

Compressão de Sinais Eletromiográficos Baseada em Técnicas Bidimensionais

Wheidima Carneiro de Melo, Eddie Batista de Lima Filho e Waldir Sabino da Silva Júnior

Resumo—Recentemente, técnicas bidimensionais começaram a ser empregadas na codificação de sinais resultantes de exames de eletromiografia de superfície (surface electromyography – S-EMG), através do uso de codificadores de imagem comerciais para a sua compressão. O presente artigo aborda esse assunto, apresentando uma investigação relacionada ao desempenho de alguns codificadores de imagem e vídeo, quando aplicados à compressão de sinais de S-EMG. Além disso, uma nova técnica de pré-processamento é introduzida: a ordenação por distância euclidiana (ODE), que tem o potencial de melhorar a exploração de correlações intersegmento, normalmente presentes em registros de S-EMG processados como imagens. Os experimentos foram realizados com registros isométricos reais adquiridos em laboratório, os quais foram primeiramente pré-processados e então comprimidos com os algoritmos JPEG2000, H.264/AVC e codificação de vídeo de alta eficiência (high efficiency video coding – HEVC). Após uma breve análise dos resultados, é possível perceber que o esquema proposto é eficaz, dado que as combinações entre a técnica ODE e os algoritmos JPEG2000 e HEVC superam o estado da arte em compressão de S-EMG, em termos de distorção \times taxa de compressão.

Palavras-Chave—S-EMG, HEVC, Eletromiografia, Compressão de dados.

Abstract—Recently, two-dimensional techniques have been successfully employed for encoding surface-electromyography (S-EMG) records, through the use of commercial image encoders as an efficient alternative for that kind of signal. This paper presents an investigation regarding the performance of video and image encoders, when used for compressing S-EMG signals. In addition, a new preprocessing technique is introduced, called euclidean distance sorting (EDS), which has the potential to improve the exploitation of intersegment correlations that commonly exist in S-EMG records, when they rearranged as images. The experiments were carried out with real isometric records acquired in laboratory, which were first preprocessed and then compressed with the JPEG2000, H.264/AVC, and high efficiency video coding (HEVC) algorithms. One can easily note that the proposed scheme is effective, given that the combination of EDS and the JPEG2000 and HEVC algorithms even outperform state-of-the-art S-EMG compression schemes, in terms of distortion \times compression ratio.

Keywords—S-EMG, HEVC, Electromyographic, Data compression.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, a eletromiografia de superfície (surface electromyography – S-EMG) configura como uma abordagem interessante para o estudo e diagnóstico de patologias relacionadas

Wheidima Carneiro de Melo[‡], Eddie Batista de Lima Filho^{*†} e Waldir Sabino da Silva Júnior^{*}. [‡]Escola Superior de Tecnologia, Universidade do Estado do Amazonas - UEA, Av. Darcy Vargas, 1200, Manaus - AM, 69050-020, Brasil. ^{*}Universidade Federal do Amazonas - UFAM, Av. Gen. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Manaus - AM, 69077-000, Brasil. [†]Centro de Ciência, Tecnologia e Inovação do Pólo Industrial de Manaus – CT-PIM, Rua Salvador, 391, Adrianópolis, Manaus-AM, 69057-040, Brasil. E-mails: wheidimawcm@gmail.com, eddie@ctpim.org.br, waldirsabino@gmail.com.

aos músculos do corpo humano [1], [2], o monitoramento de pacientes [3] e a ativação de interfaces de controle [4], devido à sua característica não invasiva. De fato, este procedimento atraiu bastante atenção nos últimos anos, principalmente devido ao desenvolvimento de novas técnicas de processamento digital de sinais, o que proporciona novos paradigmas e aplicações.

O sinal de S-EMG registra a atividade elétrica responsável por controlar a contração de músculos no corpo humano, ou seja, ele representa diretamente os impulsos elétricos enviados pelo sistema nervoso às fibras musculares. Vale ressaltar que sinais de S-EMG são gerados mesmo que um dado membro não esteja mais presente [5], o que pode ser utilizado para desencadear ações similares.

Quando sinais de S-EMG são adquiridos, é necessário escolher parâmetros como taxa de amostragem, número de bits, número de canais e duração do exame, o que tem um impacto direto nos recursos necessários para transmissão e armazenamento, além de denunciar a necessidade de métodos de compressão eficientes.

Embora registros de S-EMG sejam inicialmente unidimensionais, alguns algoritmos empregam uma abordagem diferente para a sua compressão: processar as amostras de sinal como dados bidimensionais [6]. Em resumo, o sinal é pré-processado e então destinado a um compressor de imagem/vídeo, que é responsável por explorar as redundâncias intra e intersegmento.

Este trabalho propõe uma metodologia para a compressão de sinais de S-EMG como imagens, apresentando resultados para três codificadores diferentes: JPEG2000 [7], H.264/AVC [8] e codificação de alta eficiência (high efficiency video coding – HEVC) [9]. Além disso, uma nova técnica de pré-processamento é introduzida, chamada de ordenação por distância euclidiana, cujo objetivo é melhorar a exploração das redundâncias intersegmento.

O restante do artigo está organizado como segue. Na Seção II, a ordenação por distância euclidiana é discutida. Na Seção III, a metodologia de codificação proposta é apresentada, de tal modo que o papel de cada componente é brevemente explicado. Resultados experimentais são apresentados na Seção IV, com sinais de S-EMG reais obtidos em laboratório. Finalmente, a Seção V mostra as conclusões do presente trabalho.

II. A ORDENAÇÃO POR DISTÂNCIA EUCLIDIANA

Compressores de imagem e vídeo são geralmente otimizados para imagens naturais, as quais são muito diferentes de imagens de S-EMG. Na verdade, o registro de S-EMG de entrada é segmentado e rearranjado em uma matriz, que

inicialmente aparenta ser algum tipo de ruído [10], como pode ser visto na Figura 1(a). Sendo assim, o objetivo primário de qualquer técnica de pré-processamento aplicada a imagens de S-EMG é gerar uma representação mais amigável ao codificador, de modo que os algoritmos de compressão bidimensionais disponíveis sejam capazes de explorar, de forma eficiente, as redundâncias existentes no sinal.

Vale ressaltar que também é necessário se levar em consideração que, normalmente, a representação intermediária gerada pode necessitar de informação adicional. Por exemplo, para que uma técnica de pré-processamento que reordena segmentos do sinal de entrada seja utilizada, qualquer esquema de compressão deve também transmitir informação auxiliar, a qual contém a posição original de cada segmento, de tal modo que o decodificador possa realizar o procedimento inverso. Portanto, se uma dada técnica não aumentar as correlações intersegmento do sinal de forma eficiente, de modo a compensar a informação adicional, o desempenho global resultante poderá ser menor que o original.

A técnica de pré-processamento proposta consiste em um procedimento de reordenação, chamado de ordenação por distância euclidiana (ODE), cujo objetivo é reorganizar segmentos de sinal, com base em suas similaridades. O procedimento é realizado de acordo com a distância euclidiana

$$DE(x, y) = \sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} (x[n] - y[n])^2}, \quad (1)$$

em que $DE(x, y)$ é a métrica de distância euclidiana, computada para os segmentos x e y , $x[n]$ é o último segmento que foi reposicionado, $y[n]$ é o segmento sob análise e N é o número de amostras em cada segmento. O procedimento de ODE inicia com a colocação, na primeira coluna da matriz de imagem, do segmento que apresenta a menor variância. Após isso, os segmentos restantes são reposicionados nas demais colunas, de acordo com as suas distâncias euclidianas, calculadas a partir de (1).

Um exemplo da técnica proposta está mostrado na Figura 1(b). É possível notar que a nova imagem de S-EMG apresenta uma textura mais organizada, cuja complexidade aumenta da esquerda para a direita. Além disso, áreas homogêneas maiores podem ser encontradas na parte esquerda da imagem mencionada. Como consequência, o codificador bidimensional será favorecido, o que também resultará em uma representação mais compacta.

III. A ARQUITETURA DE COMPRESSÃO PROPOSTA

A metodologia de compressão proposta é composta por três passos, como mostrado na Figura 2: criação da matriz de imagem, pré-processamento e compressão de imagem. O passo de criação da matriz de imagem particiona o sinal de S-EMG de entrada, de modo que o número de amostras em cada segmento resultante seja igual a 128. Assim, cada segmento é colocado em uma coluna da nova matriz de S-EMG, da esquerda para a direita. Após isso, a matriz resultante é reorganizada, de acordo com o algoritmo de ODE, e uma lista de índices de coluna é gerada, a qual é codificada com um compressor aritmético e transmitida como informação auxiliar.

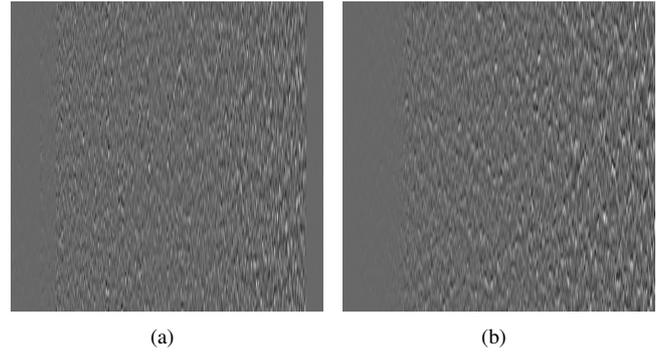


Fig. 1. Exemplo relativo à técnica de ordenação por distância euclidiana: (a) matriz original e (b) matriz reordenada.

No último passo, o sinal bidimensional resultante é codificado com um de três codificadores disponíveis: JPEG2000, H.264/AVC, e HEVC. No decodificador, todos os passos apresentados são realizados em ordem reversa (*i.e.*, decodificação, reordenação na forma original e concatenação de segmento), como mostrado na Figura 2, através do uso da informação auxiliar, que carrega as posições originais dos segmentos de sinal.

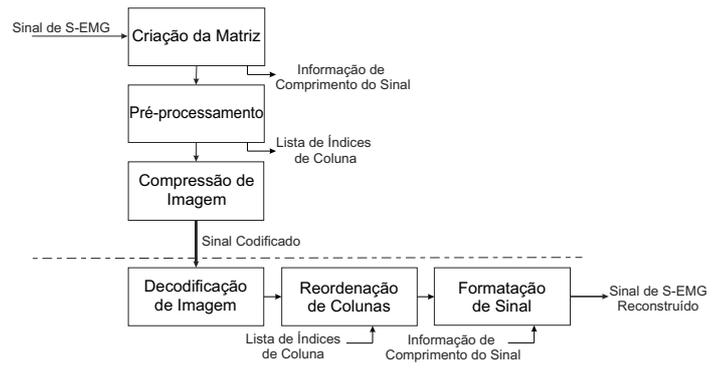


Fig. 2. Diagrama em blocos da arquitetura proposta.

Neste trabalho, o codificador HEVC é empregado na compressão de sinais eletromiográficos. O HEVC é um novo padrão de codificação de vídeo, o qual proporciona grandes melhorias quando comparado ao seu predecessor, isto é, o H.264/AVC [11]. Embora o HEVC tenha sido desenvolvido para aplicações de compressão de vídeo, ele também pode ser aplicado a imagens, através do uso das suas ferramentas de compressão no modo intraquadro. Como consequência, obtêm-se resultados no estado da arte, que são até mesmo melhores que os apresentados por codificadores de imagem comerciais, baseados em transformadas [12].

Normalmente, métodos de compressão aplicados a sinais de S-EMG são baseados em técnicas unidimensionais [13], [14], [15], [16], porém, alguns estudos propõem esquemas baseados nos algoritmos JPEG2000 e H.264/AVC [6], [17], com resultados competitivos. Sendo assim, uma investigação do desempenho do HEVC, quando aplicado à compressão de sinais eletromiográficos, é completamente justificável e até mesmo necessária.

O esquema de compressão do codificador HEVC é baseado

no paradigma de transformação-quantização-codificação, com mecanismos de segmentação flexível e técnicas de predição [9]. Inicialmente, o HEVC segmenta a imagem de entrada em blocos quadrados, porém, durante o procedimento de codificação, cada bloco resultante pode ser novamente segmentado, em blocos quadrados ou retangulares menores, de acordo com a necessidade. A redundância espacial é explorada através do uso de técnicas de predição, e o resíduo resultante é convertido para o domínio da frequência, através da transformada discreta do cosseno (*discrete cosine transform* – DCT). Na verdade, a transformada utilizada no HEVC é uma aproximação, com precisão finita, da DCT [18]. Os coeficientes de frequência resultantes são então quantizados e codificados com um codificador de entropia, com o objetivo de explorar a sua correlação estatística [9].

IV. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

De modo a se avaliar o esquema proposto, testes com sinais de S-EMG, adquiridos do biceps braquial de 13 pacientes, foram realizados. Os sinais de teste mencionados foram coletados durante atividades isométricas, onde cada paciente permaneceu sentado, com o seu antebraço paralelo ao tronco e sustentando 60% de contração voluntária máxima. Os registros resultantes apresentam durações variando de 1, 3 a 3, 0 minutos e foram digitalizados a 2000 Hz, com 12 bits de resolução, o que é uma prática comum nessa área [6], [13], [15].

Cada sinal de teste foi convertido em uma imagem e codificado pelos compressores JPEG2000 (versão Kakadu) [19], H.264/AVC (software de referência JM 18.6) [20] e HEVC (software de referência HM 16.2) [21]. O codificador JPEG2000 foi utilizado com passo de quantização de 0.000025, 16 bits por pixel e *wavelet cohen-daubechies-feauveau 9/7*. O codificador H.264/AVC foi utilizado no modo intraquadro e com perfil FRExt High 100, otimização taxa-distorção, codificação aritmética binária adaptativa por contextos e filtro de deblocação. O codificador HEVC foi empregado no modo intraquadro, com quantização por otimização taxa-distorção e filtro de deblocação.

A qualidade dos sinais reconstruídos foi medida com curvas de diferença quadrática média percentual (*percent root mean square difference* – PRD) *versus* fator de compressão (*compression factor* – CF). O PRD é definido como

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

em que $x[i]$ é o sinal original, $\hat{x}[i]$ é o sinal reconstruído e N é o número de amostras em cada sinal. O CF é definido como

$$CF = \frac{B_o - B_c}{B_o} \times 100, \quad (3)$$

onde B_o é o número total de bits, do sinal original, e B_c é o número total de bits, no sinal comprimido. Como a profundidade de bits (número de bits por amostra) utilizada nos sinais de teste é igual a 12, $B_o = 12 \times N$.

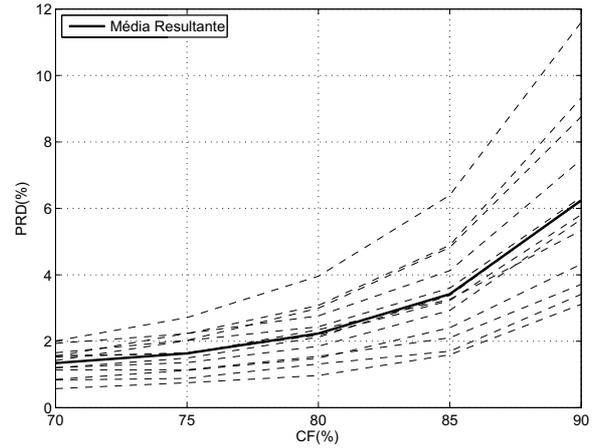


Fig. 3. Resultados de simulações para o codificador HEVC.

Resultados de PRD \times CF para todos os 13 sinais de teste, usando o esquema de compressão proposto com HEVC e ODE, são apresentados na Figura 3, juntamente com uma curva de desempenho médio. É possível notar que quando o CF é aumentado, a qualidade dos sinais reconstruídos diminui. Além disso, para taxas de compressão abaixo de 86%, o esquema proposto proporciona uma figura de PRD aceitável ($< 7\%$) [15], o que é geralmente suficiente para não comprometer o procedimento de diagnóstico.

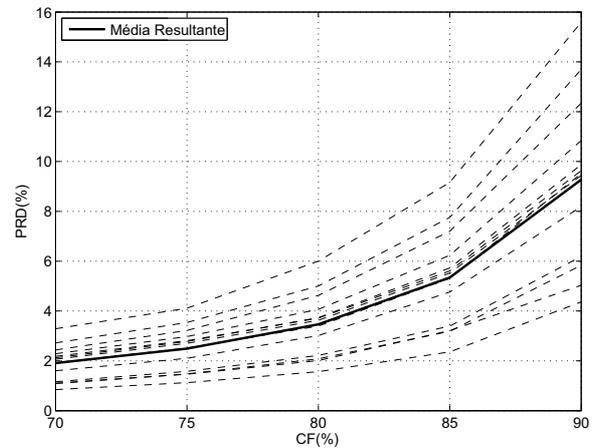


Fig. 4. Resultados de simulações para o codificador H.264/AVC.

Os resultados mostrados na Figura 4 foram obtidos através do codificador H.264/AVC, juntamente com a ODE. Nesse caso, o esquema proposto proporcionou, para valores de CF abaixo de 81%, figuras de PRD abaixo de 7%. Finalmente, a combinação entre JPEG2000 e a técnica de ODE foi usada para gerar os resultados da Figura 5. O esquema de compressão alcançou, para valores de CF abaixo de 84%, figuras de PRD abaixo de 7%.

Com o objetivo de avaliar o desempenho da técnica de pré-processamento proposta, resultados médios também foram obtidos, conforme mostrado na Tabela I, com e sem o algoritmo de ODE. Conforme é possível notar, a técnica de ODE melhorou a exploração das dependências intersegmento, o que aumentou a eficácia de cada codificador testado. Entretanto,

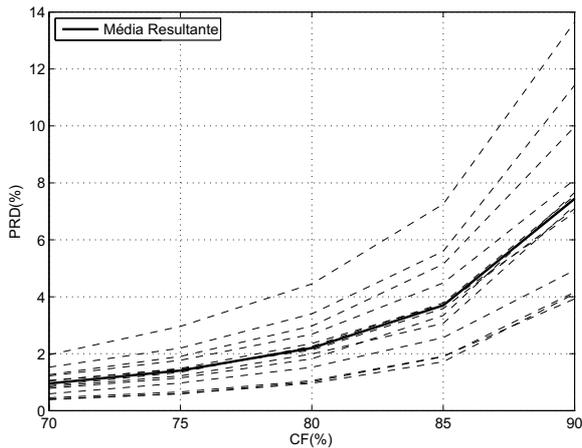


Fig. 5. Resultados de simulações para o codificador JPEG2000.

TABELA I

RESULTADOS DE $PRD(\%)$ MÉDIO PARA O ESQUEMA PROPOSTO, COM E SEM A TÉCNICA DE ODE.

Taxa de compressão	70%	75%	80%	85%	90%
JPEG2000	1,016	1,552	2,402	4,004	7,913
ODE+JPEG2000	0,955	1,409	2,201	3,698	7,445
H.264/AVC	2,182	2,879	3,943	5,861	9,884
ODE+H.264/AVC	1,909	2,491	3,466	5,342	9,273
HEVC	1,365	1,639	2,254	3,438	6,266
ODE+HEVC	1,343	1,634	2,234	3,417	6,238

o aumento de desempenho para o codificador HEVC foi apenas marginal, significando que, para sinais isométricos, apenas reorganizar o sinal em uma matriz bidimensional e codificar com o HEVC pode ser suficiente, embora haja ganhos significativos para alguns sinais específicos. Além disso, a combinação entre a técnica de ODE e o codificador JPEG2000 alcançou os melhores resultados, para valores de CF abaixo de 85%, enquanto que a combinação da técnica proposta com o codificador HEVC gerou os melhores resultados para valores acima de 80%. Vale ressaltar que a combinação entre a técnica de ODE e o codificador JPEG2000 superou o HEVC, para um CF de 80%, o que aconteceu apenas devido ao algoritmo de ODE.

TABELA II

RESULTADOS DE $PRD(\%)$ MÉDIO PARA O ESQUEMA PROPOSTO E TAMBÉM PARA ALGUNS ALGORITMOS EXISTENTES NA LITERATURA.

Taxa de compressão	75%	80%	85%	90%
Norris <i>et al</i> [14]	3,8	5	7,8	13
Berger <i>et al</i> [13]	2,5	3,3	6,5	13
Chaffim <i>et al</i> (JPEG2000) [6]	3,50	4,48	6,92	13,44
Chaffim <i>et al</i> (H.264/AVC) [6]	5,37	6,90	9,93	16,62
Trabuco <i>et al</i> [22]	2,22	2,52	3,31	6,88
Filho <i>et al</i> [15]	1,61	2,51	4,13	7,36
ODE+JPEG2000	1,409	2,201	3,698	7,445
ODE+H.264/AVC	2,491	3,466	5,342	9,273
ODE+HEVC	1,634	2,234	3,417	6,238

Resultados médios para métodos que representam o estado da arte existente na literatura da área, assim como resultados obtidos com o método proposto, são mostrados na Tabela II. O esquema proposto superou os outros métodos avaliados para valores de CF de 75% e 80%, usando ODE+JPEG2000, e também para um CF de 90%, empregando ODE+HEVC,

além de ser competitivo com o estado da arte para um CF de 85%, com ODE+HEVC. O método apresentado por Norris *et al* [14] usa um algoritmo *Embedded Zerotrees of Wavelet transforms* (EZW) modificado. O esquema criado por Berger *et al* [13] é baseado em *wavelets* e alocação dinâmica de bits. Trabuco *et al* [22] apresentam um esquema similar ao anterior, onde a alocação de bits é realizado por *spectral shape models* e adiciona-se uma etapa de codificação por entropia, a qual proporciona o melhor resultado para um CF de 85%. A abordagem proposta por Filho *et al* [15], por sua vez, emprega padrões recorrentes, ou seja, ela aproxima segmentos de sinal por elementos presentes em um dicionário adaptativo. Chaffim *et al* [6] criaram uma abordagem similar à apresentada neste trabalho, mas empregaram diferentes técnicas de pré-processamento.

Em resumo, o codificador HEVC apresentou bons resultados para altas taxas de compressão (CF acima de 80%), enquanto que codificador JPEG2000, em conjunto com a técnica de ODE, apresentou os melhores resultados para baixas taxas de compressão (CF abaixo de 85%). De fato, ambos poderiam ser empregados para toda a faixa de taxas de compressão, o que dependeria da aplicação desejada. Além disso, é possível notar que a metodologia proposta superou a apresentada por Chaffim *et al* [6], que também é baseada em codificadores H.264/AVC, JPEG2000 e técnicas de pré-processamento.

V. CONCLUSÕES

Os codificadores JPEG2000 e HEVC podem ser considerados como alternativas eficazes para a compressão de sinais eletromiográficos de superfície, com desempenhos no estado da arte para taxas de compressão de 75% a 80% e 85% a 90%, respectivamente. Além disso, a técnica de pré-processamento proposta, chamada de ordenação por distância euclidiana, é capaz de melhorar a exploração das correlações intersegmento, dependendo do codificador escolhido, como pode ser visto na Tabela I. Durante as simulações realizadas para se validar a metodologia proposta, a técnica de ODE combinada aos codificadores JPEG2000 e HEVC geraram esquemas que superam métodos no estado da arte, existentes na literatura. Vale ressaltar que o esquema proposto pode ser usado com outros codificadores de imagem/vídeo e técnicas de pré-processamento, ou seja, a metodologia pode ser empregada juntamente com ferramentas adequadas a aplicações específicas.

Atualmente, esquemas de processamento de sinais de S-EMG como imagens parecem estar maduros o suficiente para aplicações comerciais. Além dos resultados apresentados neste trabalho, é possível notar que tais abordagens tem o potencial de proporcionar desenvolvimento e disseminação extremamente rápidos, dado que algoritmos como o JPEG2000 e também o HEVC podem já estar disponíveis na plataforma escolhida.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Professor Dr. Pedro Berger, por disponibilizar os sinais de teste utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- dynamic bit allocation,” *BioMedical Engineering OnLine*, vol. 13, pp. 22, Feb. 2014.
- [1] R. Merletti and P. Parker, *Electromyography: Engineering and Noninvasive Applications*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2004.
 - [2] F. Farfan, J. Politti and C. Felice, “Evaluation of EMG processing techniques using Information Theory,” *Biomedical Engineering Online*, vol. 9, no. 1, pp. 72, Nov. 2010.
 - [3] C. C. Anselmi and K. H. Edelmoser, “Long term ECG/EMG monitoring system,” in *Proc. of the 18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 11-12, Oct. 1996.
 - [4] T. Hoshino, M. Tomono, R. Furusawa, T. Suzuki, M. Shimojo and K. Mabuchi, “Development of a Motion Support System by Using an Electromyogram,” in *Proc. of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 5, pp. 4432-4437, The Hague, The Netherlands, Oct. 2004.
 - [5] M. Gauthaam and S. S. Kumar, “EMG Controlled Bionic Arm,” in *Proc. of the National Conference on Innovations in Emerging Technology*, pp. 111-114, Erode, India, Feb. 2011.
 - [6] M. V. C. Costa, J. L. A. Carvalho, P. A. Berger, A. Zaghetto and A. F. da Rocha and F. A. O. Nascimento, “Two-dimensional compression of surface electromyographic signals using column-correlation sorting and image encoders,” in *Proc. of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 428-431, Minneapolis, USA, Sep. 2009.
 - [7] D. S. Taubman and M. W. Marcellin, *JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.
 - [8] T. Wiegand, G. J. Sullivan, G. Bjontegaard and A. Luthra, “Overview of the H.264/AVC video coding standard,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 13, no 7, pp. 560-576, Jul. 2003.
 - [9] G. J. Sullivan, J. Ohm, Woo-Jin Han and T. Wiegand, “Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 22, no. 12, pp. 1649-1668, Dec. 2012.
 - [10] K. Nazarpour, A. R. Sharafat, and S. M. Firoozabadi, “Negentropy Analysis of Surface Electromyogram Signal” in *Proc. of the 13th IEEE Workshop on Statistical Signal Processing*, pp. 974-977, Novosibirsk, Russia, Jul. 2005.
 - [11] M. T. Pourazad, C. Doutre, M. Azimiand and P. Nasiopoulos, “HEVC: The New Gold Standard for Video Compression: How Does HEVC Compare with H.264/AVC?,” *IEEE Consumer Electronics Magazine*, vol. 1, no. 3, pp. 36-46, Jul. 2012.
 - [12] T. Nguyen and D. Marpe, “Performance analysis of HEVC-based intra coding for still image compression,” in *Proc. of the Picture Coding Symposium (PCS)*, pp. 233-236, Krakow, Poland, 2012.
 - [13] P. A. Berger, F. A. O. Nascimento, J. C. Carmo, and A. F. Rocha, “Compression of EMG signals with wavelet transform and artificial neural networks,” *Institute of Physics Publishing: Physiological Measurement*, vol. 27, no. 6, pp. 457-465, Jun. 2006.
 - [14] J. A. Norris, K. Englehart, and D. Lovely, “Steady-state and dynamic myoelectric signal compression using embedded zero-tree wavelets,” in *Proc. of the 23rd Annual EMBS International Conference*, pp.1879-1882, Buenos Aires, Argentina, Oct. 2001.
 - [15] E. B. L. Filho, E. A. B. Silva and M. B. Carvalho, “On EMG Signal Compression with Recurrent Patterns”, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 55, no. 7, pp. 1920-1923, Jul. 2008.
 - [16] E. S. G. Carotti, J. C. De Martin, R. Merletti and D. Farina, “Compression of surface EMG signals with algebraic code excited linear prediction,” in *Proc. of the IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 03, pp. 1148-1151, Toulouse, France, May 2006.
 - [17] M. V. C. Costa, P. A. Berger, A. F. da Rocha, J. L. A. Carvalho, and F. A. O. Nascimento, “Compression of Electromyographic Signals Using Image Compression Techniques,” in *Proc. of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 2948-2951, Vancouver, Canada, Aug. 2008.
 - [18] V. Sze, M. Budagavi, and G. J. Sullivan, *High Efficiency Video Coding (HEVC): Algorithms and Architectures*. Springer, 2014.
 - [19] Kakadu Software, Software implementation of the JPEG2000 standard, online, <http://www.kakadusoftware.com/downloads>, accessed May 2015.
 - [20] K. Sühring, H.264/AVC Reference Software, online, <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/download/>, accessed May 2015.
 - [21] Fraunhofer Heinrich Hertz Institute, HEVC software repository, online, <https://hevc.hhi.fraunhofer.de/>, accessed May 2015.
 - [22] M. H. Trabuco, M. V. C. Costa and F. A. O. Nascimento, “S-EMG signal compression based on domain transformation and spectral shape