

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Telecomunicações
e Controle

ISSN 1517-3550

BT/PTC/0314

Reconhecimento do Sinal Mioelétrico
Aplicado à Engenharia de Reabilitação

Leonardo Pinheiro da Silva
Fuad Kassab Jr.

São Paulo – 2003

1376188

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Leonardo Pinheiro da Silva, sob orientação do Prof. Dr. Fuad Kassab Jr.: "Reconhecimento do Sinal Mioelétrico Aplicado à Engenharia de Reabilitação", defendida em 18/06/03, na Escola Politécnica.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

FICHA CATALOGráfICA

Silva, Leonardo Pinheiro da

Reconhecimento do sinal mioelétrico aplicado à engenharia de reabilitação / Leonardo Pinheiro da Silva, Fuad Kassab Jr.. -- São Paulo : EPUSP, 2003.

8 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle ; BT/PTC/0314)

Bioengenharia 2. Reconhecimento de padrões 3. Processamento de sinais biomédicos 4. Reabilitação I. Kassab Junior, Fuad II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle III. Título IV. Série
ISSN 1517-3550

CDD 610.28

006.4

621.3822

617.06

RECONHECIMENTO DO SINAL MIOELÉTRICO APLICADO À ENGENHARIA DE REABILITAÇÃO

(Myoelectric Signal Recognition Applied to Rehabilitation Engineering)

Leonardo Pinheiro da Silva; Fuad Kassab Jr.
Laboratório de Automação e Controle
Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle
Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

RESUMO

Vários estudos são realizados buscando o controle de dispositivos prostéticos com o uso do sinal mioelétrico captado na porção remanescente do membro de indivíduos amputados. Este trabalho investiga a viabilidade de reconhecimento do sinal mioelétrico pelo processamento e análise da densidade espectral de potência (PSD) deste sinal. Conforme mostrado neste texto, o adequado reconhecimento de quatro diferentes classes de sinal mioelétrico foi conseguido com o uso desta metodologia, estando cada uma destas classes associada a um diferente movimento da mão. Os dados utilizados neste trabalho foram adquiridos com o uso de dois eletrodos de superfície posicionados no antebraço, e somente a densidade espectral de potência dos sinais, normalizada, foi utilizada durante as fases de projeto e teste aqui descritas. O algoritmo apresentado foi desenvolvido de forma que sua computação em tempo real pudesse ser conseguida, para possibilitar sua implementação prática. Ademais, como uma normalização da PSD é realizada antes do reconhecimento do sinal, a intensidade absoluta do sinal não é considerada, o que deve permitir alguma insensibilidade a flutuações na impedância de contato entre os eletrodos e a superfície do membro.

ABSTRACT

Many studies are accomplished aiming the control of prosthetic devices using the

myoelectric signal acquired on the remaining member of amputees. This work investigates the viability of myoelectric signal recognition by processing and analyzing the power spectral density of this signal. As shown in this text, the proper recognition of four distinct myoelectric signal classes was achieved using this methodology, being each of these classes associated to a different hand motion. Data used in this work were acquired by two dry surface electrodes placed on the forearm, and only the normalized power spectral densities of the signals were used during the project and evaluation phases here described. The algorithm presented has been designed to allow real time evaluation, for practical implementation feasibility. Moreover, since PSD normalization is evaluated before the recognition phase, every dependency to the absolute signal intensity is discarded, allowing the algorithm to ensure some insensibility to impedance fluctuations occurring on the interfaces between the surface electrodes and the skin.

Palavras-Chave

EMG; engenharia biomédica; reabilitação; eletromiografia; processamento de sinais biológicos; reconhecimento de padrões

1. Introdução

O processamento e o reconhecimento de sinais biológicos têm se mostrado importantes ferramentas na área de

reabilitação, e particularmente o sinal mioelétrico tem sido bastante estudado desde a década de 60 (NISHIKAWA, 2001). A pesquisa por controle inteligente de próteses baseada no adequado reconhecimento deste sinal evoluiu principalmente nas últimas duas décadas, após a introdução de redes neurais artificiais na metodologia de classificação (NISHIKAWA, 2001). Em aplicações voltadas à reabilitação, o sinal mioelétrico é mais convenientemente captado com o uso de eletrodos de superfície, não invasivos. O sinal adquirido desta forma, no entanto, é fortemente dependente da impedância de contato entre os eletrodos utilizados e a superfície do membro. Como esta impedância é em geral pouco estável, o sinal mioelétrico resultante costuma, conseqüentemente, apresentar variação significativa de intensidade ao longo do tempo. Desta forma, para uma classificação automática deste sinal, é conveniente que o uso de características fortemente relacionadas à sua intensidade seja evitado.

Por outro lado, os tecidos existentes entre os eletrodos de superfície e as fibras musculares em contração levam a uma filtragem do sinal mioelétrico adquirido. Especificamente, estes tecidos atuam como um filtro passa-baixas sobre o sinal, sendo seu efeito dependente principalmente do tipo e espessura destes tecidos (GYGI; MOSCHYTZ, 1997). A densidade espectral de potência (PSD) destes sinais pode fornecer, portanto, informação sobre a posição relativa das fibras musculares em atividade com relação à posição dos eletrodos utilizados na captação. Esta informação pode ser utilizada na classificação do sinal e, portanto, na identificação do movimento intencionado pelo indivíduo. Ademais, considerando-se a densidade espectral de potência normalizada (isto é, trabalhando-se apenas com a porcentagem de potência do sinal em cada faixa de frequências), pode-se obter um conjunto de características do sinal independente de sua intensidade, o que satisfaz a referida imposição relacionada à robustez de classificação do sinal. Este trabalho procura confirmar a viabilidade desta metodologia de reconhecimento. Inicialmente, a PDS normalizada (chamada de nPSD a partir deste ponto) de sinais mioelétricos de diferentes classes foi

analisada qualitativamente. Em seguida, um classificador neural foi treinado para decidir a classe de sinais mioelétricos com base unicamente nestas características. Os dados experimentais utilizados neste trabalho foram adquiridos no antebraço durante a realização de quatro diferentes movimentos da mão - abertura e fechamento da mão e extensão e flexão do punho. Dois canais, cada um associado a um eletrodo de superfície, foram utilizados, ambos posicionados na região proximal do antebraço, próximo ao cotovelo. A taxa de amostragem utilizada foi de 600Hz.

2. Análise Qualitativa da PSD

Utilizando a metodologia proposta neste trabalho, o que se intenciona é o reconhecimento em tempo real de um sinal mioelétrico de duração arbitrária, através da análise de uma estimativa de sua nPSD a cada instante (isto é, durante cada intervalo de amostragem). Aqui, a estimativa da nPSD é calculada através da FFT das últimas N amostras de sinal. Especificamente, 64 amostras foram utilizadas neste trabalho, o que equivale a aproximadamente 100ms de sinal, dada a taxa de amostragem utilizada. De fato, foi percebido inicialmente que, ao menos em média, as nPSDs calculadas a partir de segmentos de sinal desta dimensão se mostraram significativamente distintas, para cada uma das diferentes classes de sinal estudadas.

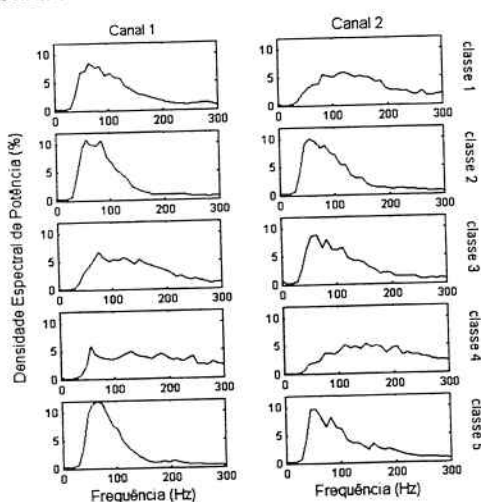


Figura 1 - PDS normalizada, para quatro classes de sinal mioelétrico

Este resultado é mostrado na figura 1, onde pode-se observar as nPSDs médias associadas aos sinais captados durante (1) extensão dos dedos, (2) flexão dos dedos, (3) extensão de punho, e (4) flexão de punho. O canal 1 refere-se ao eletrodo localizado do lado ulnar do antebraço, enquanto o canal 2 refere-se ao eletrodo posicionado do lado radial.

3. Agrupamento Não Supervisionado de Estimativas da PSD Normalizada

Para o uso justificado das componentes da nPSD do sinal mioelétrico em uma metodologia de classificação deste sinal em tempo real, a diferença média verificada na seção anterior é necessária mas não suficiente. É necessário, também, que cada estimativa individual seja suficientemente distinta para diferentes classes deste sinal, de forma que o classificador possa considerar apenas esta informação ao decidir a classe do sinal de entrada em um dado instante. Para se considerar cada segmento individualmente, e não em média, estas nPSDs estimadas foram agrupadas automaticamente, com a utilização de uma rede de Kohonen.

Redes de Kohonen, ou mapas auto-organizáveis (ou SOMs – Self Organizing Maps), são redes neurais artificiais de aprendizado competitivo, capazes de mapear um espaço de grande dimensão em um espaço de dimensão reduzida, geralmente bidimensional (KOHONEN, 1997). Uma importante propriedade destas redes, após seu treinamento, é a formação de um mapa topológico, de forma que a excitação de neurônios distantes no mapa indica afastamento também das características dos vetores de entrada que excitaram estes neurônios (HAYKIN, 1998).

Foram utilizados, no treinamento da rede, aproximadamente 10 segundos de sinal mioelétrico para cada uma das quatro classes. Estes sinais foram separados em 200 segmentos de 64 pontos cada, com sobreposição, resultando em 800 segmentos de sinal para cada canal. A nPSD de cada um destes segmentos foi computada, e a informação provenientes de cada um dos canais foi concatenada para a formação de 800 vetores de treinamento, cada um

contendo informação sobre o estado do sinal mioelétrico em um intervalo de tempo. Estes vetores foram utilizados no treinamento de uma rede de Kohonen bidimensional de 64 neurônios (8 x 8). Como o aprendizado é não supervisionado, a classe relativa a cada segmento não é considerada durante o treinamento.

O resultado obtido encontra-se ilustrado na figura 2, que exhibe a classe mais recorrente em cada posição do mapa. Observa-se que a rede separou convenientemente os vetores de características que lhe foram apresentados. Dos 800 vetores utilizados, apenas 156 (19,5%) foram agrupados incorretamente, excitando um neurônio não associado à sua classe, segundo a representação abaixo. Este percentual pode ser considerado baixo, por tratar-se de uma classificação não-supervisionada.

Observa-se também que neurônios associados à mesma classe tenderam a se localizar próximos no mapa, o que indica que vetores de treinamento de mesma classe apresentam inerente semelhança no espaço de características, em comparação com os vetores provenientes de classes distintas. Este resultado confirma como promissora, portanto, a metodologia de classificação proposta para este trabalho.

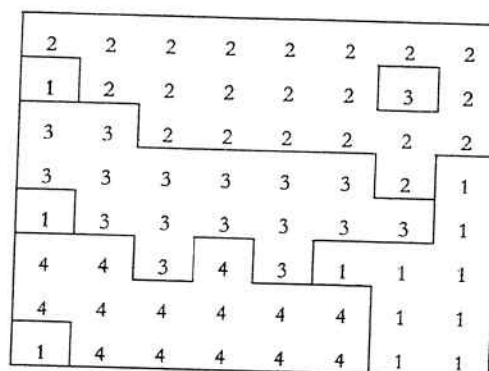


Figura 2 - Mapa auto-organizável alimentado com a nPSD de amostras de quatro classes de sinal mioelétrico nPSD

4. Projeto de um Sistema de Reconhecimento do Sinal Mioelétrico

Estando verificada a aplicabilidade das características escolhidas para o

reconhecimento do sinal mioelétrico, foi realizado o projeto de um classificador para se pudesse avaliar a performance desta metodologia. Para tanto, foi utilizada uma rede neural artificial multicamada, de arquitetura multi-layer perceptron (MLP). Considerou-se que também seria possível a aplicação de uma rede de funções de base radial (RBF), mas preferiu-se a arquitetura MLP por ser largamente mais utilizada em reconhecimento de padrões, havendo portanto bibliotecas disponíveis para sua implementação em praticamente qualquer configuração de hardware que se julgue conveniente.

Conforme é usual em aplicações de reconhecimento, a rede MLP foi constituída de três camadas. A camada de entrada foi formada por 64 neurônios, referentes às 64 componentes do vetor de características utilizado. Na camada de saída, 4 neurônios foram utilizados, cada um representando uma classe de sinal. Através de uma análise preliminar, verificou-se que apenas 5 neurônios na camada intermediária já eram suficientes para que se conseguisse uma classificação com excelente nível de performance.

No que diz respeito à função de ativação destes neurônios, empregou-se a função tangente hiperbólica para os componentes da camada intermediária, e uma função puramente linear para aqueles pertencentes à camada de saída. A camada de entrada realiza apenas o simples acoplamento com o ambiente.

Para o treinamento da rede, utilizou-se um algoritmo de retropropagação resiliente, cuja lógica é semelhante à de uma retropropagação convencional, havendo no entanto adaptação dinâmica da taxa de atualização dos pesos sinápticos para maior velocidade de aprendizado (RIEDMILLER; BRAUN, 1993). Isto é especialmente desejável para a aplicação em estudo, por se prever a necessidade de um treinamento periódico do classificador para a manutenção da performance do sistema (possivelmente a cada recolocação do membro artificial pelo usuário).

Ademais, dentre os diversos algoritmos adaptativos existentes, a retropropagação resiliente foi preferida por seu reduzido consumo de memória e sua relativa

simplicidade. Isto é necessário para que o treinamento possa ser feito com recursos próprios do membro artificial, evitando-se o inconveniente de treinamentos em computador para posterior transferência dos pesos sinápticos resultantes. Os dados para estes treinamentos do sistema podem ser coletados com a realização de uma sequência pré-determinada de contrações pelo usuário, de duração de alguns poucos segundos.

Nos treinamentos realizados neste trabalho, foram empregados dois segundos de sinal para cada classe. Para isto, vetores de características de 64 dimensões foram criados a partir de segmentos de sinal, com a metodologia definida na seção anterior. A seguir, foram selecionados um a cada dez vetores, igualmente espaçados, para se formar o conjunto de amostras de treinamento. A opção por se limitar a 10% dos vetores extraídos do sinal de treinamento justifica-se pela semelhança apresentada por vetores vizinhos, e pela conseqüente redução no tempo de treinamento.

Com as referidas restrições impostas às dimensões da rede e do conjunto de amostras, conseguiu-se rápida convergência durante os treinamentos realizados. Na figura 3, a evolução da performance da rede durante um destes treinamentos é ilustrada.

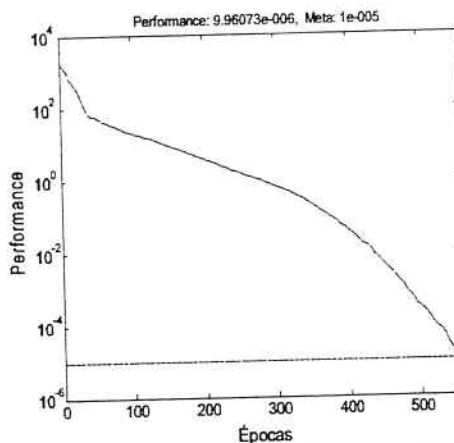


Figura 3 - Evolução da performance durante o treinamento da rede neural artificial

5. Simulação do Comportamento do Sistema Projetado

Com o treinamento bem sucedido do classificador neural, foi possível a formação

de uma primeira versão do sistema de reconhecimento pretendido. Para se avaliar o poder de classificação da rede recém-treinada, e para se avaliar o comportamento geral do sistema obtido, realizou-se sua implementação em um ambiente de simulação. Conforme ilustrado pelo diagrama de blocos a seguir, o sistema foi composto pelos seguintes estágios:

1. Computação da PSD dos sinais provenientes de cada canal de entrada, a partir das últimas amostras de sinal. Conforme discutido, e conforme ilustrado na figura, no caso em estudo trabalhou-se com 2 canais e 64 amostras, mas o sistema foi implementado de forma genérica para permitir a simulação de quaisquer valores.

2. Normalização das PSDs estimadas.
3. Extração dos valores úteis na classificação do sinal para formação de um vetor de características (desprezando-se a componente DC e as frequências negativas).
4. Classificação do vetor de características pela rede neural artificial previamente treinada.
5. Identificação da classe do sinal, com base no neurônio de saída mais excitado.

A estrutura assim obtida é voltada ao reconhecimento de sinais em tempo real, de forma que a cada intervalo de amostragem uma avaliação da classe do sinal é obtida na saída do sistema.

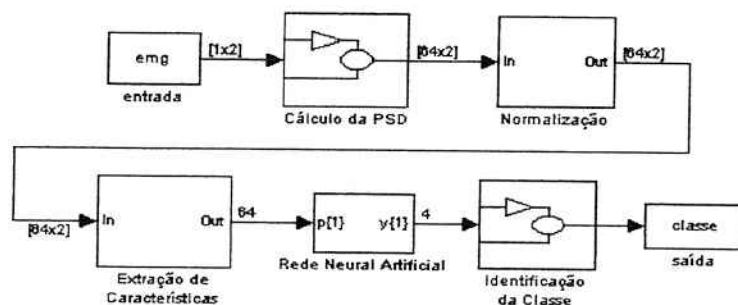


Figura 4 - Diagrama de blocos do sistema de reconhecimento preliminar

A simulação do comportamento deste sistema no reconhecimento de uma sequência de 20 segundos de sinal mioelétrico encontra-se ilustrada na Figura 5. Nesta simulação, foram utilizados aproximadamente 5 segundos de dados experimentais para cada uma das classes em estudo. Conforme pode-se observar na ilustração da saída alvo, estas classes foram apresentadas ao sistema de forma sequencial. Como o objetivo desta primeira simulação era avaliar a capacidade de classificação da rede recém-treinada, deve-se notar que não foram avaliados os transitórios iniciais dos sinais mioelétricos utilizados, tendo-se selecionado porções em que estes sinais já estão estabilizados para apresentação ao sistema.

Com isto, observa-se que foi conseguido o correto reconhecimento do sinal na grande maioria dos instantes de tempo. No entanto, a

classificação foi incorreta para algumas das estimativas da nPSD do sinal, o que levou a oscilações indesejadas da saída do sistema. As variações das características do sinal no domínio da frequência, responsáveis por estas oscilações, são provavelmente inerentes à origem deste sinal, estando relacionadas ao complexo mecanismo de acionamento das fibras no momento da contração, mas também ser ocasionadas, eventualmente, por perturbações provenientes do ambiente que tenham influência no processo de captação. De qualquer forma, procurou-se minimizar este efeito introduzindo-se um bloco de pré-processamento na entrada do classificador, para a realização de uma filtragem nos dados de entrada da rede, de forma que variações abruptas da estimativa das nPSDs fossem eliminadas.

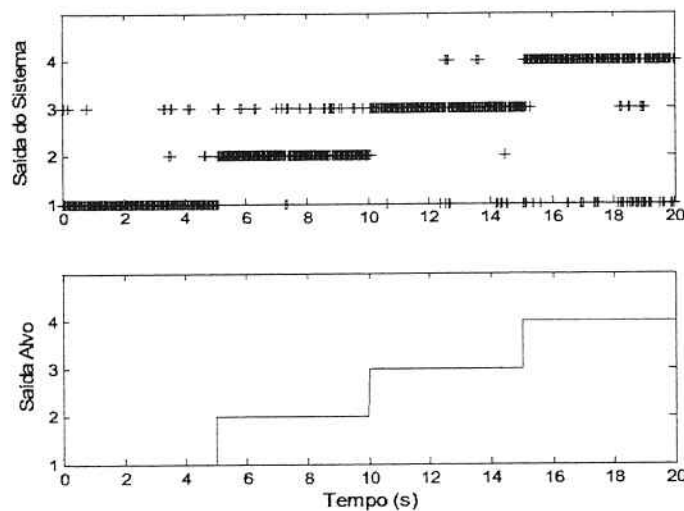


Figura 5- Classificação das características pela rede neural artificial

Utilizou-se para isto um filtro digital recursivo do tipo:

$$m.y_k = m.y_{k-1} + x_k - x_{k-m} ,$$

responsável pelo fornecimento de uma média baseada dos últimos m valores de entrada. A topologia do filtro utilizado foi escolhida por sua simplicidade de computação e sua capacidade satisfatória de remover do sinal de entrada suas oscilações de alta frequência. Para o caso em estudo, os 100 últimos valores foram empregados nesta filtragem ($m = 100$), o que resulta uma filtragem pouco agressiva se considerada a frequência de amostragem de 600Hz utilizada.

Para maior robustez, o bloco de identificação existente na saída do classificador foi

também substituído por um bloco de pós-processamento mais sofisticado, projetado para ignorar transições de curta duração na saída do sistema, vazias de significado para a aplicação a que este sistema se destina. Basicamente, este processamento se resume na avaliação das últimas decisões tomadas pelo classificador, para a seleção da decisão mais recorrente. Neste trabalho, as decisões tomadas nos últimos 400ms foram consideradas, o que é um intervalo suficiente inclusive para a rejeição de perturbações causadas pelos transitórios típicos de um início de contração, que apresentam tipicamente uma duração de até 200ms (HUDGINS et al., 1997).

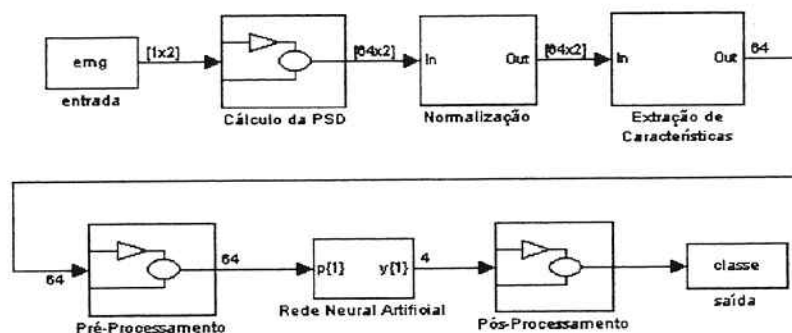


Figura 6 - Diagrama de blocos do sistema de reconhecimento completo

O diagrama de blocos do sistema de reconhecimento completo, obtido com estas novas implementações, pode ser observado na figura 6.

Com a inclusão do pré-processamento, realizou-se novo treinamento da rede para o aprendizado da nova natureza dos vetores de características. A simulação anterior foi refeita com a utilização dos mesmos dados de entrada, para se avaliar a evolução de performance conseguida, e desta vez ficou demonstrado que o sistema obtido foi capaz de realizar o correto reconhecimento dos

sinais mioelétricos que lhe foram apresentados. Conforme se poderia prever, as filtrações incluídas resultaram em um atraso de classificação, de aproximadamente 350ms em média. Considerando-se o atraso de até 200ms associado ao transitório inicial, não incluído nesta simulação, chega-se a um tempo de resposta de aproximadamente 0,5s para o sistema de reconhecimento apresentado, um valor pode ser considerado aceitável para as aplicações em vista.

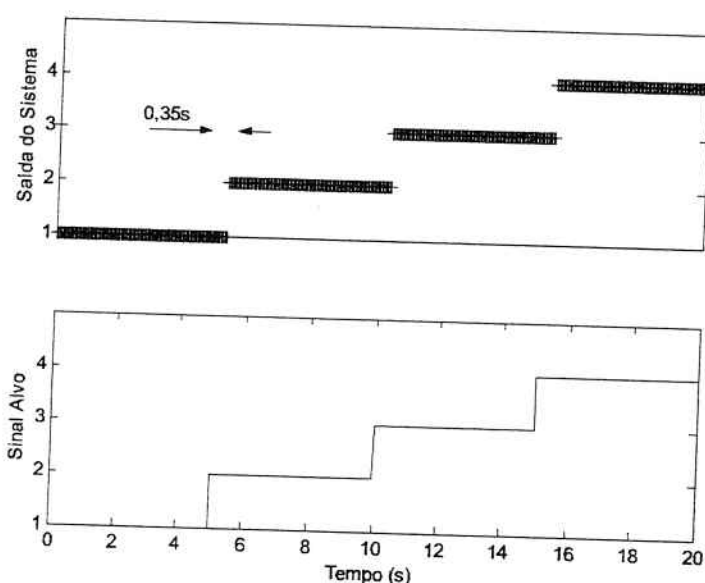


Figura 7- Classificação das características pelo sistema completo

Matlab® e Simulink® (Mathworks, Inc.) foram utilizados no projeto e simulações descritos nesta seção.

6. Conclusão

Este trabalho investigou uma metodologia de reconhecimento do sinal mioelétrico baseada na análise de sua densidade espectral de potência normalizada (nPSD). Inicialmente, alguns fundamentos teóricos e uma análise qualitativa preliminar foram apresentados, para justificar a nPSD como uma possível candidata para fornecer características que possam ser utilizadas no projeto de um classificador de sinais mioelétricos. Em seguida, foi mostrado que vetores de características gerados com informação

proveniente da nPSD deste sinal podem ser adequadamente agrupados com um procedimento não supervisionado, confirmando esta metodologia como realmente promissora. Finalmente, um classificador neural foi projetado e avaliado, e o correto reconhecimento de quatro classes de sinais mioelétricos adquiridas experimentalmente foi conseguido com o uso desta metodologia.

Futuras pesquisas são necessárias para se avaliar a performance alcançada em um cenário de utilização prática e a longo prazo, e para se verificar com que frequência o classificador requer um novo treinamento para que se mantenha seu adequado funcionamento. Ademais, características adicionais do sinal podem ser necessárias para outras tarefas do sistema de controle,

como por exemplo uma análise de intensidade do sinal captado para se detectar a intenção de movimento. Para um reconhecimento de um maior número de classes, um maior número de canais pode também ser necessário.

Referências

ARIBIB, M. A. (Ed.). "The Handbook of Brain Theory and Neural Networks", 2a Ed., London: MIT Press, 1998. ISBN: 0-262-51102-9.

DUDA, R. O.; HART, P. E.; STORK, D. G. "Pattern Classification", New York: Wiley, 2000. ISBN: 0-471-05669-3.

ENGLEHART, K.; HUDGINS, B.; PARKER, P. A. "A Wavelet Based Continuous Classification Scheme for Multifunction Myoelectric Control". IEEE Transactions on Biomedical Engineering, v.48, n.3, p.302-311, mar. 2001.

GYGI, A. E.; MOSCHYTZ, S. G. "Low-Pass Effect in the Measurement of Surface EMG". In: IEEE SYMPOSIUM ON COMPUTER-BASED MEDICAL SYSTEMS (CBMS '97), 10., Maribor, Eslovênia, 1997. Proceedings. 1997. p.183-189.

HUDGINS, B.; ENGLEHART, K.; PARKER, P. A.; SCOTT, N. "A microprocessor-based multifunction myoelectric control system". In: CANADIAN MEDICAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING SOCIETY CONFERENCE, 23., Toronto, Canada, 1997. Proceedings. 1997.

KOHONEN, T. "Self-Organizing Maps", New York: Springer-Verlag, 1997. ISBN: 3-540-67921-9.

NISHIKAWA, D. "Studies on Electromyogram to Motion Classifier", 2001, Tese (Doutorado) - Hokkaido University. Japão, 2001.

OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER, R. W. "Discrete-Time Signal Processing", 2a Ed., New Jersey: Prentice-Hall, 1989. ISBN: 0-

13-216292-X.

RIEDMILLER, M.; BRAUN, H. "A Direct Adaptive Method for Faster Backpropagation Learning: The RPROP Algorithm". In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, San Francisco, EUA, 1993. Proceedings. 1993.

HAYKIN, S. "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", 2a. Ed., New York: Macmillan, 1998. ISBN: 0-13-73350-1.

SOLOMONOW, M.; BARATTA, R. "Methods for the Accurate EMG Power Spectrum Assessment for Biomechanical Applications". In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF BIOMECHANICS, 21., South Carolina, EUA, 1997. Proceedings. 1997.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PTC/9901 – Avaliação de Ergoespirômetros Segundo a Norma NBR IEC 601-1- MARIA RUTH C. R. LEITE, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE B. MORAES
- BT/PTC/9902 – Sistemas de Criptofonia de Voz com Mapas Caóticos e Redes Neurais Artificiais – MIGUEL ANTONIO FERNANDES SOLER, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/9903 – Regulação Sincronizada de Distúrbios Senodais – VAIDYA INÉS CARRILLO SEGURA, PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PTC/9904 – Desenvolvimento e Implementação de Algoritmo Computacional para Garantir um Determinado Nível de Letalidade Acumulada para Microorganismos Presentes em Alimentos Industrializados – RUBENS GEDRAITE, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/9905 – Modelo Operacional de Gestão de Qualidade em Laboratórios de Ensaio e Calibração de Equipamentos Eletromédicos – MANUEL ANTONIO TAPIA LÓPEZ, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS MORAES
- BT/PTC/9906 – Extração de Componentes Principais de Sinais Cerebrais Usando Karhunen – Loève Neural Network – EDUARDO AKIRA KINTO, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PTC/9907 – Observador Pseudo-Derivativo de Kalman Numa Coluna de Destilação Binária – JOSÉ HERNANDEZ LÓPEZ, JOSÉ JAIME DA CRUZ, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/9908 – Reconhecimento Automático do Locutor com Coeficientes Mel-Cepstrais e Redes Neurais Artificiais – ANDRÉ BORDIN MAGNI, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/9909 – Análise de Estabilidade e Síntese de Sistemas Híbridos – DIEGO COLÓN, FELIPE MIGUEL PAIT
- BT/PTC/0001 – Alguns Aspectos de Visão Multiescalas e Multiresolução – JOÃO E. KOGLER JR., MARCIO RILLO
- BT/PTC/0002 – Placa de Sinalização E1: Sinalização de Linha R2 Digital Sinalização entre Registradores MFC- PHILLIP MARK SEYMOUR BURT, FERNANDA CARDOSO DA SILVA
- BT/PTC/0003 – Estudo da Técnica de Comunicação FO-CDMA em Redes de Fibra Óptica de Alta Velocidade – TULIPA PERSO, JOSÉ ROBERTO DE A. AMAZONAS
- BT/PTC/0004 – Avaliação de Modelos Matemáticos para Motoneurônios – DANIEL GUSTAVO GOROSO, ANDRÉ FÁBIO KOHN
- BT/PTC/0005 – Extração e Avaliação de Atributos do Eletrocardiograma para Classificação de Batimentos Cardíacos – ELDER VIEIRA COSTA, JOSÉ CARLOS T. DE BARROS MORAES
- BT/PTC/0006 – Uma Técnica de Imposição de Zeros para Auxílio em Projeto de Sistemas de Controle – PAULO SÉRGIO PIERRI, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PTC/0007 – A Connected Multireticulated Diagram Viewer – PAULO EDUARDO PILON, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/0008 – Some Geometric Properties of the Dynamic Extension Algorithm – PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA
- BT/PTC/0009 – Comparison of Alternatives for Capacity Increase in Multiple-Rate Dual-Class DS/CDMA Systems – CYRO SACARANO HESI, PAUL ETIENNE JESZENSKY
- BT/PTC/0010 – Reconhecimento Automático de Ações Faciais usando FACS e Redes Neurais Artificiais – ALEXANDRE TORNICE, EUVALDO F. CABRAL JÚNIOR
- BT/PTC/0011 – Estudo de Caso: Tornando um Projeto Testável Utilizando Ferramentas Synopsys – REINALDO SILVEIRA, JOSÉ ROBERTO A. AMAZONAS
- BT/PTC/0012 – Modelos Probabilísticos para Rastreamento em Carteiras de Investimento – HUGO G. V. DE ASSUNÇÃO, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PTC/0013 – Influência de um Controle Imperfeito de Potência e Monitoramento da Atividade Vocal na Capacidade de Sistemas DS/CDMA – MÁRCIO WAGNER DUARTE ROLIM, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PTC/0014 – Canceladores de Interferência Sucessivo e Paralelo para DS/CDMA – TAUFIK ABRÃO, PAUL JEAN E. JESZENSKY
- BT/PTC/0015 – Transmissão de Serviços de Multimídia num Sistema Móvel Celular CDMA de Banda Larga – EDUARDO MEIRELLES MASSAUD, PAUL JEAN ETIENNE JESZENSKY
- BT/PTC/0016 – Disseminação do HIV em uma População Homossexual Heterogênea – MARCOS CASADO CASTÑO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0017 – Implementação e Avaliação em Laboratório de um Monitor Cardíaco Portátil para Três Derivações – RAISA FERNÁNDEZ NUNEZ, JOSE CARLOS TEIXEIRA DE BAROS MORAES
- BT/PTC/0018 – Projeto de Filtros Recursivos de N-ésima Banda – IRINEU ANTUNES JÚNIOR, MAX GERKEN
- BT/PTC/0019 – Relative Flatness and Flatness of Implicit Systems – PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA, CARLOS CORRÊA FILHO
- BT/PTC/0020 – Estimativa de Fluxo Sangüíneo nas Artérias Coronárias Usando Imagens de Cineangiocardiografia – ANA CRISTINA DOS SANTOS, SÉRGIO SHIGUEMI FURUIE
- BT/PTC/0021 – Modelos Populacionais para AIDS e Análise do Equilíbrio sem Epidemia – ELIZABETH FERREIRA SANTOS, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA

- BT/PTC/0101 – Model-Based Soft-Sensor Design for On-Line Estimation of the Biological Activity in Activated Sludge Wastewater Treatment Plants – OSCAR A. Z. SOTOMAYOR, SONG WON PARK, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0102 – Reconhecimento Automático do Locutor Utilizando a Rede Neural Artificial *Field Distributed Memory* – FDM – MARCELO BLANCO, EUVALDO F. CABRAL JR.
- BT/PTC/0103 – Algoritmos de Filtragem e Previsão em Modelos de Volatilidade – FERNANDO LOVISOTTO, OSWALDO L. V. COSTA
- BT/PTC/0104 – Método de Diferenças Temporais Aplicado às Equações de Riccati Acopladas entre Si – OSWALDO L. V. COSTA, JULIO C. C. AYA
- BT/PTC/0105 – Método de Diferenças Finitas e de Monte Carlo em Derivativos – ANDRÉ CURY MAIALI, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0106 – Resolução de um Problema Inverso de Eletromagnetismo por Meio de Redes Neurais Artificiais – ARNALDO MEGRICH, JORGE MIECZYSLAW JANISZEWSKI
- BT/PTC/0107 – Projeto de Controlador de Temperatura para Perfusão Peritoneal com Hipertermia e Quimioterapia – GIANCARLO ANTONIO BERZACOLA, FUAD KASSAB JÚNIOR
- BT/PTC/0108 – O Papel de Diferentes Grupos Populacionais na Transmissão Sexual do HIV – ELIZABETH FERREIRA SANTOS, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0109 – Terapias Ótimas Anti-HIV para a Redução da Transmissão Vertical – RENATO BEVILACQUA, LUIZ HENRIQUE ALVES MONTEIRO
- BT/PTC/0110 – Brain Signal Analysis Using Non-Linear ARIMA Models – ERNANE J. X. COSTA, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/0111 – Cancelamento de Eco Acústico Estéreo: Análise de Algoritmos Adaptativos e um novo Método de Redução do Desalinhamento – ROBERTO ROSCHEL BELLI, PHILLIP MARK SEYMOUR BURT
- BT/PTC/0112 – Natural Gas Flow Computer With Open Architecture Using Intelligent Instrumentation And Field Bus – OSMEL REYES VAILLANT, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0113 – Aplicação de Métodos de Inteligência Artificial em Inteligência de Negócios – ROGÉRIO GARCIA DUTRA, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/0114 – Detectores Multiusuário para DS/CDMA – Canceladores de Interferência – TAUFIK ABRÃO, PAUL JEAN E. JESZENSKY
- BT/PTC/0115 – Reconhecimento Automático do Locutor Usando Pré-Processamento em Sons Nasalizados com Diversos Classificadores Neurais – ROBERTO AMILTON BERNARDES SÓRIA, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/0116 – Aplicando a Técnica de Times Assíncronos na Otimização de Problemas de Empacotamento Unidimensional – REINALDO DE BERNARDI, TSEN CHUNG KANG
- BT/PTC/0117 – A Simplified Implementation of the Theory of Emotions for Emotots – RODRIGO DE TOLEDO CAROPRESO, RODRIGO DIAS MORGADO, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/0118 – Modelos Dinâmicos Aplicados à Propagação de Vírus em Redes de Computadores – BETYNA FERNÁNDEZ NAVARRO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0119 – Técnicas para Melhorar o Desempenho do Método dos Análogos Modificado em Predição de Séries Temporais Caóticas – LUIZ MONZÓN BENITEZ, ADEMAR FERREIRA
- BT/PTC/0120 – Um Modelo Microscópico para a Simulação de uma Intersecção Semaforizada – EDUARDO ULI NELLAR, ADEMAR FERREIRA
- BT/PTC/0121 – Subspace Identification Methods Applied to Activated Sludge Processes: A Performance Comparison Study – OSCAR A. Z. SOTOMAYOR, SONG WON PARK, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0122 – Controle Avançado de Temperatura para Perfusão Peritoneal com Hipertermia e Quimioterapia – ARNALDO LAGANARO JÚNIOR, FUAD KASSAB JÚNIOR
- BT/PTC/0123 – Análise de Sinais Biológicos Utilizando *Wavelets* – FRANCO BELTRAME RUNZA, FUAD KASSAB JÚNIOR
- BT/PTC/0123 – Certificação de Estimuladores Neuromusculares no Sistema Brasileiro de Certificação de Equipamentos Médicos – EDUARDO RODRIGUES MANDL, JOSÉ CARLOS TEIXEIRA DE BARROS
- BT/PTC/0201 – Aplicação de Transformadas Tempo – Frequência e de Redes Neurais Artificiais no Processamento Digital de Sinais Cerebrais – MARCOS TEIXEIRA DE FREITAS FILHO, EUVALDO FERREIRA CABRAL JR.
- BT/PTC/0202 – Aspectos de Identificação para Controle de Sistemas NARX usando Redes Neurais RBF – RITA DE CÁSSIA PAVANI LAMAS, ADEMAR FERREIRA
- BT/PTC/0203 – A Equação de Riccati Estacionária na Estimação Linear em Sistemas Lineares Discretos no Tempo com Saltos Markovianos – SUSSET GUERRA JIMENEZ, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0204 – Comparação entre Algoritmos de Identificação Não-Assistida de Canais de Comunicação Baseados em Estatísticas de Segunda Ordem – CLÁUDIO JOSÉ BORDIN JÚNIOR, LUIZ ANTONIO BACCALA
- BT/PTC/0205 – Desenvolvimento de um Simulador de uma Sub-Rede da Medula Espinhal – ROGÉRIO RODRIGUES LIMA CISI, ANDRÉ FABIO KOHN
- BT/PTC/0206 – Novos Modelos de Motoneurônios de Vertebrados – MARCOS FRAGA VIEIRA, ANDRÉ FABIO KOHN

- BT/PTC/0207 – Modelagem Auto-Regressiva e Memórias Associativas na Classificação de Sinais Eletromiográficos de Agulhas – IARA KAZUYO IKE, CINTHIA ITIKI
- BT/PTC/0208 – Análise da Classificação e da Síntese de Expressões Faciais com Redes Neurais Artificiais – OLIMPO MURILO CAPELI, EUVALDO FERREIRA CABRAL JUNIOR
- BT/PTC/0209 – Guiagem Automática de um Veículo Autônomo Baseada em Sistema de Visão – NICOLÁS CÉSAR LAVINIA, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PTC/0210 – Some Geometric Properties of Differential-Algebraic Equations – PAULO SÉRGIO PEREIRA DA SILVA, CARLOS JUTTI WATANABE
- BT/PTC/0211 – Modelos de Média-Variância de Período Simples e Multi-Períodos na Análise de Carteiras de Investimento – MARGARETH AP. DE SOUZA BUENO, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0212 – Avaliação da Utilização de Centrais Públicas de Informações de Crédito num Modelo de Previsão para Risco de Crédito – GUILHERME GONZALEZ C. PARENTE, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0213 – Propagação de Erros de Frequência em Redes Mestre Escravo em Estrela Dupla – SANTOS ANDRÉS CASTILHO VARGAS, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0214 – Avaliação Prática de um Algoritmo de Alta Resolução na Determinação de Frequências de Ressonância em Estruturas de Grande Porte – LUIZ ANTONIO BARBOSA COELHO, LUIZ ANTONIO BACCALÁ
- BT/PTC/0301 – Finite Horizon Quadratic Optimal Control Problem of Markovian Jump Linear Systems With Partial Information – ESTEBAN FERNANDEZ TUESTA, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0302 – A Framework for Admission Control Based on Aggregate Traffic Measurements and Network Characterization – ALEXANDRE BARBOSA DE LIMA, JOSE ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS
- BT/PTC/0303 – Identificação Nebulosa da Concentração de Oxigênio Dissolvido do Tanque de Aeração de uma Estação de Tratamento de Esgotos por Lodos Ativados – ALEXANDRE MAGNO PARENTE DA ROCHA, CLAUDIO GARCIA
- BT/PTC/0304 – Cálculo de Balanço de Potência em Sistemas DWDM com Spans Variáveis e Amplificadores com Curva de Ganho não Plana – WALMARA DE PAULA HERMAN, JOSÉ ROBERTO DE ALMEIDA AMAZONAS
- BT/PTC/0305 – Robust Model Tracking and 2-D Control Design – FABRIZIO LEONARDI, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PTC/0306 – Classificação de Ações do Mercado Financeiro Utilizando Técnicas Fuzzy – RENATO APARECIDO AGUIAR, ROBERTO MOURA SALES
- BT/PTC/0307 – Esquemas de Multitaxa para Sistemas CDMA de Banda Larga – ANDRÉ FAGUNDES DA ROCHA, PAUL JEAN ETIENNE JESZESKY
- BT/PTC/0308 – A Time-Invariant Flat System Always Admits a Time-Invariant Flat Output – PAULO SERGIO PEREIRA DA SILVA, PIERRE ROUCHON
- BT/PTC/0309 – Otimização Robusta de Carteiras Utilizando Desigualdades Matriciais Lineares – RODRIGO BARROS NABHOLZ, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA
- BT/PTC/0310 – Desenvolvimento de um Controlador Automático para Sistemas de Guiagem de Tiras de Aço em Linhas de Processos Siderúrgicos – AMAURI DIAS DE CARVALHO, JOSÉ JAIME DA CRUZ
- BT/PTC/0311 – Sincronismo em Redes Mestre-Escravo de Via Única: Estrela Simples, Cadeia Simples e Mista – CARLOS NEHEMY MARMO, JOSÉ ROBERTO CASTILHO PIQUEIRA
- BT/PTC/0312 – Aprendizado por Reforço Aplicado a Sistemas Neuro-Difusos para o Controle de Sinais de Trânsito – LEONCIO ZARATE GAMARRA, ADEMAR FERREIRA
- BT/PTC/0313 – Métodos de Decomposição em Problemas de Estoque e Roteirização – PATRIÍCIA PRADO BELFORE, OSWALDO LUIZ DO VALLE COSTA

