

# Compressão de Sinais de Atividade Eletrodérmica Através de Decomposições Atômicas Usando Dicionário de Bateman

Paulo Victor Huguenin, Michel Pompeu Tcheou e Lisandro Lovisoló

**Resumo**—Devido ao aumento crescente de dispositivos com sensores capazes de captar e processar sinais provenientes do corpo humano, como a atividade eletrodérmica (EDA), torna-se relevante o uso de ferramentas com capacidade de representá-los e comprimi-los eficientemente. Uma opção é o método de decomposição atômica usando o *Matching Pursuit* (MP) com base no dicionário de Bateman, de forma a fornecer representações esparsas. Neste trabalho, avalia-se a compressão de sinais de EDA via MP utilizando dicionário de *Bateman* e codificador aritmético.

**Palavras-Chave**—Atividade Eletrodérmica, Representação Esparsa, Matching Pursuit, Codificador Aritmético, Compressão de sinais

**Abstract**—Due to the increasing number of devices with sensors capable of capturing and processing signals from the human body, such as electrodermal activity (EDA), it becomes relevant to use tools with the ability to represent and compress them efficiently. One option is the atomic decomposition method using the *Matching Pursuit* (MP) based on the Bateman dictionary, in order to provide sparse representations. In this work, the compression of EDA signals via MP using the Bateman dictionary and arithmetic coder is evaluated.

**Keywords**—Electrodermal Activity, Sparse Representation, Matching Pursuit, Arithmetic Coder, Signal Compression

## I. INTRODUÇÃO

O sinal a ser estudado neste artigo é o de a atividade eletrodérmica (EDA-*Electrodermal Activity*). Esse tipo de sinal por apresentar longa duração gera uma grande quantidade de dados o que dificulta o armazenamento em dispositivos vestíveis. Para minimizar esse problema tem-se como objetivo representar de forma eficiente esses sinais tanto na compressão quanto no reconhecimento de padrões.

O sinal EDA é composto basicamente por duas componentes: fásica e tônica. A componente tônica é uma variação lenta, crescente ou decrescente, do nível de condutância da pele ao longo do tempo [1]. Normalmente, ao processar o sinal de EDA, inicialmente, remove-se essa componente, pois ela não traz consigo informação relevante quanto a um diagnóstico[2]. Para a remoção desta componente foi utilizado o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) em blocos com continuidade com o objetivo de estimar esta componente[3]. Já a componente fásica é onde está toda informação importante para reconhecimento de padrões e é nela que se deseja fazer a decomposição atômica[2]. Essa componente é uma variação mais abrupta e está mais ligada a resposta da condutância da pele.

Neste trabalho, desenvolve-se um sistema de compressão, ilustrado na Fig. 1, em que, inicialmente, obtém-se uma representação esparsa do sinal de EDA usando o algoritmo de decomposição atômica via *Matching Pursuit* com base no dicionário de *Bateman*. Em estudos anteriores, esse dicionário

Paulo Victor M.R. Huguenin de Lima, Michel P. Tcheou e Lisandro Lovisoló, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, E-mails: pv.huguenin@gmail.com, mt-tcheou@uerj.br, lisandro@uerj.br

se mostrou mais adequado para representar um sinal EDA dentre os estudados em termos de esparsidade [3]. Em seguida, quantizam-se os coeficientes e parâmetros dos átomos usando quantização uniforme linear e codificam-se os índices de quantização usando codificador aritmético com o objetivo extrair a redundância estatística da fonte.

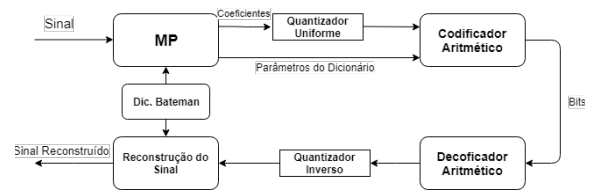


Fig. 1. Diagrama do sistema de compressão desenvolvido para sinais de EDA

## II. DECOMPOSIÇÃO DE ATÔMICA DE SINAIS DE EDA

### A. Matching Pursuit

O algoritmo de *Matching Pursuit* (MP) realiza aproximações sucessivas de sinais, buscando em um dicionário redundante  $D$  a melhor aproximação a cada iteração [4]. Os elementos do dicionário são chamados átomos,  $\mathbf{g}_\gamma$ , têm norma unitária  $\|\mathbf{g}_\gamma\| = 1$  e  $\gamma \in \Gamma$  é um conjunto de parâmetros que define ou indexa o átomo, sendo  $\Gamma$  o espaço de parâmetros. A cada iteração, o MP procura o átomo que mais se assemelha ao resíduo. Define-se como resíduo inicial o próprio sinal,  $\mathbf{r}_x^0 = \mathbf{x}$ , assim a cada iteração  $i$ , faz-se:

1) Calculam-se as correlações/similaridades entre o resíduo  $\mathbf{r}_x^{i-1}$  e cada átomo  $\mathbf{g}_\gamma$  utilizando os produtos internos  $\alpha = \langle \mathbf{r}_x^{i-1}, \mathbf{g}_\gamma \rangle, \forall \mathbf{g}_\gamma \in D$ ;

2) Busca-se o átomo mais correlacionado com o resíduo, resultando em

$$\gamma(i) = \arg \max_{\gamma \in \Gamma} |\langle \mathbf{r}_x^{i-1}, \mathbf{g}_\gamma \rangle| \text{ e } \alpha_i = \langle \mathbf{r}_x^{i-1}, \mathbf{g}_{\gamma(i)} \rangle; \quad (1)$$

3) Subtrai-se o átomo ponderado  $\alpha_i \mathbf{g}_{\gamma(i)}$  do resíduo  $\mathbf{r}_x^{i-1}$ , obtendo-se o  $i$ -ésimo resíduo

$$\mathbf{r}_x^i = \mathbf{r}_x^{i-1} - \alpha_i \mathbf{g}_{\gamma(i)}; \quad (2)$$

Esse processo iterativo termina quando uma condição de parada é atendida, por exemplo, energia do resíduo menor que um determinado limiar. Ao fim desse processo, obtém-se uma aproximação de  $M$  termos do sinal original  $\mathbf{x}$ .

$$\mathbf{x} \approx \hat{\mathbf{x}} = \sum_{i=1}^M \alpha_i \mathbf{g}_{\gamma(i)}. \quad (3)$$

### B. Dicionário de Bateman

Neste trabalho, usa-se o dicionário de Bateman para a decomposição da componente fásica dos sinais de EDA. Esse

dicionário é composto por uma função bi-exponencial dada da seguinte forma:

$$g_\gamma(n) = K_\gamma(e^{-\rho(n-\tau)} - e^{-\eta(n-\tau)}) \times \cos(\phi), \quad (4)$$

onde  $\gamma$  é o conjunto de parâmetros do átomo, no caso  $\gamma = (\rho, \eta, \tau, \phi)$ , onde  $\rho$  é o decaimento([0,2:0,1:2]),  $\eta$  é o crescimento([0,4:0,1:2]),  $\tau$  é o deslocamento([0:1:512]),  $\phi$  é a fase([0,180]) e  $K_\gamma$  é o fator de normalização. Sendo que  $\rho < \eta$  e  $\eta - \rho < 0,3$ . A discretização dos parâmetros para criar o dicionário de dimensão finita foi definida com base em estudos anteriores [5].

### III. QUANTIZAÇÃO E CODIFICAÇÃO

Quando finalizada a decomposição obtém-se um livro de estruturas composto por  $(\alpha_i, \gamma_i)$  [6]. Com o objetivo de comprimir o sinal se quantizará esse livro de estruturas. Para  $\gamma_i = (\rho_i, \eta_i, \tau_i, \phi_i)$ , por se tratar de um dicionário fixo, basta indexar os parâmetros usados para cada átomo. Já para o coeficiente  $\alpha_i$  o dicionário varia conforme o sinal, por isso é usado um quantizador uniforme linear definido por:

$$x_q = I_x \times \Delta_q(x), \quad \text{com } I_x = \left\lfloor \frac{x + \frac{\Delta_q(x)}{2}}{\Delta_q(x)} \right\rfloor \quad (5)$$

em que  $x_q$  representa o sinal quantizado,  $I_x$  é o índice de quantização e  $\Delta_q(x)$  é o passo de quantização que por ser uniforme e por ser *mid-rise* é dado por:

$$\Delta_q(x) = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2^{b_x} - 1} \quad (6)$$

onde  $x_{\max}$  e  $x_{\min}$  definem os valores máximo e mínimo da faixa dinâmica de quantização e  $b_x$  é o número de bits alocados.

Após a quantização é comum codificarmos esses valores com a finalidade de armazenar ou transmitir o sinal. Nesse estudo é usado o codificador aritmético para tal tarefa, pois por se tratar de codificador por entropia não é necessário de um alfabeto de símbolos com suas devidas probabilidades o que aumentaria a complexidade para transmitir, como ocorre no código de Huffman [7].

### IV. CONFIGURAÇÃO EXPERIMENTAL

1) *Sinal Analisado*: O sinal EDA foi extraído da base de dados *Physionet* [8]

2) *Pré-processamento*: O sinal de EDA foi filtrado por um passa-baixas de 0,5 Hz, para a remoção de ruídos [3]. Depois, a componente tônica foi removida pelo método dos mínimos quadrados (MMQ) em blocos contíguos.

3) *Decomposição*: O sinal foi dividido em blocos de 512 amostras não sobrepostos (com janela retangular). O algoritmo calcula 512 átomos para cada bloco. Como resultado temos os níveis de energia do átomo e seu índice atrelado aos dicionários de Bateman, cuja discretização foi definida na seção II.B.

4) *Quantização*: Usa-se um quantizador uniforme para os níveis de energia dos átomos calculados  $\alpha_i$ . Já  $\gamma_i$  é apenas indexado por ser parte de um dicionário fixo e discreto.

5) *Codificação*: Foram empregados um codificador aritmético com probabilidade uniforme e com probabilidade não-uniforme, bem como o codificador de Huffman com fins comparativos. A probabilidade não-uniforme pressupõe as distribuições reais dos índices a serem codificados. Codificou-se o cabeçalho do sinal com as informações necessárias (número de blocos, número de átomos por bloco, probabilidade, entre outros), para que o decodificador consiga processar o sinal codificado, os coeficientes e os parâmetros.

### V. RESULTADOS

O sinal de EDA original possui representação de 16 bits/amostra. Como o sistema de compressão proposto é um codificador com perdas, seu desempenho é avaliado através da curva de taxa-distorção. Nesse caso, a distorção é calculada através do Erro Médio Quadrático (MSE – mean-squared error) e a taxa é definida em bits/amostra. A Fig. 2 apresenta as curvas de taxa-distorção do sistema de compressão desenvolvido, usando o codificador aritmético com probabilidade uniforme e não uniforme bem como o código de Huffman. É possível observar que o codificador aritmético com probabilidade não uniforme apresenta desempenho semelhante ao de Huffman, porém não é necessário transmitir um alfabeto de símbolos. Por outro lado, como as distribuições dos índices de quantização variam entre sinais, isso implicaria em um aumento proibitivo da informação lateral necessária para a decodificação. Observa-se também que o codificador aritmético com probabilidade uniforme apresenta um desempenho inferior, contudo, não há necessidade de transmitir essa probabilidade como informação lateral. Após finalizada a compressão analisou-se o tamanho do arquivo a ser transmitido com outros formatos de compressão como o ZIP em relação ao sinal original(36Kb). Escolhendo-se visualmente pelo gráfico da Fig. 2 uma taxa adequada de 16 bits/amostra obteve-se 21,3Kb enquanto que o ZIP 24,6Kb.

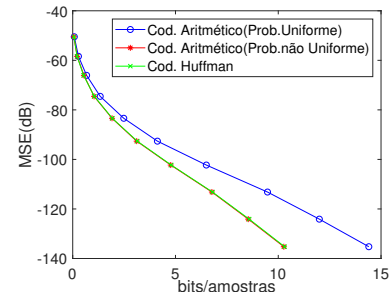


Fig. 2. Curvas de taxa-distorção para diferentes codificadores por entropia

### VI. CONCLUSÕES

Neste trabalho, avaliou-se a compressão de um sinal EDA usando o algoritmo de decomposição MP, um quantizador linear e o codificador aritmético. Fazendo uma análise comparativa, permite-se concluir a eficácia desse método para compressão do sinal de EDA. Para trabalhos futuros deseja-se avaliar a distorção mínima (máxima compressão) de modo que não comprometa a avaliação do sinal de EDA por um especialista da área médica.

### REFERÊNCIAS

- [1] A. Greco, G. Valenza, and E. P. Scilingo, *Advances in Electrodermal Activity Processing with Applications for Mental Health: From Heuristic Methods to Convex Optimization*. Springer, 2016.
- [2] W. T. Roth, M. E. Dawson, and D. L. Fillion, "Publication recommendations for electrodermal measurements," *Psychophysiology*, vol. 49, no. 8, pp. 1017–1034, 2012.
- [3] G. Oliveira and M. P. Tcheou, "Análise da decomposição de sinais de atividade eletrodérmica em múltiplos dicionários usando algoritmos vorazes," *SBRT2018*, vol. 1, p. 5, 2018.
- [4] S. Mallat and Z. Zhang, "Matching pursuits with time-frequency dictionaries," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 41, no. 12, pp. 3397–3415, Dez. 1993.
- [5] T. Chaspari, A. Tsiartas, L. I. Stein, S. A. Cermak, and S. S. Narayanan, "Sparse representation of electrodermal activity with knowledge-driven dictionaries," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 62, no. 3, pp. 960–971, March 2015.
- [6] M. P. Tcheou, "Compressão de sinais usando decomposições atômicas," Tese de Doutorado, PEE/COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2011.
- [7] D. Salomon, "Data compression: The complete reference," p. 1118, 2007.
- [8] J. Birjandtalab, D. Cogan, M. B. Pouyan, and M. Nourani, "A non-ecg biosignals dataset for assessment and visualization of neurological status," pp. 110–114, 2016.