquire the signal and MATLAB software for develop the algorithm to determinate heart rate. The utilized method had solid results with an easy implementation.

KEYWORDS: Photoplethysmography. Signal processing. Heart rate.

Recebido: 31/08/2018

Aprovado: 04/10/2018

Direito autoral:

Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

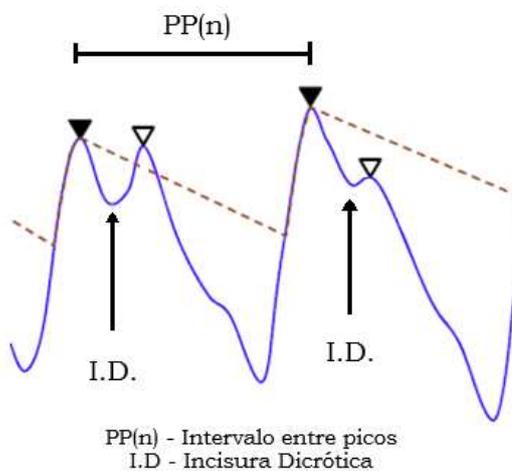


INTRODUÇÃO

Com o avanço da medicina em paralelo com as novas tecnologias surge a possibilidade de se obter sinais fisiológicos de modo não invasivo, evitando assim infecções e possibilitando aquisições longas com menor desconforto ao paciente. Dentro deste contexto é possível obter sinais de variação do volume sanguíneo, ao longo do tempo, em extremidades do corpo humano (dedo, lóbulo de orelha ou outros) com o uso de métodos ópticos (LAULKAR et al., 2012). Basicamente, o princípio de funcionamento consiste em medir a quantidade de luz infravermelha absorvida ou refletida pelos capilares, em função da concentração de oxigênio no sangue. Este método é chamado de fotopletismografia (PPG, do inglês *photoplethysmography*), que consiste dos termos foto, que se refere à presença de luz, e pletismografia, que faz referência ao ato de medir a variação de volume sanguíneo em uma dada parte do corpo humano.

O sinal de PPG (Figura 1) pode ser utilizado para, entre outros, obter o ritmo cardíaco (RC) de pacientes através da medição dos intervalos de tempo entre picos de cada ciclo cardíaco. Para tanto, é necessário que o segundo pico, após a incisura dicrótica, presente no sinal não seja detectado de modo a comprometer a medição do RC (HLIMONENKO et al., 2003). Este tratamento pode ser aplicado por controle do método de detecção de picos, por comparações entre amplitudes baseadas na literatura médica, ou aplicando filtros e transformadas ao sinal a fim de detectar corretamente os picos do sinal de PPG e atenuar ou suprimir os picos secundários.

Figura 1 – Exemplo de sinal de fotopletismografia



Fonte: Modificado de SHIN et al. (2009)

Este trabalho tem por objetivo mostrar a aplicação de técnicas de processamento de sinais de PPG encontradas na literatura, a fim de fornecer os valores instantâneos do RC.

Para a aquisição do sinal de PPG foi utilizado a placa de desenvolvimento AFE4490SPO2EVM (TEXAS INSTRUMENTS, 2013), que possibilita a aplicação de filtros para remoção de ruído e flutuações da linha de base, além de regular alguns aspectos como taxa de amostragem, correntes e tensões dos sensores e LEDs. Os métodos *Slope Sum Function* (SSF) (JANG et al., 2014a) e *findpeaks* para a localização e demarcação dos picos do sinal são explorados.

Os resultados obtidos mostram que a utilização da técnica SSF permitiu a obtenção dos intervalos entre os batimentos cardíacos de maneira apropriada.

DESENVOLVIMENTO

AQUISIÇÃO E CONDICIONAMENTO DO SINAL DE PPG

A placa AFE4490SPO2EVM (Figura 2) que permite amplo controle dos parâmetros de aquisição, foi utilizada para obter os sinais de PPG dos autores. Possui canal de recepção com filtro antirruído digital passa-banda de 0,1 a 5 Hertz, além de sistema analógico de cancelamento de ruído ambiente e filtro *notch* de 60 Hz para reduzir a interferência da rede de energia (TEXAS INSTRUMENTS, 2013). Os sinais foram obtidos com uma taxa de amostragem de 500 amostras por segundo, gravadas em arquivo Excel.

Figura 2 – AFE4490SPO2EVM



Fonte: Texas Instruments (2014).

FUNÇÃO PARA SOMA DAS INCLINAÇÕES

Após a aquisição de um sinal de PPG, devidamente filtrado para remoção de ruídos, o MATLAB foi utilizado para a implementação do algoritmo de detecção dos picos do sinal de PPG e obter o ritmo cardíaco. Como o sinal de PPG possui uma segunda onda característica logo após a primeira, como mostra a Figura 1, para se evitar sua detecção incorreta foi aplicada a função de soma de inclinações (SSF). A fim de se obter o sinal SSF (Figura 3) onde o segundo pico é atenuado ou suprimido, possibilitando a localização correta dos picos de cada ciclo cardíaco através da aplicação de um limiar adaptativo.

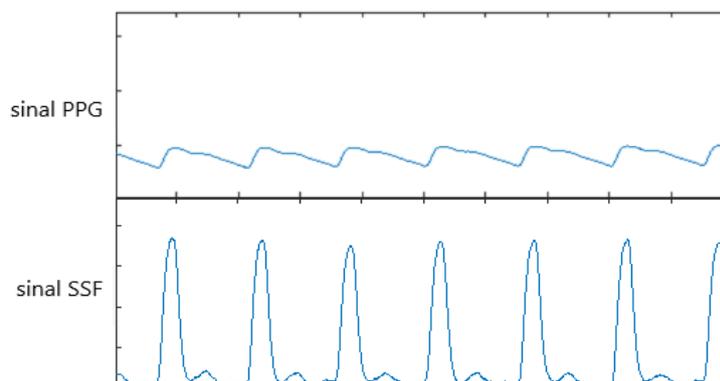
A SSF funciona como uma janela, que no caso teve 64 amostras para uma frequência de amostragem de 500 Hz, que percorre o sinal de PPG comparando valores e mantendo as inclinações positivas e zerando as demais. É definida pela Eq. (1). (JANG et al., 2014b),

$$SSF_i = \sum_{k=i-w}^i \Delta u_k, \quad \Delta u_k = \begin{cases} \Delta x_k & \text{se } \Delta x_k > 0 \\ 0 & \text{se } \Delta x_k < 0 \end{cases} \quad \therefore 1 + w \leq i \leq N \quad (1)$$

onde w é o tamanho da janela, N o número total de amostras do sinal PPG e SSF é o sinal resultante do filtro.

É possível ver na Figura 3 o sinal PPG e o SSF possuem picos coincidentes, o que torna a medição dos intervalos entre picos válida, uma vez que a frequência não foi alterada.

Figura 3 – Sinal PPG e Sinal SSF



Fonte: Autoria própria (2018).

FUNÇÃO PARA LOCALIZAR PICOS

Para a localizar e medir os picos do sinal de SSF foi utilizada a função *findpeaks* do MATLAB. Esta função basicamente faz o comparativo ponto a ponto do sinal, comparando-o sempre com o ponto anterior e o próximo. Com auxílio deste comando a localização exata dos picos com base na amplitude máxima encontrada no sinal de SSF e um período refratário determinado para evitar a localização de mais de um ponto em um mesmo pico. No caso foi utilizado um limiar para localizar picos com amplitude de no mínimo 70% da amplitude máxima encontrada (JANG et al., 2014b) e intervalo mínimo de 0,1 segundos.

GERAÇÃO DO SINAL DE RÍTMO CARDÍACO INSTANTÂNEO

Com os valores de pico e dos intervalos entre picos, obtemos o gráfico de ritmo cardíaco instantâneo através da Eq. (2). A partir do RC instantâneo é possível extrair valores médios, desvios, obter o espectro do sinal para a análise do sistema autônomo de controle do coração e outros.

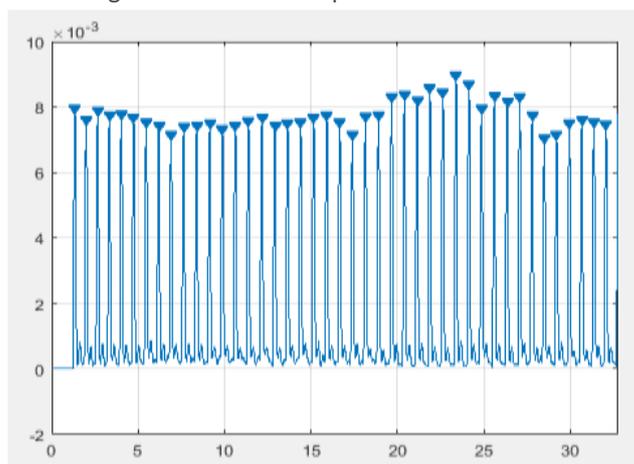
$$RC(n) = \frac{60}{PP(n)} \quad (2)$$

onde $RC(n)$ é o ritmo cardíaco instantâneo em BPM (batimentos por minuto) e $PP(n)$ é o intervalo entre picos do sinal SSF em segundos.

RESULTADOS

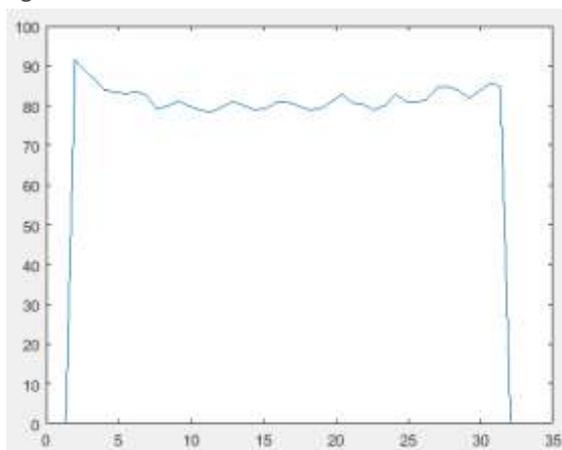
A partir dos sinais de SSF resultante e do filtro adaptativo foi possível localizar todos os picos do sinal corretamente como mostra a Figura 4. E a partir dos valores de intervalos encontrados e os RCs obter o gráfico de ritmo cardíaco como mostra a Figura 5.

Figura 4 – Gráfico dos picos localizados



Fonte: Autoria própria (2018).

Figura 5 – Gráfico do ritmo cardíaco instantâneo



Fonte: Autoria própria (2018).

CONCLUSÃO

É claro que os testes realizados ainda não são suficientes visto que foram coletados sinais de PPG apenas dos autores. Entretanto os resultados obtidos com o método SSF juntamente com o limiar adaptativo são consistentes e que possibilitam um estudo mais aprofundado sobre a aplicabilidade dos mesmos em outros sinais e sob mais condições.



REFERÊNCIAS

HLIMONENKO, Irina; MEIGAS, Kalju; VAHISALU, Rein. Waveform Analysis of Peripheral Pulse Wave Detection in Fingertip with Photoplethysmograph. **Measurement Science Review**, Estonia, v. 3, n. 2, p.49-52, 2003.

JANG, Dae-geun et al. A Robust Method for Pulse Peak Determination in a Digital Volume Pulse Waveform With a Wandering Baseline. **Ieee Transactions On Biomedical Circuits And Systems**, [s.l.], v. 8, n. 5, p.729-737, out. 2014b. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tbcas.2013.2295102>.

JANG, Dae-geun et al. A Real-Time Pulse Peak Detection Algorithm for the Photoplethysmogram. **International Journal Of Electronics And Electrical Engineering**, [s.l.], p.45-49, 2014a. EJournal Publishing. <http://dx.doi.org/10.12720/ijeee.2.1.45-49>.

LAULKAR, Rutuja; DAIMIWAL, Nivedita. Applications of Finger Photoplethysmography. **International Journal Of Engineering Research And Applications (IJERA)**, Pune, v. 2, n. 1, p.877-880, fev. 2012.

SHIN, Hang Sik; LEE, Chungkeun; LEE, Myoungho. Adaptive threshold method for the peak detection of photoplethysmographic waveform. **Computers In Biology And Medicine**, [s.l.], v. 39, n. 12, p.1145-1152, dez. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.combiomed.2009.10.006>.

TEXAS INSTRUMENTS (Estados Unidos). **Datasheet: Integrated Analog Front-End for Pulse Oximeters AFE4490**. Estados Unidos: Texas Instruments, 2003.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores e demais profissionais da UTFPR que possibilitam todos os dias um ambiente propício para estudos e desenvolvimento intelectual e pessoal. Em especial aos professores Dr. Amauri Amorin Assef e Dr. Sergio Okida pela oportunidade.