

## Uso de um filtro adaptivo para pré-análise de séries temporais

Laurita dos Santos<sup>1</sup>, Joaquim José Barroso de Castro<sup>2</sup>, Elbert Einstein Nehrer Macau<sup>2</sup>  
e Moacir Fernandes de Godoy<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa Doutorado em Computação Aplicada – CAP  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

<sup>2</sup>Laboratório Associado de Computação e Matemática Aplicada – LAC  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

<sup>3</sup>Departamento de Cardiologia e Cirurgia Cardiovascular  
Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto – Famerp

{laurita.santos, elbert}@lac.inpe.br; barroso@plasma.inpe.br

**Abstract.** *To time series analysis (this case Heart Rate Variability (HRV) - which is quantified by the variation between RR intervals) is necessary to remove artifacts. To handle this problem, the present study proposes an automatic method of data filtering based on an adaptive filter that is able to quickly analyze a large number of time series. The method was applied to time series from patients database. Compared to the costly and time consuming conventional method, wherein the correction of an occasional ectopic beat and removal of aberrant RR intervals are executed by an expert, the proposed method makes use of correlation coefficients. It was found a high correlation between the results, thus ensuring the applicability of the proposed method.*

**Resumo.** *A análise de séries temporais (nesse caso variabilidade da frequência cardíaca - que é quantificado pela variação entre intervalos RR) é necessário remover artefatos da série. Para resolver esse problema, o trabalho apresenta um método automático baseado no filtro adaptativo que analisar uma grande quantidade em pouco tempo comparando com a análise feita por um especialista. A análise usou um banco de dados com 127 séries temporais de pacientes. Para comparar os resultados obtidos com o método convencional (especialista) e o método proposto pelo trabalho são usados os coeficientes de correlação (Pearson ou Spearman) e teste t Student não pareado ou teste de Mann-Whitney.*

**Palavras-chave:** *Séries temporais, Filtro adaptativo, Gráfico de Poincaré*

### 1. Introdução

Análise de séries temporais, em especial da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) [Pagani 2000, Acharya et al. 2006, Convertino 2009] envolve análise de tacogramas. Tacogramas são gráficos que mostram no eixo horizontal os eventos ao decorrer do tempo e no eixo vertical os valores entre os intervalos de batimentos cardíacos (intervalos entre as ondas R). Em geral, a análise de tacogramas ou de séries temporais experimentais requerem que estas sejam filtradas com a finalidade de remoção de artefatos. O termo artefato refere-se a qualquer interferência oriunda de qualquer fonte (elétrica, movimentos e outros) que não seja proveniente do sistema verificado.

Para análise sequencial de intervalos entre batimentos cardíacos é essencial a remoção de artefatos (por exemplo, duplo reconhecimento), impulsos não iniciados pelo nodo sinusal [Wessel et al. 2000] e interferências espúrias como tremores musculares ou interferência eletrônica.

Para analisar a VFC é necessário que o ritmo cardíaco seja sinusal (originado no nodo sinusal), uma vez que sinais não originados no nodo sinusal podem surgir e não refletem o comportamento do sistema nervoso autônomo. Nessas situações, o olho humano (análise convencional) é considerada o padrão ouro para verificar se o sinal pode ou não ser usado e se reflete a VFC.

O uso de um método automático, considerando a mesma proposta de um método convencional, pode ser importante para analisar um grande volume de dados. Um filtro adaptativo pode ter seus parâmetros auto ajustados conforme o sinal de entrada [Haykin 1996, Ingle and Proakis 1997] melhorando o desempenho em relação à análise. O principal objetivo desse trabalho é validar a aplicação do filtro adaptativo para séries temporais de VFC considerando diferentes situações clínicas.

## 2. Metodologia

### 2.1. Banco de Dados

O conjunto de dados usados compreende 127 séries temporais de VFC (tacogramas) sendo: 53 de recém nascidos prematuros (grupo 1), 12 recém nascidos normais (grupo 2), 62 adultos saudáveis (grupo 3).

Todos os tacogramas são do banco de dados do Núcleo Transdisciplinar de Estudos de Complexidade e Caos da Universidade de Medicina de São José do Rio Preto - SP [Selig et al. 2011, Leal et al. 2012]. E todos os estudos foram aprovados pelos seus respectivos comitês éticos.

As séries temporais compreendem  $15min$  até  $1h$  de gravação onde os pacientes são submetidos as mesmas condições: posição, ausência de som e/ou interferência eletrônica. O equipamento usado para captação foi o Polar Monitor (S810i or RS800) [Gamelin et al. 2006, Vanderlei et al. 2008, Nunan et al. 2009], que está de acordo com as normas apresentadas em [Force 1996].

### 2.2. Método Adaptativo de Filtragem

O processo de inspeção visual detalhado utilizado na filtragem convencional pode se tornar um processo muito demorado devido necessidade de um especialista e da grande quantidade de dados disponibilizados. Assim, utilizar um método de filtragem de forma mais automática permite que o processo de pré-processamento dos dados seja mais rápido. Nesse trabalho, o método utilizado é o de filtragem adaptativa apresentado em [Wessel et al. 2000] levando-se em conta a natureza dos dados analisados.

A filtragem adaptativa pode ser aplicada com diferentes finalidades, por exemplo, identificação de sistemas, inversão de sistemas, predição de sinal e cancelamento de interferências [Haykin 1996]. Nesse contexto o método de filtragem adaptativo foi aplicado com a finalidade de cancelamento de interferências, uma vez que, as séries temporais de intervalos RR podem sofrer interferências de artefatos, oriundos de diversas fontes como

VPCs (complexos ventriculares prematuros), mau contato de eletrodo e outros, que não caracterizam o ritmo sinusal presente no dado para análise da VFC.

O filtro adaptativo utilizado nesse trabalho é baseado no algoritmo apresentado em [Wessel et al. 2000], sendo assim denominado pois é baseado na média e desvio padrão que mudam ao longo da série analisada conforme a variabilidade apresentada. Esse filtro consiste de três procedimentos: (a) remoção de intervalos RR menores que  $350ms$  e maiores que  $1200ms$ , (b) procedimento adaptativo e (c) procedimento adaptativo de controle.

### 2.3. Análise Estatística

Foi realizada a estatística descritiva dos dados. As variáveis quantitativas contínuas com distribuição gaussiana foram analisadas com o teste t Student não-pareado. Foi admitido erro alfa de 5%, considerando-se que as variáveis são significativamente diferentes para valores de  $p < 0,05$ . Para validação do método proposto em relação ao método convencional, foi aplicado o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ). Esses coeficientes medem o grau de correlação entre duas variáveis. O valor obtido para  $r$  deve estar entre  $-1$  (correlação máxima negativa) e  $+1$  (correlação máxima positiva). Se o valor  $r$  estiver entre  $0$  e  $0,3$  (positivo ou negativo) indica uma fraca correlação, entre  $0,3$  e  $0,7$  (positivo ou negativo) indica uma correlação moderada e entre  $0,7$  e  $1,0$  (positivo ou negativo) indica uma forte correlação.

### 3. Resultados

Para análise estatística foram usados os parâmetros fornecidos pelo cálculo do mapa de primeiro retorno ou gráfico de Poincaré, que são: SD1 (desvio padrão dos intervalos RR sucessivos), SD2 (desvio padrão dos intervalos RR ao longo do tempo) e SD1/SD2 [Piskorski and Guzik 2007, Goshvarpour et al. 2011]. Os resultados para o método adaptativo e os gráficos de Poincaré foram obtidos pela implementação dos algoritmos usando *Matlab* e os resultados para a análise estatística foram obtidos com o *StatsDirect statistical software* versão 1.617.

A Tabela 1 mostra a média e o desvio padrão dos parâmetros SD1, SD2 e SD1/SD2 do gráfico de Poincaré das séries temporais de intervalos RR filtradas usando os dois métodos de filtragem apresentados.

### 4. Considerações finais

Foram analisados 127 casos classificados em três grupos clínicos bem característicos tendo possível demonstrar que o método de filtragem adaptativo é válido uma vez que na análise comparativa dos valores obtidos com um e com outro método, os coeficientes de correlação foram bastante elevados. Do ponto de vista de aplicabilidade também pode ser feita a mesma consideração uma vez que foi mantido, sem diferenças estatísticas de monta, o padrão de comportamento relativo entre os grupos. Como próximos passos, deseja-se aplicar esse método de filtragem em outros tipos de séries temporais que apresentem um comportamento também não linear.

### Referências

Acharya, U. R., Joseph, K. P., Kannathal, N., Lim, C. M., and Suri, J. S. (2006). Heart rate variability: a review. *Med Bio Eng Comput*, 44:1031–1051.

**Tabela 1. Análise comparativa com os resultados obtidos para os filtros convencional e adaptativo usando os valores dos parâmetros de Poincaré.**

	Grupo	Adaptativo	Convencional	$r$	valor $p$
SD1	G1	7.4268 ± 3.2704	5.5171 ± 3.0612	0.8463	0.0022 <sup>S</sup>
	G2	8.2613 ± 3.6262	6.8326 ± 2.9826	0.7075	0.3033
	G3	33.8593 ± 14.3990	37.1512 ± 17.4353	0.9794	0.2578
SD2	G1	37.9816 ± 19.0262	36.2147 ± 15.6474	0.7380	0.5872
	G2	50.4241 ± 15.3866	48.9572 ± 16.0971	0.9822	0.8216
	G3	85.5807 ± 29.9954	85.4594 ± 30.1717	0.9813	0.9823
SD1/SD2	G1	0.2125 ± 0.0800	0.1584 ± 0.0650	0.5702	0.0002 <sup>S</sup>
	G2	0.1711 ± 0.0819	0.1396 ± 0.0389	0.9907*	0.4428**
	G3	0.3957 ± 0.1181	0.4317 ± 0.1436	0.9872	0.1325

G1 - recém nascido prematuro; G2 - recém nascido normal; G3 - jovem adulto saudável.

<sup>S</sup>Significadamente diferente; \*correlação de Spearman; \*\*teste de Mann-Whitney.

- Convertino, V. A. (2009). Status of cardiovascular issues related to space flight: Implications for future research directions. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 169S:S34–S37.
- Force, T. (1996). *Circulation*, 93:1043–1065.
- Gamelin, F. X., Berthoin, S., and Bosquet, L. (2006). Validity of the polar s810 heart rate monitor to measure r:rr intervals at rest. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(5):887–893.
- Goshvarpour, A., Goshvarpour, A., and Rahati, S. (2011). Analysis of lagged Poincaré plots in heart rate signals during meditation. *Digital Signal Processing*, 21:208–214.
- Haykin, S. S. (1996). *Adaptive filter theory*. Prentice Hall Information and System Sciences Series, New Jersey, 3 edition.
- Ingle, V. K. and Proakis, J. G. (1997). *Digital signal processing using Matlab*. PWS Publishing Company, Boston.
- Leal, J. C., Petruccic, O., de Godoy, M. F., and Braile, D. M. (2012). Perioperative serum troponin i levels are associated with higher risk for atrial fibrillation in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery. *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, 14:22–25.
- Nunan, D., Donovan, G., Jakovljevic, D. G., Hodges, L. D., Sandercock, G. R., and Brodie, D. A. (2009). Validity and reliability of short-term heart-rate variability from the polar s810. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1):243–250.
- Pagani, M. (2000). Heart rate variability and autonomic diabetic neuropathy. *Diabetes Nutrition & Metabolism*, 13:341–346.
- Piskorski, J. and Guzik, P. (2007). Geometry of the poincar plot of rr intervals and its asymmetry in healthy adults. *Physiological Measurement*, 28:287–300.
- Selig, F. A., Tonolli, E. R., and E. V. C. M. da Silva, M. F. d. G. (2011). Heart rate variability in preterm and term neonates. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 96(6):443–449.
- Vanderlei, L. C., Silva, R. A., Pastre, C. M., Azevedo, F. M., and Godoy, M. F. (2008). Comparison of the polar s810i monitor and the ecg for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. *Braz J Med Biol Res*, 41(10):854–859.

Wessel, N., Malberg, H., Ziehmann, C., Voss, H. U., Schirdewan, A., Meyerfeldt, U., and Kurths, J. (2000). Nonlinear analysis of complex phenomena in cardiological data. *Herzschr Elektrophys*, 11:159–173.