

Compressão de Sinais de EMG isométricos utilizando JPEG2000

M.V. Chaffim Costa¹, P. de Azevedo Berger², F.A. de Oliveira Nascimento¹ e A. Ferreira da Rocha¹

¹ Grupo de Processamento Digital de Sinais, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

² Departamento e Ciência da Computação, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

Abstract— Despite the growing interest in the transmission and storage of electromyographic signals for long periods of time, only a few studies deal with the compression of these signals. In this article we study an algorithm for EMG signal compression using a successful method applied to still image coding, the JPEG2000 algorithm. Although the JPEG2000 codec is designed to compress images, we illustrate that it can also be used to compress EMG signals. For EMG signals acquired during isometric contractions, the proposed algorithm provided compression factors ranging from 75 to 90%, with an average PRD ranging from 3,75% to 13,7%. The compression results using the JPEG2000 algorithm were compared to other algorithms based on the wavelet transform.

Keywords— S-EMG, isometric electromyographic signals, compression, JPEG2000.

I. INTRODUÇÃO

Os sinais de eletromiografia são de grande importância no diagnóstico de diversas patologias neuro-musculares [1,2]. Entretanto, o armazenamento ou a transmissão desses sinais em aplicações de telemedicina ainda são um desafio, uma vez que a quantidade de dados a serem transmitidos ou armazenados cresce com a taxa de amostragem, a precisão por amostra, a quantidade de canais, o número de indivíduos, dentre outros fatores.

Várias pesquisas têm sido feitas sobre a compressão de outros tipos de sinais biomédicos, como o eletrocardiograma (ECG) [3,4,5] e o eletroencefalograma (EEG) [6], porém poucos trabalhos abordaram o problema da compressão de sinais de EMG.

Norris e Lovely [7] investigaram a compressão de sinais de EMG usando ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*). Guerrero e Maihes [8] usaram diferentes métodos de compressão sem perda que foram comparados com outros métodos baseados em transformadas ortogonais. Os métodos baseados em transformadas ortogonais obtiveram melhor desempenho ao comparar-se a taxa de compressão e a relação sinal-ruído. A utilização da transformada *wavelet* na compressão de sinais de EMG foi estudada nos últimos anos com o uso do algoritmo EZW (*Embedded Zero-Tree Wavelet*) em [9] e [10]. Mais recentemente, Berger *et al* [11] propôs um algoritmo de compressão de sinais de EMG utilizando a transformada

wavelet e um esquema de alocação dinâmica de bits de seus coeficientes.

Neste artigo apresenta-se os resultados da compressão de sinais de eletromiografia utilizando o algoritmo JPEG2000. Embora o JPEG2000 tenha mostrado eficiência na compressão de ECG em estudos recentes [12,13], tal codificador ainda não havia sido testado na compressão de sinais de EMG.

II. METODOLOGIA

A. Visão geral sobre o padrão JPEG2000

O JPEG2000 é o mais recente padrão internacional de compressão de imagens [14,15,16]. É esperado que este seja o substituto do bem sucedido JPEG em muitas aplicações. Além de obter a performance do estado da arte para compressão de imagens, este codificador apresenta um variado número de funcionalidades, entre elas:

- Transmissão progressiva por qualidade, resolução ou localização espacial;
- Compressão com ou sem perdas;
- Acesso (espacial) aleatório ao fluxo de bits;
- *Pan* e *zoom* (com descompressão de apenas um subconjunto dos dados comprimidos);
- Processamento no domínio comprimido;
- Codificação progressiva de uma região de interesse.

O primeiro passo do JPEG2000 é dividir a imagem de entrada em retângulos não-sobrepostos, ou “ladrilhar” a imagem (do inglês, *tiling*), como é mais conhecido este procedimento. O tamanho do ladrilho pode ser selecionado durante a execução do codificador e uma imagem inteira pode ser comprimida como ladrilho apenas. Se a imagem possui múltiplos componentes de cor, uma transformação que descorrelaciona os componentes pode ser adotada. Cada componente dentro de determinado ladrilho é transformado utilizando uma transformada *wavelet*.

Os coeficientes quantizados de cada sub-banda da transformada *wavelet*, divididos em blocos de código retangulares, são comprimidos usando um codificador por planos de bits. As técnicas de codificação adotadas pelo JPEG2000 são baseadas no EBCOT (*Embedded Block*

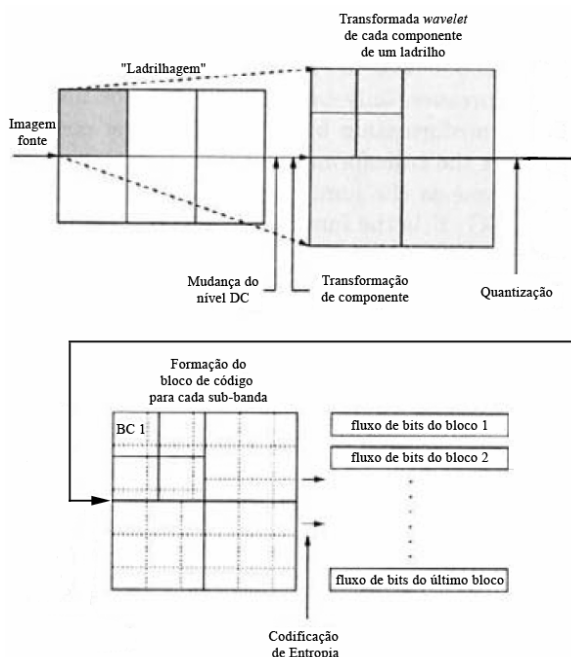


Fig. 1 Diagrama de blocos do fluxo de dados do codificador JPEG2000.

Coding with Optimal Truncation) [17,18]. Os fluxos de bits dos blocos de código individuais são então agrupados para formar o fluxo de código do JPEG2000. A Figura 1 mostra um diagrama adaptado [16] do fluxo de dados do codificador JPEG2000.

B. Compressão de sinais de EMG utilizando JPEG2000

Para obter uma avaliação fidedigna do desempenho do padrão de JPEG2000 na compressão de sinais eletromiográficos, foram coletados sinais de EMG em contração isométrica. A idade média dos sujeitos submetidos aos testes foi de 28,3 anos e desvio-padrão de 9.5 anos. A altura média dos sujeitos foi de 1,75 m com desvio padrão de 4,08 cm, e seu peso médio era 690.90 N com desvio padrão de 64.26 N ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$).

Um sistema de digitalização de sinais com 12 bits e com frequência de amostragem programada para 2 kHz da National Instruments (LabVIEW) foi usado para aquisição tanto do sinal eletromiográfico de um único canal como da contração voluntária dos sujeitos em teste. Antes de iniciarse a coleta do sinal eletromiográfico, foi estabelecida, para cada sujeito, a contração voluntária máxima (CVM); os sinais foram coletados de forma que cada sujeito gerasse uma força igual a 60% da CVM na posição em pé e com ângulo de 90° no cotovelo do braço direito.

Intervalos de sinal sabidamente espúrios antes do início da contração, assim como aqueles ao fim da aquisição do sinal, no quais já não se sustenta a contração voluntária, são descartados antes mesmo que se execute efetivamente o algoritmo. A idéia principal do algoritmo aqui proposto é segmentar um sinal de EMG isométrico em janelas de 512 amostras e arranjá-las de forma adjacente para formar matrizes bidimensionais. A quantidade de janelas que compõe cada imagem é conseguida descartando-se as amostras finais do sinal de EMG que não são suficientes para completar a última janela, de modo que todas as amostras do sinal a ser codificado sejam representativas.

O sinal, quantizado com 12 bits, teve suas amostras convertidas para a faixa de 0 a 255 como pré-requisito para a utilização do JPEG2000. Estas amostras arranjadas em duas dimensões foram codificadas a taxas que variaram de 0,03125 a 8 bits por pixel, que é o parâmetro de entrada do codificador. Após a reconstrução das matrizes originais a partir das imagens codificadas o sinal de EMG isométrico unidimensional foi recomposto de forma a calcular os índices de avaliação quantitativa e qualitativa do algoritmo de compressão, comparando este sinal reconstruído com o sinal original a 12 bits (já descartados os espúrios e as amostras que sobraram na última janela). A Figura 2 resume em um diagrama de blocos o esquema de codificação proposto.

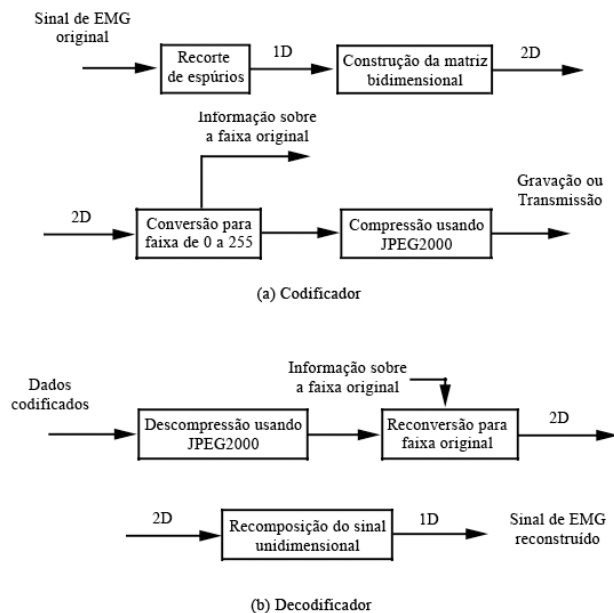


Fig. 2 Diagrama de blocos do algoritmo proposto.

III. RESULTADOS

O desempenho do algoritmo de compressão dos sinais de EMG foi mensurado objetivamente usando dois critérios: o fator de compressão (CF, do inglês, *compression factor*) e a raiz da diferença média percentual (PRD, do inglês, *percentage root mean difference*). Esses dois critérios são atualmente os mais utilizados pela comunidade científica para a avaliação da compressão de sinais de EMG. O fator de compressão é definido como:

$$CF = \frac{O_s - C_s}{O_s} \times 100\% \quad (1)$$

onde O_s é a quantidade de bits necessária para armazenar os dados originais e C_s é a quantidade de bits necessária para armazenar os dados comprimidos.

A raiz da diferença média percentual é definida como:

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

onde x é o sinal original, \hat{x} é o sinal reconstruído e N é o tamanho do seguimento de sinal.

Foram feitos testes com fatores de compressão variando entre 70% e 95% e mediu-se a PRD. A Figura 3 mostra o resultado de CF versus PRD para todos os sinais de EMG testados, bem como o resultado médio. À medida que se diminui a qualidade, o fator de compressão CF aumenta. Como resultado do aumento de CF, a raiz da diferença média percentual, PRD, permanece quase

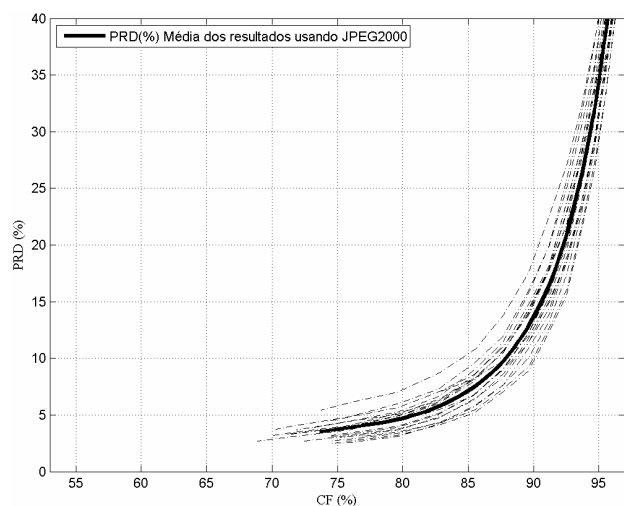


Fig. 3 CF vs. PRD para o algoritmo proposto.

inalterada até cerca de 85% de compressão. A partir desse ponto, qualquer pequeno aumento no fator de compressão ocasiona uma grande deterioração do sinal reconstruído após a decodificação. Esse comportamento já havia sido observado em [11].

IV. DISCUSSÃO

Na Tabela 1 apresentamos uma comparação de resultados entre o algoritmo apresentado neste trabalho e os trabalhos de Norris *et al.* [10] e Berger *et al.* [11] para valores de CF variando entre 75% e 90%. Observe que, para CF abaixo de 90%, os resultados do JPEG2000 são melhores que os resultados apresentados em [10] (onde se utiliza a compressão EZW). O JPEG2000 teve um desempenho um pouco inferior (quando comparamos a PRD para o mesmo CF) ao algoritmo proposto em [11]. Nesse caso faz-se necessário uma comparação da complexidade entre os dois algoritmos para determinar o melhor custo benefício na compressão dos sinais de EMG. Entretanto, uma vantagem da compressão empregando o JPEG2000 é que este é um algoritmo amplamente utilizado, de forma que se pode adaptar os atuais sistemas de transmissão de imagens digitais para a transmissão de sinais de EMG sem modificações significativas.

O algoritmo proposto por Norris *et al.* [10] foi testado com sinais de EMG medidos durante esforços de tensão isométricos e isotônicos. Os sinais de EMG isométricos foram medidos no músculo *biceps brachii*, amostrados a 2 kHz e quantizados com 12 bits. Então, à primeira vista, esses sinais são semelhantes aos utilizados no presente trabalho, embora seja possível que os sinais utilizados por Norris sejam significativamente diferentes daqueles utilizados nesta pesquisa. Portanto, a comparação feita nesta pesquisa deve ser avaliada de forma cautelosa.

A Figura 4 apresenta uma comparação da forma de onda de um sinal de EMG original e seu correspondente reconstruído após a decodificação com CF de 75%. Observe que em uma inspeção visual não é possível detectar diferenças significativas entre os dois sinais.

Tabela 1 Comparação entre os resultados alcançados e a bibliografia

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

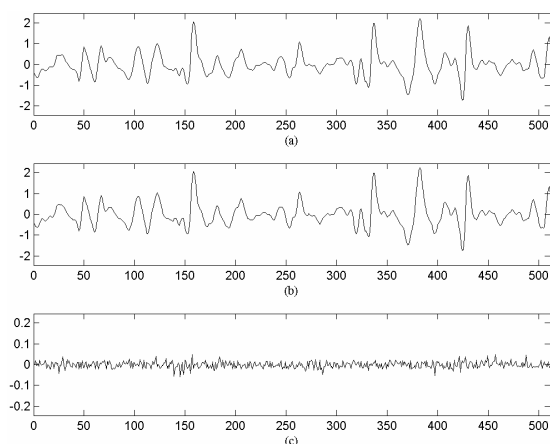


Fig. 4 (a) Trecho de sinal de EMG original (b) Trecho de sinal de EMG reconstruído após compressão com CF de 75% (c) Diferença entre o trecho de sinal original e o reconstruído.

V. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentada uma metodologia para a compressão de sinais de EMG utilizando um algoritmo de compressão de imagens digitais amplamente difundido, o JPEG2000. A compressão dos sinais de EMG foi avaliada com um conjunto de 19 sinais de EMG em esforços de tensão isométricos. Os resultados mostraram que esse esquema de codificação alcança fatores de compressão entre 75% e 90% com PRD entre 3,75% e 13,7%. Embora o JPEG2000 tenha sido desenvolvido para a compressão de imagens, mostrou-se que esse algoritmo pode ser utilizado para a compressão de sinais de EMG com um desempenho compatível aos algoritmos apresentados na bibliografia.

REFERÊNCIAS

- Merletti R, Parker P (2004) *Electromyography: Engineering and Noninvasive Applications*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey
- Basmajian V J, De Luca J C (1985) *Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography*. Williams & Wilkins, Baltimore
- Miaou S, Chao S (2005) Wavelet-Based Lossy-to-Lossless ECG Compression in a Unified Vector Quantization Framework. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. vol. 52, no. 3, 2005, pp. 539–543
- Lu Z, Kim Y D, Pearlman A W (2000) Wavelet compression of ECG signals by the set partitioning in hierarchical trees algorithm. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. vol. 47, no. 7, 2000, pp. 849–856
- Hilton M L (1997) Wavelet and wavelet packet compression of electrocardiograms. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 44, 1997, pp. 394–402
- Antoniol G L, Tonella P (1997) EEG data compression techniques. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 44, 1997, pp. 105–114
- 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, 1995, pp. 629–635
- Guerrero A, Maihes C (1997) On the choice of an electromyogram data compression. *Proc. 19th Annual Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine Biology Society*, 1997, pp. 1558–1561
- Wellig P, Zhenlan C, Semling M and Moschytz G S (1998) Electromyogram data compression using single-tree and modified zero-tree wavelet encoding. *Proc 20th Annual. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine Biology Society*, 1998, pp. 1303–1306.
- Norris J A, Englehart K, Lovely D F (2001) Steady-state and dynamic myoelectric signal compression using embedded zero-tree wavelets. *Proc 23rd Annual. Int. Conf. IEEE Engineering in Medicine Biology Society*, 2001, pp. 1879–1882
- 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, 2006, pp. 457–465
- Bilgin A, Marcellin M W, Altbach M I (2003) Compression of Electrocardiogram Signals using JPEG2000. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. vol. 49, no. 4, 2003, pp. 833–840
- Bilgin A, Marcellin M W, Altbach M I (2004) Wavelet Compression of ECG Signals by JPEG2000. *Data Compression Conference (DCC '04)*, p. 527
- ISO/IEC (2000) JPEG2000 Part 1 Final Draft International Standard, JTC1/SC29/WG1, Doc. No N1855, 2000.
- Taubman D S, Marcellin M W (2001) *JPEG2000: Image compression fundamentals, standards and practice*, Kluwer Academic Publishers, Boston
- Acharya, T, Tsai P-S (2004) *JPEG2000 Standard for Image Compression: Concepts, Algorithms and VLSI Architectures*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey
- Taubman D S, Ordentlich E, Weinberger M, Seroussi G. (2002) Embedded block coding in JPEG 2000, *Signal Processing Image Communication*, vol 17, no. 1, pp 49–72.
- Taubman D (2000) High performance scalable image compression with EBCOT, *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 9, no. 7, pp. 1151–1170.

Author: Marcus Vinícius Chaffim Costa
 Institute: Grupo de Processamento Digital de Sinais (GPDS) – Departamento de Engenharia Elétrica (ENE) – Universidade de Brasília (UnB)
 Street: Campus Universitário Darcy Ribeiro
 City: Brasília
 Country: Brasil
 Email: chaffim@gmail.com