

NOVO MÉTODO PARA COMPRESSÃO DE SINAIS DE EMG USANDO JPEG2000

M. V. C. Costa*, P. A. Berger**, J. L. A. Carvalho*, A. F. da Rocha* e F. A. O. Nascimento*

*Departamento de Engenharia Elétrica/Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

**Departamento de Ciência da Computação/Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

e-mail: chaffim@unb.br

Abstract: In this article we present a new preprocessing technique for two-dimensional compression of EMG signals, namely correlation sorting. We also present an algorithm for compression of electromyographic (EMG) signals based on the JPEG2000 coding system. Originally designed for compression of still images, we show that JPEG2000 codec can also be used to compress EMG signals for both isotonic and isometric contractions. The compression results using the JPEG2000 algorithm were compared to those algorithms based on the wavelet transform.

Palavras-chave: sinais eletromiográficos, compressão de sinais biomédicos, JPEG2000.

Introdução

Os sinais eletromiográficos (EMG) são uma ferramenta importante para o estudo do comportamento dos músculos [1,2]. O armazenamento e/ou a transmissão destes sinais é um problema, pois a quantidade de dados pode ser grande, dependendo da taxa de amostragem, precisão da amostra, número de canais, e número de sujeitos, dentre outros fatores.

Várias técnicas foram propostas para a compressão de sinais biomédicos como o eletrocardiograma (ECG) [3-5] e o eletroencefalograma (EEG) [6]. No entanto, poucos métodos foram propostos para compressão de sinais de EMG.

Norris e Lovely [7] investigaram a compressão de EMG usando ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*). Guerrero e Maihes [8] compararam diferentes métodos baseados em predição linear e em transformadas ortogonais. Eles mostram que métodos baseados na transformada de *wavelets* têm desempenho melhor que outros métodos de compressão. O uso do algoritmo EZW (*Embedded Zero-Tree Wavelet*) também já foi proposto para a compressão de sinais de EMG [9,10]. Mais recentemente, Berger *et al.* [11] propuseram um algoritmo para compressão de sinais de EMG usando a transformada de *wavelets* com um esquema para alocação dinâmica de bits, usando uma rede Kohonen.

Em outro trabalho recente, Brechet *et al.* [12] usaram a DWPT (*Discrete Wavelet Packet Transform*) com otimização tanto da *wavelet* mãe quanto da base de

decomposição dos pacotes *wavelet*, seguida por um codificador EZW modificado. O uso de métodos de codificação de voz também já foi investigado [8,13]. Carotti *et al.* [13] propuseram um esquema para compressão de sinais de EMG usando o codificador ACELP (*Algebraic Code Excited Linear Prediction*), e avaliaram os resultados por meio de diversas medidas espectrais e estatísticas.

Este trabalho apresenta um método para compressão de sinais eletromiográficos usando o padrão de compressão JPEG2000. O codificador JPEG2000 foi originalmente proposto para compressão de imagens, mas já foi usado eficientemente para compressão de sinais de ECG [14,15]. No entanto, até então o JPEG2000 não havia sido aplicado na compressão de sinais de EMG. Além disso, é proposta uma nova etapa de pré-processamento chamada de reordenação por correlação. O método é demonstrado e avaliado quantitativamente na compressão de sinais de EMG medidos durante contrações isométricas e isotônicas.

Materiais e Métodos

Compressão de sinais de EMG usando JPEG2000 – A Figura 1 mostra o diagrama de blocos simplificado do esquema de codificação proposto. O método consiste em segmentar cada sinal de EMG em segmentos com 512 amostras cada, e depois arranjar esses segmentos como colunas em uma matriz bidimensional, a qual pode ser comprimida usando o padrão JPEG2000 [16-20]. O JPEG2000 é um codificador de imagens que aplica o algoritmo EBCOT (*Embedded Block Coding with Optimal Truncation*) [17] nas amostras das sub-bandas da transformada discreta de *wavelets* da imagem.

O número de colunas da matriz bidimensional é definido pelo número de segmentos completos de 512 amostras. O último segmento (incompleto) geralmente representa um período pós-exercício. Assim, ele não contém informação relevante e é simplesmente descartado.

Cada coluna da matriz bidimensional é escalonada para a faixa dinâmica de 8 bits (0 a 255), para que seja usado o software de referência [18] do padrão JPEG2000. A seguir, a matriz é reordenada de acordo com os coeficientes de correlação entre as colunas

(como será discutido na próxima subseção) e então codificada usando o algoritmo JPEG2000. A taxa de compressão usada variou de 0,03125 a 8 bits por pixel.

As listas com as informações sobre a correlação entre colunas e os parâmetros de escalonamento (valores de máximo e mínimo do sinal a cada coluna) são armazenados sem codificação de entropia.

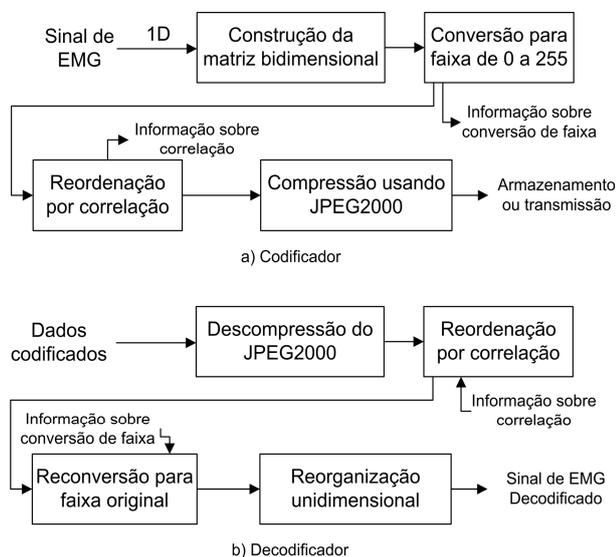


Figura 1: Diagrama de blocos simplificado do algoritmo de compressão proposto. (a) Codificador. (b) Decodificador.

Os dados codificados são a seguir reconstruídos usando-se o decodificador JPEG2000 e o sinal de EMG é recuperado rearranjando as colunas da matriz de volta em um vetor unidimensional, e escalonando o sinal para sua faixa dinâmica original.

Reordenação por correlação – Ao abordar a compressão de sinais de eletrocardiografia de forma bidimensional, Chou *et al.* [15] aplicaram técnicas baseadas no comprimento dos períodos entre complexos QRS consecutivos para, com os sinais já segmentados, para diminuir as descontinuidades entre segmentos adjacentes. Entretanto, ao contrário dos sinais de ECG, os sinais de eletromiografia não apresentam características que permitam abordagem equivalente.

Desta forma, como o tamanho das janelas de segmentação dos sinais de EMG usado neste trabalho é fixo (512 amostras por coluna), a métrica considerada foi a correlação entre as colunas da matriz bidimensional.

O método é baseado no cálculo da matriz R dos coeficientes de correlação entre as colunas, computados em função da matriz de covariância C como:

$$R(a, b) = \frac{C(a, b)}{\sqrt{C(a, a) \cdot C(b, b)}} \quad (1)$$

O segmento que correspondente ao maior coeficiente de correlação é colocado na primeira coluna

da nova matriz e as colunas restantes são ocupadas pelos demais segmentos em ordem decrescente de coeficientes de correlação. Deste modo, cria-se também uma lista com as posições das colunas na nova matriz que caracteriza esta reordenação.

A Figura 2 apresenta o resultado da aplicação da reordenação por correlação para um sinal de EMG segmentado (convertido para a faixa de 0 a 255), disposto em forma bidimensional.

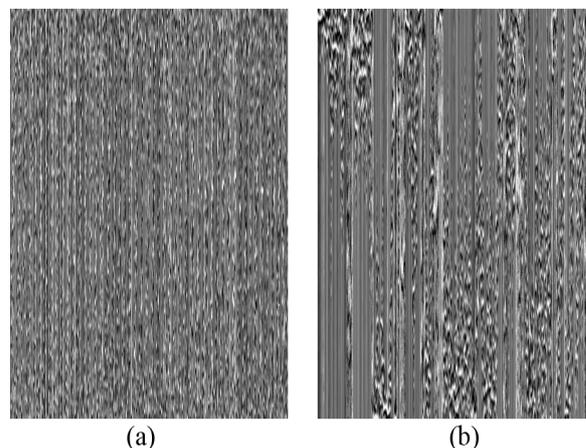


Figura 2: Sinal de EMG em representação bidimensional. (a) Sinal segmentado após conversão para faixa de 0 a 255. (b) Sinal na faixa de 0 a 255 após aplicada a reordenação por correlação.

Protocolo de aquisição para contrações isométricas – Sinais de EMG de contrações isométricas foram obtidos em 4 voluntários saudáveis do sexo masculino, com $28,3 \pm 9,5$ anos de idade, $1,75 \pm 0,04$ m de altura, e $70,5 \pm 6,6$ kg de peso. Os sinais foram medidos no músculo bíceps braquial. No início do protocolo, a máxima contração voluntária (MCV) de cada sujeito foi determinada. Os sinais foram coletados durante contrações com 60% da MCV, com um ângulo de 90° entre o braço e o antebraço, e com o sujeito de pé. O protocolo foi repetido 5 vezes com cada voluntário, com um intervalo de 48 horas entre cada repetição. Um dos voluntários faltou uma das sessões. Portanto, 19 sinais de EMG foram adquiridos ao todo.

Protocolo de aquisição para contrações isotônicas – Sinais de EMG foram obtidos durante contrações isotônicas (ciclismo) em 9 voluntários saudáveis (6 homens, 3 mulheres), com $24,4 \pm 4,3$ anos de idade. Todos os sujeitos apresentavam índice de massa corporal normal.

O sinal de EMG foi medido nos músculos vasto medial e vasto lateral, os quais são músculos da perna com elevada atividade eletromiográfica de superfície durante o exercício proposto. Antes de posicionar os eletrodos, a distância entre a porção lateral externa (PLE) da patela e a cabeça do fêmur (CF) foi medida, assim como a distância entre a porção lateral interna (PLI) e a cabeça do fêmur da coxa direita. Após tricotomia, a pele foi limpa com álcool. Um eletrodo

ativo foi usado para o músculo vasto lateral, posicionado a 1/5 da distância entre a PLE e a CF (medida a partir do joelho). Outro eletrodo ativo foi usado para o músculo vasto medial, a 1/4 da distância entre a PLI e a CF (também medida a partir do joelho).

A aquisição dos sinais foi feita com um eletromiógrafo comercial (Delsys, Bagnoli-2, Boston, MA, EUA). Esse equipamento usa eletrodos ativos com uma pré-amplificação de 10 V/V e banda passante de 20 Hz a 450 Hz. Os sinais foram amplificados com um ganho total de 1000 V/V, e amostrados a 2 kHz usando um conversor A/D de 12 bits (National Instruments, PCI 6024E, Austin, TX, EUA). O software LabView (National Instruments, Austin, TX, EUA) foi usado para a aquisição dos sinais, e o Matlab 6.5 (Mathworks, Inc., South Natick, MA, EUA) foi usado para o processamento dos sinais.

O exercício foi realizado usando 70% da potência máxima e 70% da velocidade máxima, até a exaustão, e foi precedido por um período de aquecimento com duração máxima de 4 minutos. Esse protocolo foi programado na instrumentação de uma bicicleta ergométrica (Ergo-Fit, Ergo Cycle 167, Pirmasens, Alemanha). Não foi realizada aquisição de sinais durante o aquecimento.

Ao todo, 18 sinais de EMG foram adquiridos (9 voluntários, 2 eletrodos).

Resultados

A qualidade de compressão foi avaliada comparando-se o sinal reconstruído com o sinal original. O desempenho do algoritmo de compressão foi medido por meio de dois critérios objetivos: o fator de compressão (FC) e a raiz quadrada da diferença média quadrática percentual (RDP). Esses são os dois critérios mais utilizados pela comunidade científica para avaliar algoritmos de compressão de sinais de EMG.

O fator de compressão é definido como:

$$FC(\%) = \frac{Os - Cs}{Os} \cdot 100, \quad (2)$$

onde Os é o número de bits necessários para armazenar os dados originais e Cs é o número de bits necessários para armazenar os dados codificados, incluindo os bits usados para representar tanto a faixa dinâmica do sinal quanto a reordenação por correlação.

A RDP é definida como:

$$RDP(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (x[n] - \hat{x}[n])^2}{\sum_{n=0}^{N-1} x^2[n]}} \cdot 100, \quad (3)$$

onde $x[n]$ é o sinal original, $\hat{x}[n]$ é o sinal reconstruído e N é o número de amostras do sinal.

A Figura 3 mostra a RDP medida em função do FC, para todos os 19 sinais de EMG isométricos, bem como

o resultado médio. Os resultados mostram que a qualidade diminui quando o fator de compressão aumenta. Aumentar o FC acima de 85% causa deterioração significativa do sinal decodificado.

A Figura 4 mostra o resultado da compressão do sinal de EMG adquirido durante atividades isotônicas. Observou-se um padrão similar, com fatores de compressão acima de 80% causando deterioração de sinal mais significativa.

A Figura 5 ilustra a qualidade visual do sinal decodificado. As 900 amostras centrais dos sinais original, reconstruído e de erro são mostradas.

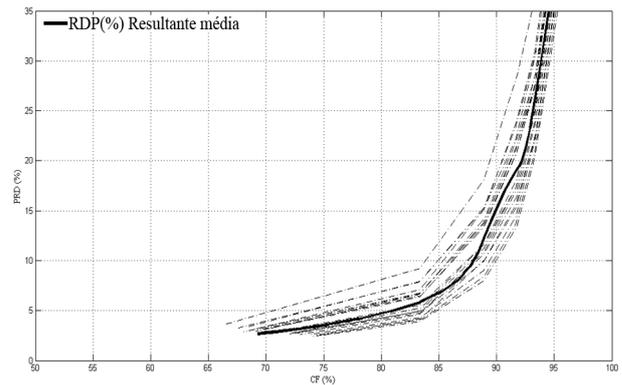


Figura 3: RDP em função do fator de compressão para sinais de EMG medidos durante contrações isométricas.

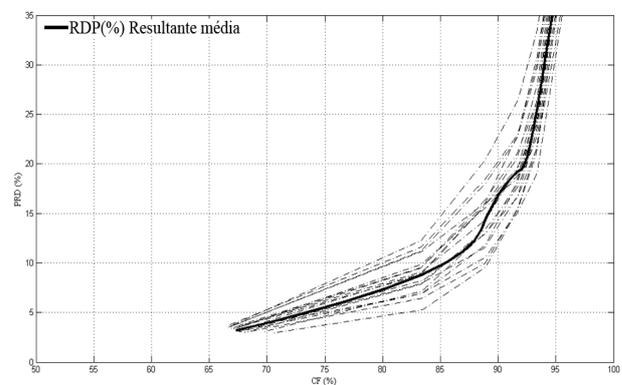


Figura 4: RDP em função do fator de compressão para sinais de EMG medidos durante atividades isotônicas.

Discussão

A Tabela 1 mostra uma comparação entre os resultados obtidos para os sinais de contração isométrica usando o algoritmo proposto com os resultados obtidos por Norris *et al.* [10] e Berger *et al.* [11]. Comparado ao método baseado em EZW usado em [10], o JPEG2000 ofereceu qualidade de reconstrução ligeiramente melhor (RDP mais baixo) para fatores de compressão de até 85%. No entanto, essa diferença não foi estatisticamente significativa. Comparado ao método de compressão proposto em [11], o JPEG2000 apresentou desempenho geral moderadamente inferior, uma vez que para a faixa de FC entre 75% e 90%, a RDP conseguida usando o JPEG200 foi sempre maior.

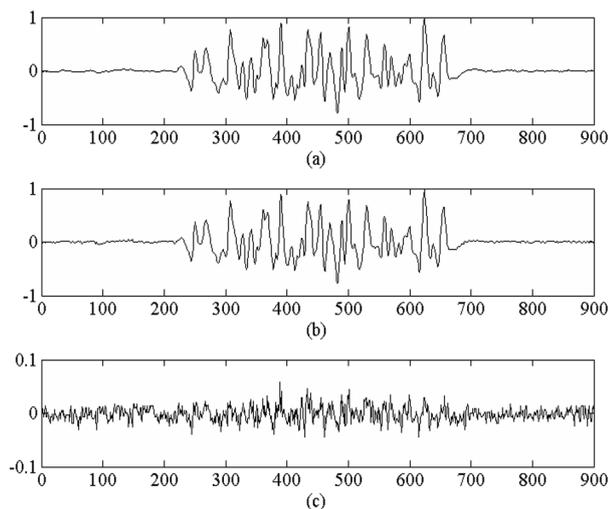


Figura 5: Resultado de compressão representativo para um sinal de atividade muscular isotônica: (a) sinal de EMG original; (b) sinal de EMG reconstruído após compressão com FC de 81,23% (RDP de 5,69%); (c) erro de reconstrução. Note que a magnitude de (c) está ampliada em 10 vezes.

Tabela 1: Comparação entre os resultados obtidos com o algoritmo proposto e os resultados da literatura, para a compressão de sinais de EMG medidos durante contrações isométricas.

FC (%)	Norris <i>et al.</i> RDP (%)	Berger <i>et al.</i> RDP (%)	JPEG2000 RDP (%)
75	3,8	2,5	3,6
80	5	3,3	4,7
85	7,8	6,5	6,8
90	13	13	15,3

A Tabela 2 apresenta uma comparação similar, mas para os sinais de EMG isotônicos. Os resultados obtidos com o JPEG2000 são significativamente melhores que os obtidos por Norris *et al.* Quando comparado ao algoritmo proposto por Berger *et al.*, o JPEG2000 oferece resultados melhores apenas para fatores de compressão iguais ou acima de 90%.

Tabela 2: Comparação entre os resultados obtidos com o algoritmo proposto e os resultados da literatura, para a compressão de sinais de EMG medidos durante atividades musculares isotônicas.

FC (%)	Norris <i>et al.</i> RDP (%)	Berger <i>et al.</i> RDP (%)	JPEG2000 RDP (%)
75	7,85	2,6	5,6
80	9	4,4	7,4
85	9,5	7,25	9,8
90	20	20	16,9

Norris *et al.* [10] e Berger *et al.* [11] usaram protocolos muito parecidos com os deste trabalho. Os três trabalhos usaram EMG de superfície, com resolução de 12 bits e taxa de amostragem de 2 kHz. Além disso,

os três trabalhos usaram sinais isométricos adquiridos no músculo bíceps braquial. No entanto, no que diz respeito aos sinais isotônicos, [10] e [11] utilizaram apenas sinais adquiridos no músculo vasto lateral, enquanto neste trabalho foram usados sinais tanto do músculo vasto lateral quanto do músculo vasto medial. Portanto, deve-se tomar cuidado ao comparar esses resultados. Além do mais, o protocolo de aquisição usado por Norris *et al.* não foi descrito em [10]. Assim, é possível que o nível de contração tenha sido diferente do utilizado neste trabalho, o que poderia resultar em um conjunto de sinais com características distintas.

Conclusão

Este artigo apresentou uma metodologia para a compressão de sinais eletromiográficos de superfície usando um algoritmo popular para compressão de imagens digitais, o JPEG2000. Também foi proposto um novo método de pré-processamento do sinal de EMG baseado na correlação entre as colunas da matriz bidimensional.

O esquema de compressão foi avaliado em 19 sinais medidos durante contrações isométricas e 18 sinais adquiridos durante atividades isotônicas. Os resultados mostraram que esta codificação oferece fatores de compressão de 75 a 90%, com RDP na faixa de 3,6 a 15,3% para sinais isométricos, e 5,6 a 16,9% para sinais isotônicos.

Apesar do JPEG2000 ter sido desenvolvido para a compressão de imagens, este trabalho mostrou que este codificador também pode ser usado para a compressão de sinais eletromiográficos, com desempenho compatível ao de algoritmos propostos na literatura.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Dr. Marcelino Monteiro de Andrade e ao Dr. Jake do Carmo pelo apoio com sinais de eletromiografia usados neste trabalho.

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da CAPES e do CNPq, agências de fomento do Governo Federal Brasileiro.

Referências

- [1] Merletti, R., Parker, P. (2004), *Electromyography: Engineering and Noninvasive Applications*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- [2] Basmajian, J. V., De Luca, J. C. (1985), *Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- [3] Sahraeian, S. M. E., Fatemizadeh, E. (2007), "Wavelet-based 2-D ECG data compression method using SPIHT and VQ coding," *The Int. Conf. on Computer as a Tool, EUROCON, 2007*, pp. 133–137.

-
- [4] Lu, Z., Kim, Y. D., Pearlman, A. W. (2000), "Wavelet compression of ECG signals by the set partitioning in hierarchical trees algorithm," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 47, no. 7, pp. 849–856.
- [5] Hilton, M. L. (1997), "Wavelet and wavelet packet compression of electrocardiograms," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 44, pp. 394–402.
- [6] Antoniol, G. L., Tonella, P. (1997), "EEG data compression techniques," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 44, pp. 105–114.
- [7] Norris, J. F., Lovely, D. F. (1995), "Real-time compression of myoelectric data utilizing adaptive differential pulse code modulation," *Med Biol Eng Comput*, vol. 33, pp. 629–635.
- [8] Guerrero, A., Maihes, C. (1997), "On the choice of an electromyogram data compression," in *Proc. 19th Annual Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine Biology Society*, pp. 1558–1561.
- [9] Wellig, P., Zhenlan, C., Semling, M., Moschytz, G. S. (1998), "Electromyogram data compression using single-tree and modified zero-tree wavelet encoding," in *Proc. 20th Annual. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine Biology Society*, pp. 1303–1306.
- [10] Norris, J. A., Englehart, K., Lovely, D. F. (2001), "Steady-state and dynamic myoelectric signal compression using embedded zero-tree wavelets," in *Proc. 23rd Annual. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine Biology Society*, pp. 1879–1882.
- [11] Berger, P. A., Nascimento, F. A. O., Carmo, J. C., da Rocha, A. F. (2006), "Compression of EMG Signals with Wavelet Transform and Artificial Neural Networks", *Physiological Measurement*, vol 27, pp. 457–465.
- [12] Brechet, L., Lucas, M.-F., Doncarli, C., Farina, D. (2007), "Compression of biomedical signals with mother wavelet optimization and best-basis wavelet packet selection". *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 54, no. 12, pp. 2186–2192, Dec.
- [13] Carotti, E. S. G., De Martin, J. C., Merletti, R., Farina, D., (2006) "Compression of surface EMG signals with algebraic code excited linear prediction", in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Processing*, Toulouse, France, vol. 03, pp. 1148–1151, May.
- [14] Bilgin, A., Marcellin, M. W., Altbach, M. I. (2003), "Compression of Electrocardiogram Signals using JPEG2000," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 4, pp. 833–840.
- [15] Chou, H.-H., Chen, Y.-J., Shiau, Y.-C., Kuo, T.-S. (2006), "An effective and efficient compression algorithm for ECG signals with irregular periods" *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 53, no. 6, pp. 1198–1205.
- [16] JPEG2000 Part 1 Final Draft International Standard (2000), ISO/IEC JTC1/SC29/WG1, Doc. No. N1855.
- [17] Taubman, D. S. (2000), "High performance scalable image compression with EBCOT," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, no. 7, pp. 1151–1170.
- [18] Adams, M. D. (2001), *JasPer Software Reference Manual*, ISO/IEC JTC1/SC29/WG1, Doc. No. N2415, Dec.
- [19] Taubman, D. S., Marcellin, M. W. (2002), *JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- [20] Acharya, T., Tsai, P. S. (2004), *JPEG2000 Standard for Image Compression: Concepts, Algorithms and VLSI Architectures*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
-