

Determinação de Mapas de Actividade Cerebral numa Banda de Frequências

Carlos Loff Barreto, Francisco Vaz

Resumo- Apresenta-se neste trabalho um novo método para a determinação de mapas de actividade cerebral baseado na estimação da potência do sinal filtrado nos diferentes canais, substituindo a sua tradicional e mais lenta determinação através da DFT. Desta forma pode-se diminuir o tempo de cálculo permitindo obter uma melhor visualização dinâmica da evolução dos potenciais cerebrais sobre o escalpe.

Abstract- In this paper we present a new method to compute brain maps. It is based on the power estimation of the filtered signal on all channels which is faster to compute than the traditional approach using DFT. Reducing the time needed for computation we can have a better dynamic display of the evolution of the brain potentials on the scalp.

I. INTRODUÇÃO*

O electroencefalograma (EEG), sinal recolhido sobre o escalpe e resultante da actividade bioeléctrica do cérebro, é ainda o principal meio não invasivo de investigação e de diagnóstico das patologias cerebrais. Habitualmente a recolha do sinal é feita recorrendo a 16 (ou mais) eléctrodos colocados sobre o escalpe segundo uma grelha espacial normalizada conhecida como o sistema 10-20 [1].

A análise do EEG pode ser feita, e é-o em grande parte das aplicações, por análise visual da evolução temporal dos 16 canais observados e registados graficamente em papel. Atendendo a que em muitas situações é necessário registar algumas horas de sinal, é clara a vantagem que os meios de tratamento automático podem trazer a esta disciplina clínica.

O médico especialista procura no traçado dos sinais a ocorrência de formas de ondas típicas e a partir das suas características (amplitude, frequência, duração, etc) e de correlações entre canais, extrai a informação que lhe permite o diagnóstico. Um dos métodos usados para mais facilmente visualizar as correlações espaciais é o chamado mapa de actividade cerebral que é uma representação das linhas equipotenciais no escalpe determinadas por métodos de interpolação a partir dos valores do sinal medido nos 16 ou mais canais disponíveis. Estes mapas aparecem como uma imagem colorida, correspondendo cada cor ao intervalo entre dois valores de tensão do sinal. Atendendo à tão baixa frequência de amostragem espacial, o mapa a duas dimensões que se obtém é uma representação não muito precisa mas que se revela muito

útil por resumir numa única imagem o comportamento conjunto dos diferentes canais.

Em geral o simples mapa determinado a partir dos potenciais instantâneos não se revela muito útil, preferindo-se o mapa da potência do sinal em certas bandas de frequência.

A determinação da potência do sinal numa banda de frequência é feita calculando a transformada de Fourier de uma janela temporal do sinal (com uma duração dependente da resolução na frequência que se pretende) e efectuando em seguida a integração entre os limites de frequência desejados. Deslocando-se a janela poder-se-á então determinar a evolução temporal da potência do sinal, e a partir dos valores assim determinados para todos os canais construir um mapa da actividade cerebral que varia ao longo do tempo.

Neste trabalho propomos a determinação da potência do sinal por um outro método que consiste na filtragem directa do sinal na banda desejada e posterior estimativa de potência. O processamento directo no tempo permite obter um valor estimado de potência para cada instante de amostragem, independente de uma janela temporal como no método tradicional. Todo o sistema será construído em torno de um computador pessoal baseado num microprocessador Intel 80486, usando a linguagem C como ferramenta de programação e integrando este trabalho num sistema mais vasto, o LINE - Laboratório Integrado de Neurofisiologia- que tem vindo a ser desenvolvido em conjunto pelo grupo INESC do DETUÁ e o Serviço de Neurofisiologia do Hospital Geral de S. António no Porto [2].

II. MÉTODOS

O EEG é um sinal que na sua actividade de fundo tem um espectro que varia com $1/f$ e apresenta uma ou mais ressonâncias espectrais sempre que haja actividade rítmica. Considera-se que acima de 35 Hz não há em geral conteúdo espectral significativo. Desta forma é corrente amostrar o EEG a 100Hz a que corresponde um período de amostragem de 10ms. O nosso objectivo será efectuar as seguintes operações de processamento que permitem a obtenção de um novo mapa, no mais breve espaço de tempo, por forma a obtermos um efeito de animação na visualização dos mapas:

- i) Aquisição de sinal
- ii) Filtragem
- iii) Estimação da potência

* Trabalho realizado no âmbito da disciplina de Projecto.

- iv) Construção do mapa
- v) Visualização do mapa

A aquisição de sinal é feita usando uma placa DT821 da Data Translation e a sua descrição pode ser encontrada em [2]. O sinal é digitalizado em 12 bits e representado segundo o formato definido por SIGIF [3] ao longo de todo o processamento, mantendo assim a referida compatibilidade com o sistema já desenvolvido.

A. Filtragem

A filtragem faz-se usando dois filtros, um passa-alto e um passa-baixo com frequências de corte seleccionáveis segundo a Tabela 1. O utilizador poderá assim escolher a banda de frequências mais apropriada à sua aplicação. Os filtros implementados são FIR de ordem 61 e foram projectados usando o método "directo" incluído no programa Monarch [4] que corresponde ao método das séries de Fourier [5].

TABELA 1
FREQUÊNCIAS DE CORTE DOS FILTROS PASSA-BAIXO E PASSO-ALTO.

Frequências de corte dos Filtros passa-baixo	Frequências de corte dos Filtros passa-alto
15.0 Hz	10.0 Hz
10.0 Hz	5.0 Hz
7.5 Hz	3.0 Hz
5.0 Hz	2.0 Hz
3.0 Hz	1.0 Hz

B. Estimação da potência

A aplicação de uma não linearidade seguida de uma filtragem passa-baixo com uma frequência de corte apropriada, é um simples método para a estimação da potência. Neste trabalho usou-se, como se esquematiza na figura 1, um rectificador seguido de um filtro IIR passa-baixo com um único polo correspondente a uma frequência de corte de 0.05 Hz (a que corresponde uma constante de tempo de 3.18s). Este valor foi escolhido tendo em atenção que a variação da potência do sinal é, em geral, muito lenta.

A implementação deste filtro é feita através da seguinte equação de diferenças:

$$y(n) = a.x(n) + b.y(n-1)$$

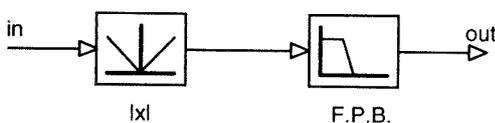


Figura 1- Estimador de potência.

C. Construção dos mapas

O mapa de actividade não vai ser determinado sobre a superfície do escalpe mas sobre um círculo. Uma vez mais se está a usar uma aproximação grosseira no sentido de se simplificarem os cálculos. O círculo é discretizado num número finito de elementos - *pixels* - e em vez de se proceder ao cálculo das equipotenciais, determina-se o potencial para cada um dos *pixels* e atribui-se-lhe uma cor de acordo com uma dada escala.

No nosso caso o número de *pixels* é de 4344, correspondente a um raio de 37 *pixels*, número determinado por um compromisso entre o tempo de cálculo e a resolução da imagem obtida.

Para calcular o potencial num ponto usa-se uma interpolação muito simples: o potencial é determinado pela média dos potenciais nos quatro eléctrodos mais próximos, pesados pelo inverso das distâncias aos eléctrodos. [5].

Para cada ponto *i* teremos então um potencial V_i dado por

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^4 \frac{V_j}{d_{ij}}}{\sum_{j=1}^4 \frac{1}{d_{ij}}}$$

que facilmente se pode desenvolver em

$$V_i = V_{i1} P_{i1} + V_{i2} P_{i2} + V_{i3} P_{i3} + V_{i4} P_{i4}$$

com

$$P_{ij} = \prod_{k=1, k \neq j}^4 \frac{d_{ik}}{D_i}$$

e

$$D_i = d_{i2}d_{i3}d_{i4} + d_{i1}d_{i3}d_{i4} + d_{i1}d_{i2}d_{i4} + d_{i1}d_{i2}d_{i3}$$

Como se pode observar para cada ponto é necessário fazer sempre o mesmo tipo de operações: determinar os 4 electrodos mais próximos, determinar os respectivos pesos e fazer a interpolação. As duas primeiras operações podem ser feitas previamente e usadas sempre que se pretende determinar um mapa. Na nossa implementação foi previamente determinado para cada *pixel* quais os 4 canais mais próximos e respectivos pesos. Esta informação constitui o que chamamos matriz de referência para o método de interpolação e é carregada com o programa desenvolvido. Desta forma para cada *pixel* apenas é necessário efectuar quatro multiplicações e três adições, diminuindo muito o tempo de cálculo necessário.

D. Visualização

A visualização dos mapas obtidos pode ser feita em dois modos distintos. Num deles, pode-se visualizar simultaneamente um mapa e de 1 a 16 sinais de EEG. No

outro só é feita a visualização do mapa, mas quatro vezes maior.

No primeiro caso, cada *pixel* do mapa calculado é representado graficamente por um *pixel* do *display* enquanto que no segundo caso se faz um *zoom* ×4, isto é, cada *pixel* do mapa é representado, por um quadrado de 4×4 *pixels* do *display*.

III. RESULTADOS

Os primeiros testes do sistema desenvolvido num computador pessoal com um processador 80486 da Intel e dotado de um relógio de 33 MHz, permitiram medir os seguintes tempos de processamento para cada uma das tarefas:

TABELA 2
TEMPOS DE PROCESSAMENTO

Aquisição de sinal + Filtragem + Estimação de potência	5.7 ms
Cálculo dos mapas	110 ms
Visualização de sinais EEG e mapa pequeno	35 ms
Visualização do mapa grande	190 ms

Como se pode verificar o tempo de cálculo para a determinação da potência nos 16 canais é inferior ao período de amostragem habitualmente usado. No entanto a determinação dos mapas e sua visualização excede largamente o tempo disponível entre duas amostras consecutivas. Isto não é muito grave para os nossos objectivos já que a taxa de variação da potência é em geral muito baixa e está limitada pela largura de banda do filtro passa-baixo incluído no processamento. Desta forma é possível efectuar uma forte decimação à saída dos estimadores de potência e actualizar a visualização a um ritmo muito mais baixo do que o de amostragem do sinal. Assim, atendendo aos tempos de cálculo indicados para a visualização dos mapas e à disponibilidade de 4.3ms entre amostras consecutivas é possível a taxa de actualização de 3 por segundo correspondente a uma decimação de 32:1 no caso do mapa pequeno, e no caso do mapa grande de 1.5 por segundo correspondente à decimação de 70:1.

Estas taxas são suficientes para se observar a evolução temporal dos mapas, e maiores que as habitualmente obtidas usando a DFT. Estas taxas podem evidentemente ser aumentadas usando um processador com um relógio mais rápido.

Apresentam-se em seguida alguns exemplos da visualização obtidos com o sistema desenvolvido, onde por razões óbvias se eliminou a cor e se reduziu o número de níveis dos mapas apenas a 8. Na figura 2 mostram-se os resultados do processamento temporal: um sinal de EEG, o mesmo sinal filtrado e a estimativa da sua potência na banda de frequência seleccionada. Nas figuras 2 e 3 pode-

se ver um mapa de actividade nas duas versões de visualização já referidas.

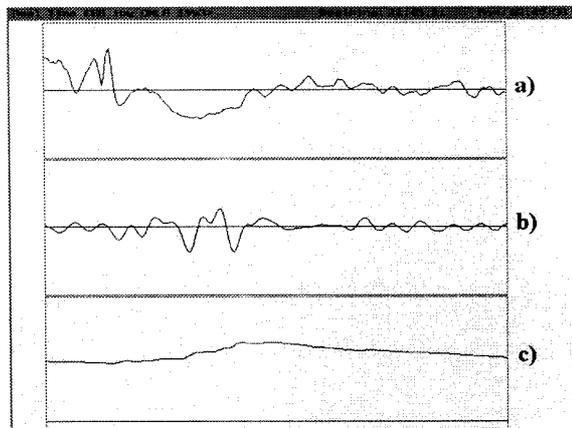


Figura 2: a)Sinal de EEG b)sinal filtrado c)potência estimada

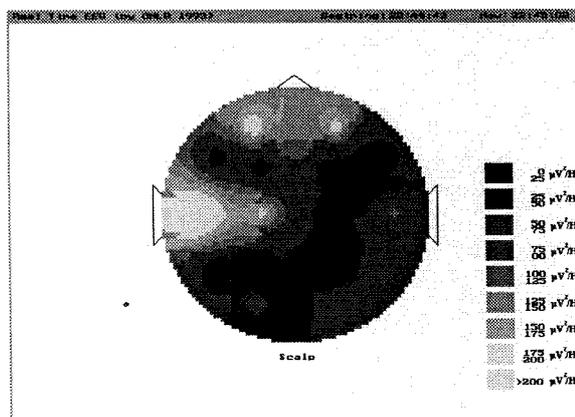


Figura 3: Mapa de actividade cerebral

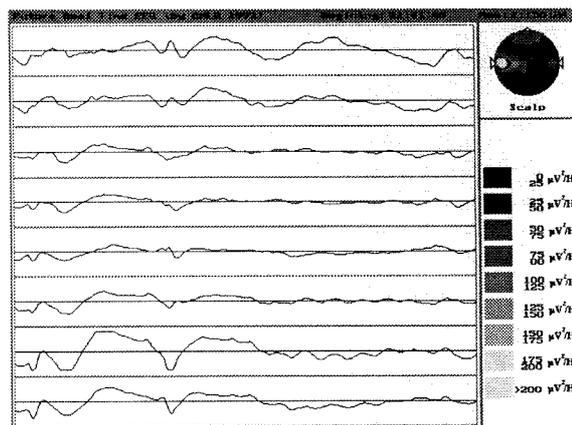


Figura 3: Mapa de actividade cerebral e sinal EEG

REFERÊNCIAS

[1] Report of the Committee on Methods of Clinical Examination in Electroencephalography of the International Federation 1957

- [2] Cunha, J.P., Guedes de Oliveira, P., Cunha, M.B., Martins da Silva, A.: "Integration of Multimedia information in a clinical neurophysiology department" *Proceedings of the 15th Annual International Conference of IEEE-EMBS*, 624-625, San Diego, Cf, USA, 1993.
- [3] Cunha, M.B., Cunha, J.P., Oliveira e Silva, T.: "SIGIF: A digital signal interchange format for biological signals", *Proceedings of the 15th Annual International Conference of IEEE-EMBS*, 644-645, San Diego, Cf, USA, 1993.
- [4] *MONARCH: User's Manual*, The Athena Group, Inc., Gainesville, FL, USA, 1988.
- [5] Kuc, R.: *Introduction to digital signal processing*, McGraw Hill Book Company, New York, USA, 1988.
- [6] Fred, A.N.L.: *Representação topográfica e classificação automática de sinais electroencefalográficos*. Dissertação de mestrado, IST, Lisboa, 1988.