

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE MATRIZES DE SENSORES PARA DETECÇÃO DA ATIVIDADE MUSCULAR FACIAL

C. M. M. Queiroz*, B. V. C. Silva.*, S. J. Nasuto**, A. O. Andrade*

*Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil

** Universidade de Reading, Reading, Inglaterra

e-mail: carlos.queiroz@iftm.edu.br

Resumo: As interfaces Homem-Máquinas têm experimentado avanços significativos nos últimos tempos. Muitos destes avanços são decorrentes da disponibilidade de novos dispositivos tecnológicos, com recursos e capacidade de processamento cada vez maiores, o que tem permitido o emprego de novas estratégias, como por exemplo, o uso de matriz de sensores para captar os sinais EMG. Este trabalho avalia 4 tipos de matriz de sensores de sinais EMG, diferentes pelo tamanho da área e distância intereletrodos, com pares de eletrodos direcionados a cada 45°, concebidos para serem facilmente posicionados sobre os músculos faciais Frontal e Temporal. O critério de avaliação adotado é baseado na relação sinal/ruído apresentado por cada matriz de sensores, obtidos durante a implementação de um procedimento experimental envolvendo 5 voluntários saudáveis e 5 tarefas distintas. Os resultados indicam que, mesmo em função da aleatoriedade do posicionamento das matrizes de sensores sobre os músculos, prevista no protocolo, é possível obter sinais EMG com relação sinal/ruído adequados para aplicações em interfaces homem-máquina ou clínicas.

Palavras-chave: eletromiografia, matriz de sensores, interface homem-máquina.

Abstract: The Human-Computer interfaces have experienced significant advances in recent times. Many of these advances are due to the availability of new technological devices, with features and power processing increasingly larger, which has allowed the use of new strategies, such as the use of the sensor arrays to capture the EMG signals. This study evaluates four types of set of EMG signals sensor arrays, different by the size of the area and inter-electrode spacing, with pairs of electrodes oriented into every 45°, designed to be easily positioned on the Frontal and Temporal facial muscles. The evaluation criteria adopted is based on the signal/noise ratio provided by each sensor array which were obtained by an experimental procedure involving 5 healthy volunteers in 5 different tasks. The results show that despite of the randomness of the placement of the sensor arrays over the muscles sites, as planned in the experimental protocol, it was possible to record EMG signals with appropriate signal/noise ratio that are useful in Human-Computer interface and clinical applications.

Keywords: electromyographic, sensor array, Human-Computer interface.

Introdução

As interfaces Homem-Computador permitem a interação entre o homem e o computador por diversas formas. As formas convencionais, por exemplo, teclados, mouses, pranchetas digitalizadoras, etc, todas exploram uma habilidade motora do usuário. Já as interfaces não convencionais buscam outras formas de interação, escolhidas em função das habilidades remanescentes nos usuários com restrições motoras. Várias formas de interação podem ser alcançadas com o emprego de diferentes estratégias, por exemplo, pode-se empregar sensores de pressão, de movimento, reconhecimento de gestos e sensores de biopotenciais. Todas estas formas alternativas têm experimentado um grande avanço nos últimos anos, muitos deles por explorar a evolução tecnológica que tem disponibilizado diversos dispositivos com recursos e capacidade de processamento cada vez maiores. Neste sentido de evolução, as interfaces Homem-Computador baseadas em biopotenciais vêm explorando estas recentes tecnologias (novos materiais, miniaturização dos dispositivos, processamento embarcado, sistemas de aquisição de sinais multicanais, etc), com custos cada vez menores, tornando assim possível o surgimento de interfaces que efetivamente possam ser empregadas no dia a dia por indivíduos com restrições motoras. Este estudo pretende atuar neste sentido, buscando explorar os novos sistemas de aquisição multicanais de forma a avaliar 4 conjuntos de matriz de sensores, concebidos para captar sinais EMG de músculos faciais, sem requerer um posicionamento meticuloso sobre os músculos. O desenvolvimento de sensores que dispensam um posicionamento realizado por profissionais da área representam um grande passo para facilitar a proliferação e uso efetivo das interfaces Homem-Computador pelos usuários finais.

Materiais e métodos

O objetivo deste estudo é avaliar quatro conjuntos de matrizes de sensores (CMS) desenvolvidos pelo nosso grupo de pesquisa para captar sinais EMG de músculos faciais, sem requerer um posicionamento criterioso em relação ao alinhamento das fibras musculares. Tal estudo é baseado numa avaliação experimental envolvendo cinco participantes saudáveis, solicitados a realizarem cinco tarefas distintas, envolvendo os

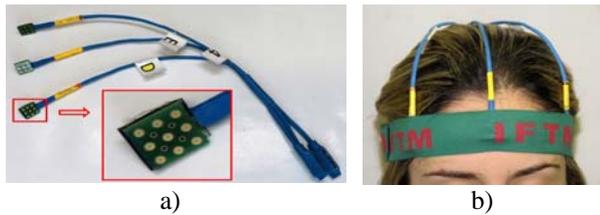


Figura 1: a) Conjunto de matrizes de sensores nº 4, com detalhe em ampliação para uma das matrizes de sensores; b) Vista frontal do CMS4 colocado em um indivíduo.

músculos faciais Temporal e Frontal. A seguir são apresentadas as configurações das matrizes de sensores a serem avaliadas e o protocolo experimental adotado.

Conjunto de Matrizes de sensores – O CMS foi concebido para coletar simultaneamente os sinais EMG dos músculos faciais Frontal, Temporal direito e Temporal esquerdo, portanto cada conjunto contém três matrizes iguais de sensores circulares. O estudo avalia quatro conjuntos distintos de matrizes de sensores denominados daqui por diante como CMS 1, 2, 3 ou 4. A Figura 1.a apresenta o CMS número 4. A Figura 2 ilustra o esquema das matrizes de sensores empregadas em cada um dos quatro CMS estudados. Cada matriz de sensores contém quatro pares de eletrodos diferenciais, dois pares de eletrodos na diagonal (D1 e D2), um par na horizontal (H) e um par na vertical (V), sobrando sempre um eletrodo não usado. As matrizes são confeccionadas em placa de circuito impresso em fibra de vidro, com a superfície dos eletrodos banhadas com ouro industrial. A disposição dos quatro pares de eletrodos em cada matriz (3x3) foi escolhida de modo a se ter um par de eletrodos orientado a cada 45°, visando a obtenção de uma matriz de sensores que ao ser posicionada aleatoriamente sobre um músculo, tenha pelo menos um par de eletrodos com alinhamento bem próximo do alinhamento das fibras musculares. Assim, com respeito à disposição dos pares têm-se dois tipos de matrizes, caracterizadas pela distância intereletrodos (DIE). Os CMS 1 e 2, possuem DIE igual a 4mm para os pares V e H, enquanto os CMS 3 e 4, apresentam DIE de 8mm para seus pares V e H. Um outro parâmetro que os distingue é o tamanho do diâmetro do eletrodo. Os CMS 1 e 3 possuem diâmetro igual a 3 mm, enquanto os CMS 2 e 4 apresentam diâmetro de apenas 2mm. Estes valores reduzidos de diâmetros foram escolhidos com o objetivo de os tornarem mais seletivos [1].

Protocolo Experimental – A análise da relação sinal/ruído a ser usada como critério de avaliação do CMS foi realizada nos sinais EMG captados sobre os músculos faciais Frontal e Temporal. A Figura 1.b ilustra o posicionamento de um CMS posicionado em um indivíduo. O experimento envolve um grupo de cinco voluntários saudáveis (3 homens e 2 mulheres, 26,4 anos \pm 1,9), sem nenhuma restrição na capacidade de ativação dos músculos Frontal e Temporal. O protocolo consiste em cinco tarefas distintas: 1- Sem movimento (músculos relaxados), duração total de 30

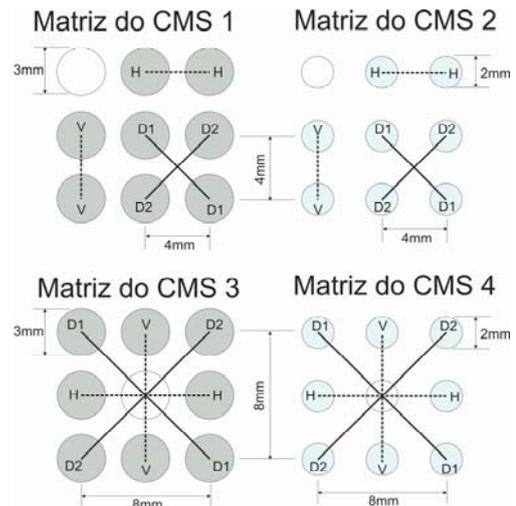


Figura 2: Esquema da disposição dos eletrodos que formam as matrizes de sensores, referentes aos conjuntos de matrizes de sensores (CMS) 1, 2, 3 e 4.

segundos; 2- Cinco contrações dos músculos temporais sustentadas por cinco segundos, com intervalos de cinco segundos de relaxamento, com duração total de 55 segundos; 3- Cinco contrações breves dos músculos temporais, intercaladas por cinco segundos de relaxamento, com duração total de 30 segundos; 4- Cinco contrações do músculo Frontal sustentadas por cinco segundos, com intervalos de cinco segundos de relaxamento, com duração total de 55 segundos; 5 - Cinco contrações breves do músculo Frontal, intercaladas por cinco segundos de relaxamento, com duração total de 30 segundos. As tarefas são realizadas com o indivíduo devidamente acomodado em uma cadeira posicionada em frente a um monitor de 23" que apresenta gráficos dinâmicos gerados por uma interface gráfica projetada para guiar os participantes na realização das tarefas, indicando o momento de contrair e relaxar os músculos faciais. Um efeito sonoro também é gerado para marcar as mudanças de estado de contração muscular. Cada indivíduo do grupo experimental participou de três sessões, com intervalo mínimo entre sessões de 24 horas, e em cada sessão realizou as cinco tarefas, com duas repetições, para cada um dos quatro CMS avaliados. A Figura 3 ilustra os

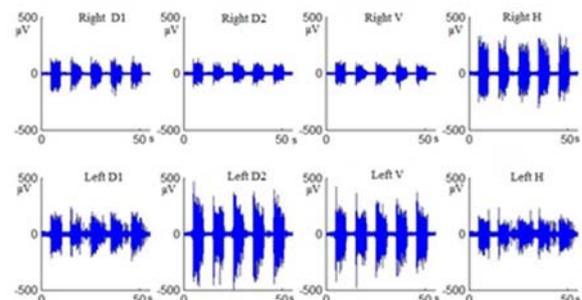


Figura 3: Sinais EMG captados pelas matrizes de sensores posicionadas sobre os músculos **temporais** direito e esquerdo, durante a realização da tarefa 2.

sinais EMG captados pelas matrizes de sensores posicionadas no Temporal direito e esquerdo, durante a realização da tarefa 2.

Posicionamento do CMS – Para o posicionamento das matrizes sobre os músculos faciais realizou-se apenas a identificação da posição com maior volume durante a contração do músculo [2]. Este procedimento visa a garantir certa aleatoriedade no posicionamento das matrizes, tendo em vista que o objetivo do estudo é verificar se as matrizes são capazes de captar sinais EMG com relação sinal/ruído adequada sob condições de posicionamento não ideais. A preparação do local para a fixação das matrizes de sensores consistiu na limpeza da pele por meio de algodão e álcool, abrasão da pele com gel abrasivo, seguida de nova limpeza da pele com algodão e álcool. Sobre cada eletrodo da matriz de sensores era depositado uma quantidade de gel suficiente apenas para cobrir sua área condutora. A fixação das matrizes de sensores sobre a pele foi realizada com fita adesiva microporosa e adicionalmente uma fita elástica foi usada para manter fixa a matriz de sensores no local de detecção, conforme Figura 1.b.

Aquisição dos sinais EMG – Os 12 pares de eletrodos presentes em um CMS são captados por 12 canais diferenciais do sistema composto por módulos de aquisição da série SHD2000, da Intan, EUA, amostrados simultaneamente em 10kHz, com banda passante de 20Hz a 1kHz, conversor analógico/digital com resolução de 16 bits, filtro notch em 60Hz e ganho individual para cada canal. Um sinal de sincronismo gerado pela interface gráfica do protocolo experimental

é também armazenado simultaneamente com os sinais EMG de modo a sinalizar o instante do estímulo de ativação muscular.

Cálculo da relação sinal ruído – A relação sinal/ruído é calculada entre a densidade espectral de potência presente em cada intervalo de atividade muscular, obtidas durante a realização das tarefas 2, 3, 4 e 5, e a densidade espectral de potência presente no sinal captado durante a tarefa 1 (30s de repouso) descartando-se os 3 segundos iniciais e finais. Para identificação das áreas de atividade muscular empregou-se a mesma metodologia utilizada por Andrade [3]. O método basicamente estima a envoltória do sinal e determina o início e fim de cada região de atividade muscular, comparando o valor da envoltória do sinal EMG com um limiar estimado em uma janela de ruído. A envoltória neste método é estimada tomando-se a parte real da transformada de Hilbert do sinal EMG. O cálculo da densidade espectral de potência tanto da região de atividade muscular quanto do ruído é estimado pela técnica de Welch [4].

Resultados

A realização do protocolo descrito anteriormente gera 7.200 valores de relações de sinal/ruído para cada CMS, obtidos em função de se ter cinco usuários, três sessões de testes, duas repetições por teste, quatro testes com atividade muscular, cinco regiões de atividade muscular por teste e 12 pares de sensores para cada CMS. Gerou-se o histograma com a distribuição das maiores relações sinal/ruído dos sinais EMG captados pelos pares de eletrodos para cada CMS. Nas Figuras 4.a e 4.b são apresentados respectivamente os dois

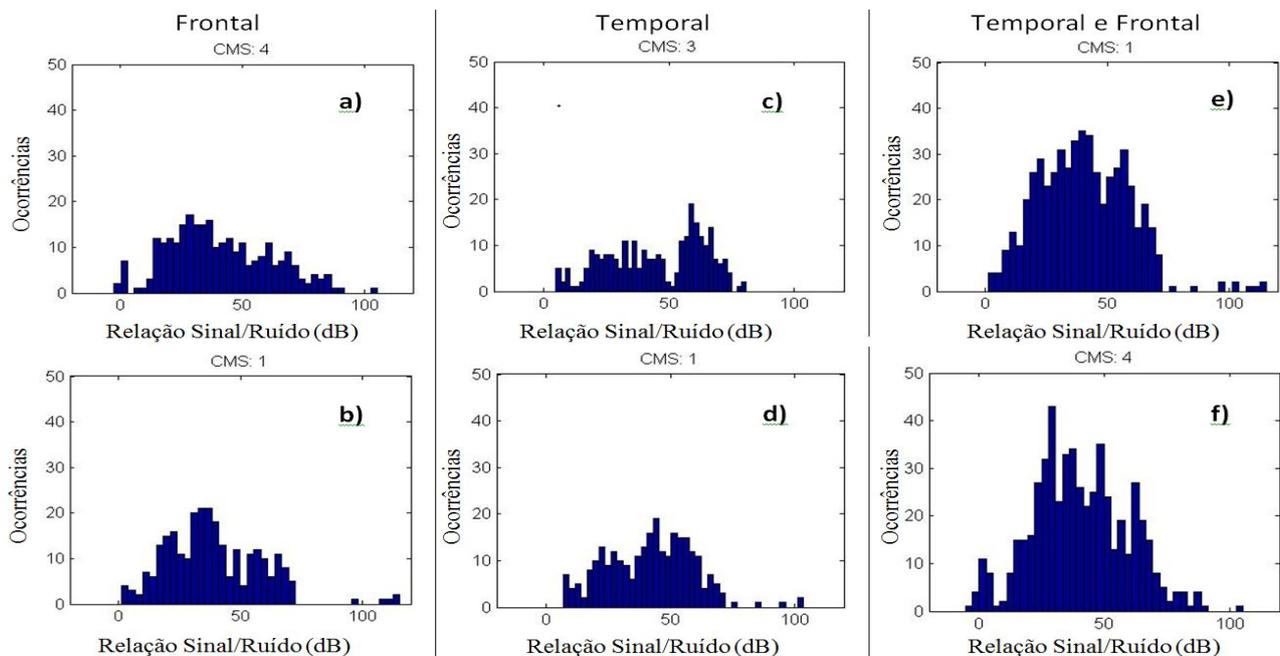


Figura 4: Histogramas das distribuições da relação sinal/ruído apresentadas pelos CMS avaliados, considerando: somente o maior valor apresentado pelos pares de eletrodos da matriz sobre o músculo Frontal, Figuras 4.a e 4.b; somente o maior valor apresentado pelos pares de eletrodos das matrizes sobre os músculos **temporais** direito e esquerdo, Figuras 4.c e 4.d; o maior valor apresentado pelos pares de eletrodos de ambos os músculos, Figuras 4.e e 4.f.

histogramas com maior número de ocorrências de alta relação sinal/ruído, pertencentes ao CMS 4 e ao CMS1, referente a matriz posicionada somente sobre o músculo Frontal. Já nas Figuras 4.c e 4.d são apresentados respectivamente os dois histogramas com maior número de ocorrências de alta relação sinal/ruído, pertencentes ao CMS3 e ao CMS1, referente às matrizes posicionadas somente sobre os músculos temporais direito e esquerdo. Nas Figuras 4.e e 4.f são apresentados respectivamente os dois histogramas com maior número de ocorrências de alta relação sinal/ruído, pertencentes ao CMS1 e ao CMS4, referentes, porém, aos dois músculos Frontal e Temporal. Cada histograma apresenta a distribuição dos valores da relação sinal/ruído distribuídos em 40 intervalos iguais. A Tabela 1 apresenta os resultados normalizados da média ponderada, calculada com os dados que compõem o histograma de cada CMS, de modo a se obter um índice capaz de ordenar os CMS com melhor distribuição, ou seja, com maior número de ocorrências de alta relação sinal/ruído.

Tabela 1: Média ponderada normalizada dos dados da distribuição dos histogramas da relação sinal/ruído de cada CMS, considerando somente os maiores valores para os músculos em separado e conjuntamente.

Músculo	CMS1	CMS2	CMS3	CMS4
Frontal	0.954	0.814	0.646	1.000
Temporal	0.922	0.816	1.000	0.871
Frontal e Temporal	1.00	0.870	0.890	0.996

Discussão

O protocolo experimental permitiu a obtenção de um número expressivo de dados para cada matriz posicionada sobre os músculos faciais Frontal e Temporal. Em função de cada matriz apresentar um par de eletrodos direcionado a cada 45° (D1, D2, V e H, ver Figura 2), é razoável esperar que cada matriz de um dado CMS capte pelo menos um sinal EMG com uma intensidade maior em função de seu melhor alinhamento com as fibras musculares. Isto pode ser visto nos sinais apresentados na Figura 3, onde os pares Direito H e Esquerdo D2 apresentam amplitudes maiores. Esta tendência de se ter pelo menos um par de eletrodos com relação sinal/ruído razoável, independente do alinhamento da matriz com as fibras musculares, pode ser confirmado através da análise da distribuição dos valores da relação sinal/ruído apresentados nos histogramas da Figura 4. Nesta figura pode-se constatar nas distribuições dos histogramas a grande tendência dos valores serem não somente maiores que zero mas com valores expressivos de relação sinal/ruído em sua grande maioria. Por exemplo, a Figura 4.e apresenta o histograma do CMS 1, que obteve o maior número de ocorrências de alta relação sinal/ruído para os dois músculos, no qual pode-se constatar uma concentração de valores de relação sinal/ruído em torno de 45 dB e

ainda várias ocorrências acima de 60dB. Este desempenho do CMS 1 pode ser ainda observado mesmo considerando os músculos Frontal e Temporal em separado, conforme ilustrado nas figuras 4.b e 4.d. A Figura 4.c ilustra o histograma para o CMS 3, considerando apenas os dados coletados para o músculo Temporal, que apresenta um desempenho semelhante ao CMS 1, porém com uma concentração de ocorrências, ainda melhor, próximo a 60db. A tabela 1 aponta a semelhança de distribuição do CMS4 com o CMS 1, considerando os dois músculos, ao apresentar uma média ponderada de sua distribuição igual a 0,996, o que pode ser constatado pela análise visual dos histogramas da Figura 4.a e 4.f, ambas com distribuição de valores de relação sinal/ruído tendendo claramente para valores mais elevados, acima de 30 dB.

Conclusão

Este estudo avaliou a relação sinal/ruído dos sinais EMG obtidos por quatro CMS, posicionados com certa aleatoriedade sobre os músculos faciais Temporal e Frontal, de modo a verificar se tais CMS podem ser empregadas como sensores que não exigem um posicionamento criterioso e alinhado com a fibras musculares. Os resultados apresentados nos histogramas da Figura 4 mostram uma grande ocorrência de valores de relação sinal/ruído elevados, o que nos permite concluir que estes CMS são apropriados para captar sinais EMG no contexto estudado.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPEMIG, do CNPq, da CAPES e do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM).

Referências

- [1] R. Merletti, A. Botter, A. Troiano, E. Merlo, and M. A. Minetto, "Technology and instrumentation for detection and conditioning of the surface electromyographic signal: State of the art," *Clinical Biomechanics*, vol. 24, pp. 122-134, 2// 2009.
- [2] C.-N. Huang, C.-H. Chen, and H.-Y. Chung, "The review of applications and measurements in facial electromyography," *Journal of Medical and Biological Engineering*, vol. 25, pp. 15-20, 2004.
- [3] A. O. Andrade, S. J. Nasuto, and P. Kyberd, "Extraction of motor unit action potentials from electromyographic signals through generative topographic mapping," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 344, pp. 154-179, 5// 2007.
- [4] D. G. Childers, *Probability and Random Processes: Using MATLAB with Applications to Continuous and Discrete Time Systems*: McGraw-Hill Companies, Incorporated, 1997.