

UM SISTEMA PARA AQUISIÇÃO DE SINAIS BIOLÓGICOS, DETECÇÃO DE ARTEFATOS E CÁLCULO DE MÉDIA SÍNCRONA DISPARADA POR ESTÍMULO OU POR SINAL DE LATÊNCIA MAIOR

C. ITIKI e A. F. KOHN

RESUMO -- Foi desenvolvido um programa englobando aquisição de sinais biológicos, rejeição de artefatos e cálculo de média síncrona. Para a escolha de um algoritmo de rejeição de artefatos foram analisados vários registros com diferentes artefatos obtidos experimentalmente em nosso laboratório. Adicionalmente foi desenvolvido um programa para aquisição de sinais e cálculo da média síncrona com referencial de tempo obtido de um segundo sinal biológico sincronizado com o primeiro. Ambos programas apresentaram bom desempenho e estão em pleno uso como ferramentas de apoio à pesquisa neurofisiológica.

INTRODUÇÃO

A técnica de média síncrona tem sido de extrema utilidade tanto em clínica (Chiappa, 1983; Spehlman, 1985) quanto em pesquisa básica (Fetz e Gustafson, 1983). No caso clínico há uma grande ocorrência de artefatos que devem ser detectados evitando-se assim que a média síncrona seja acrescida de sinais deturpantes. Este cuidado deve ser tomado uma vez que é bem sabido que a média de N amostras é muito sensível mesmo a poucos valores anômalos ("outliers") neste conjunto de amostras. Um estimador menos sensível a artefatos é a mediana síncrona (Walter, 1971), mas devido ao tempo extremamente grande de processamento não tem sido utilizada na prática. Nas aplicações mais comuns de potenciais evocados utilizados na clínica neurológica, o processamento de média síncrona é disparado por um referencial de tempo associado ao estímulo sensorial aplicado ao paciente. Em outras aplicações a operação de média síncrona é disparada por um evento bioelétrico.

O objetivo do trabalho a ser descrito a seguir foi o de implementar um sistema para o nosso laboratório, baseado em um microcomputador compatível com IBM/PC-XT, que efetuasse a aquisição de sinais, a detecção de artefatos e o cálculo de média síncrona disparada por estímulo, voltado para aplicações principalmente de potenciais evocados. Um sistema complementar foi implementado para realizar a média síncrona disparada por um sinal bioelétrico de latência um pouco maior que o sinal de interesse. Inúmeros sistemas computadorizados de aquisição e cálculo de média síncrona para potenciais evocados tem sido descritos na literatura. Entretanto, não conseguimos localizar na literatura disponível figuras em número e detalhe suficientes dos vários artefatos que ocorrem no exame de potenciais evocados. Estes dados seriam necessários para a criação de um algoritmo de detecção de artefatos. Além do mais, para uma análise mais detalhada e

Laboratório de Engenharia Biomédica, Escola Politécnica da USP,
Departamento de Engenharia de Eletricidade, Cx. Postal 61548,
CEP: 05508, São Paulo, SP.

precisa deve-se ter os sinais disponíveis para manipulação em um computador, e não meramente em figuras de artigos. Por estas razões, efetuamos um estudo experimental de artefatos para poder chegar a um algoritmo baseado em experiência própria.

Definições

Potenciais evocados são sinais elétricos transitórios gerados pelo sistema nervoso em resposta a estímulos sensoriais breves e são classificados segundo o tipo de estímulo utilizado em auditivos, visuais e somestésicos.

Definimos como artefatos sinais transitórios indesejados sobrepostos ao sinal de interesse. Essa definição exclui tanto o ruído de fundo de origem biológica e/ou eletrônica quanto as interferências. Estes últimos são sinais indesejados de caráter não transitório e de origem externa. A rejeição de artefatos é um item importante na realização de exames de potenciais evocados, pois sua ausência pode afetar os resultados de forma a inutilizá-los.

Latência é o intervalo de tempo entre um referencial de tempo e um ponto específico do sinal analisado. Um sinal tem latência maior do que outro se está atrasado em relação àquele.

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE ARTEFATOS E ESCOLHA DE UM ALGORITMO

Parte experimental

Foram realizadas aquisições de eletroencefalogramas (EEGs) em dois voluntários, tanto com olhos abertos quanto fechados, nos quais provocamos o aparecimento de diversos tipos de artefatos. Os artefatos incluíram: torções da cabeça em diversos ângulos e velocidades, piscadas de olhos, contrações de musculatura da face e do tronco, movimentação dos fios dos eletrodos, simulação de mau contacto em um eletrodo, ação de ligar e desligar um equipamento vizinho.

Os materiais utilizados nessas aquisições foram :

- 3 eletrodos do tipo "cup" de Ag/AgCl
- gel eletrolítico hidrossolúvel da IMBRALAB
- 1 amplificador para sinais biológicos desenvolvido no L.E.B./E.P.U.S.P. (Muranaka et al, 1984)
- 1 microcomputador compatível com IBM/PC-XT
- 1 placa de conversão analógico-digital CAD 10/26 da Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda., com 16 canais de entrada independentes, 10 bits de resolução, configurado para entradas na faixa de -5.00V a +4.99V e tempo de conversão típico de 20 μ s
- 1 programa para aquisição de dados AqDados da Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda.
- 1 gravador HP 3960A
- 1 osciloscópio Tektronix 5113

Realizou-se uma limpeza de pele, por meio de uma fricção com algodão embebido em álcool, para diminuir a ocorrência de artefatos não controlados. Os eletrodos foram preenchidos com gel e presos com esparadrapo cirúrgico aos locais anteriormente fric-

cionados com algodão. Os eletrodos ativos foram colocados em um lóbulo e no vértex. O eletrodo de terra foi colocado no lóbulo contralateral. O filtro passa baixas do amplificador foi ajustado para frequência de corte de 3 kHz, o passa altas para 100 Hz e todos os filtros rejeita-faixa (centrados em 60 Hz, 180 Hz e 300 Hz) estavam ativados. A saída do amplificador foi ligada ao canal 0, de entrada da placa CAD 10/26. O voluntário estava bem acomodado em uma poltrona com encostos para os braços e cabeça. Normalmente estava relaxado, exceto quando instruído para efetuar algum movimento. As aquisições foram feitas por intermédio do programa AqDados.

Exemplos

A figura 1(a) mostra um artefato causado por uma contração muscular, mais precisamente uma virada de cabeça para a direita. Deve-se ressaltar que a duração do artefato é bastante longa para uma janela de análise por volta de 10-15 ms, típica de potenciais evocados auditivos ou somestésicos. A ordenada tem a calibração compatível com a entrada do conversor A-D. A análise dos picos exige uma ampliação dos mesmos no eixo dos tempos. Em particular, a Fig. 1(b) mostra o pico apontado na Fig. 1(a) com o eixo de tempo expandido. As linhas horizontais contínuas servem como limites para a detecção de artefatos. A análise de várias figuras como estas permitiu que fosse adquirida uma boa visão dos artefatos típicos que podem ocorrer nos exames de potenciais evocados.

Algoritmo de detecção

Após a avaliação de alguns possíveis algoritmos de rejeição de artefatos por nós sugeridos heurísticamente, escolheu-se um algoritmo que pareceu abranger um grande número de situações. O algoritmo detecta: a) um pico com K ou mais amostras consecutivas acima do limiar e b) vários picos espalhados dentro da janela de aquisição totalizando L ou mais amostras acima do limiar. K e L são números inteiros diretamente proporcionais à frequência de amostragem (f_a) e inversamente proporcionais à frequência de corte (f_c) do filtro passa-baixas. L é também diretamente proporcional ao tamanho da janela de aquisição (j_a). E por isso que são fornecidos alguns valores típicos de f_a , f_c e j_a para os exames de potenciais evocados: $f_a=10$ KHz, $f_c=3$ KHz e $j_a=10$ ms para potenciais evocados auditivos de tronco cerebral e somestésicos; $f_a=1$ KHz, $f_c=300$ Hz e $j_a=250$ ms para potenciais evocados visuais. Para esses valores típicos de f_a , f_c e j_a , determinou-se que K deve ser igual a 5 e L igual a 10.

PROGRAMA PARA AQUISIÇÃO E CÁLCULO DE MÉDIA SÍNCRONA DE POTENCIAIS EVOCADOS COM REJEIÇÃO DE ARTEFATOS

Programa implementado

Neste programa, os próprios níveis de saturação do conversor A/D (-5,00 V e +4,99 V) foram escolhidos como limiares de detecção de artefatos. Desta forma, os amplificadores devem ser ajustados para que os sinais de entrada sem artefato ocupem cerca de 70 % da faixa de excursão do conversor A/D (-5,00 V a +4,99 V). O

software implementado em Pascal e Assembler, realiza aquisições com rejeição de artefatos, efetua a média síncrona das janelas de aquisição, desenha gráficos, salva os dados da média síncrona em arquivos e lê dados armazenados anteriormente em arquivos. O programa possui um menu principal que permite a escolha das opções descritas a seguir.

A opção 0 (Aquisição) pede ao usuário os dados de entrada necessários : número de canais, número de amostras por canal, frequência do clock do PC (4,77 MHz ou 8,00 MHz), taxa de amostragem, atraso entre estímulo e início de aquisição, taxa de estimulação, número de estímulos, números K e L para o algoritmo de rejeição. Após a entrada de dados e a inicialização, o programa principal chama um subprograma em Assembler, que não só realiza aquisições como também calcula somas síncronas, rejeita janelas de sinal com artefatos e envia um pulso de curta duração através de um conversor D/A (da placa CAD 10/26) para sincronizar o gerador de estímulos utilizados no exame, sejam eles auditivos, visuais ou elétricos.

A opção 1 (Visualização simultânea de todos os canais) desenha todos os canais adquiridos e processados numa tela gráfica. Esta opção só permite uma comparação qualitativa entre os canais, pois não são desenhadas as escalas horizontal e vertical.

A opção 2 (Visualização individual dos canais) pede duas informações : a primeira é se o usuário deseja ou não uma grade na tela gráfica e a segunda é o número do canal a ser desenhado. Nesta opção são desenhados os eixos vertical (com escala de tensão em V) e horizontal (com escala de tempo em s e ms).

A opção 3 (Salva a aquisição em arquivos) pede o nome principal dos arquivos nos quais serão salvos os dados da aquisição. Existe um arquivo de configuração cuja terminação é .CNF e que armazena alguns dos dados de entrada. Os outros arquivos tem como terminação o número do canal de aquisição precedido de um ponto (.) e armazenam os instantes e os valores das amostras da média síncrona.

A opção 4 (Lê arquivos externos) pede o nome principal dos arquivos a serem lidos. O arquivo de configuração é procurado no diretório e caso seja encontrado, seus dados são lidos para a memória. Uma vez na memória, esses dados poderão ser visualizados tanto através da opção 1 quanto pela opção 2.

Resultados

A figura 2 mostra um gráfico de um potencial evocado visual em resposta a flash, obtido pelo programa descrito acima.

Os materiais utilizados foram :

- 1 STROBOTAC 1531-AB da General Radio como estimulador, sincronizado externamente por pulso gerado pelo programa
- 3 eletrodos de disco da Sensor Medics
- pasta eletrolítica gelatinosa da Sensor Medics
- 1 amplificador para sinais biológicos desenvolvido no L.E.B./E.P.U.S.P. (Muranaka et al, 1984)
- 1 osciloscópio Tektronix 5113
- 1 microcomputador compatível com IBM/PC-XT

- 1 monitor policromático de alta resolução
- 1 placa de conversão analógico-digital CAD 10/26 da Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda.
- 1 amplificador de isolação entre a CAD 10/26 e o STROBOTAC

Todos os eletrodos foram colocados na linha sagital sendo que o eletrodo de terra foi colocado 12 cm acima do nasion e os eletrodos ativos foram colocados no vértex e 5 cm acima do inion.

Os filtros do amplificador eletrônico estavam configurados da seguinte forma : passa-altas em 1Hz, passa-baixas em 300 Hz, rejeita faixa em 60 Hz, em 180 Hz e em 300 Hz. O flash possuía 3 us de duração e 11 Megalux de intensidade de pico a 1 metro de distância.

A taxa de amostragem foi de 2000 amostras/s, a taxa de estimulação foi de 1,3 estímulos/s, o número de amostras por janela foi de 500, o número de estímulos foi de 200 e o atraso entre o estímulo e o início da aquisição de 0,406 ms. Foi utilizado apenas um canal de entrada.

PROGRAMA PARA AQUISIÇÃO E CÁLCULO DE MÉDIA SÍNCRONA DE UM SINAL BIOLÓGICO COM SÍNCRONISMO OBTIDO DE SINAL DE LATÊNCIA MAIOR

Programas implementados

O software realiza uma média síncrona para trás, ou seja, os dados de interesse são aqueles adquiridos antes da chegada de um pulso de sincronismo derivado de um outro sinal biológico.

Inicialmente, desejava-se um programa genérico que realizasse aquisições tanto em taxas relativamente elevadas de amostragem (em torno de 10 kHz), quanto em taxas menores. Para isso, implementou-se (em Assembler) um programa que utiliza interrupções provocadas pela saída de um contador da placa de aquisição. As taxas de amostragem são programadas no contador e a média síncrona é efetuada quando da chegada do sincronismo derivado do sinal de latência maior. A rotina de tratamento de interrupção cuida tanto da aquisição e armazenamento de um dado novo quanto da verificação da chegada do pulso de sincronismo. No entanto, verificou-se que o programa não conseguia cobrir taxas de amostragem em torno de 10 kHz. Como estas taxas seriam de especial interesse para nossas pesquisas a curto prazo, foi desenvolvido um programa estanque que realiza aquisições nesta taxa de amostragem. Segue uma descrição sucinta deste último programa.

São utilizados 2 canais de entrada do A/D. O canal 0 recebe um pulso de sincronismo obtido do sinal de latência maior. O sinal de interesse é conectado ao canal 1. As entradas dos canais 0 e 1 são lidas cíclica e alternadamente. Os dados lidos no canal 1 são armazenados num "buffer" circular, ou seja, quando o "buffer" fica cheio, o dado mais antigo é substituído pelo novo dado lido. Os dados do canal 0 não são armazenados, mas apenas comparados com um limiar. Caso a entrada do canal 0 ultrapasse esse limiar, o programa sai do "loop" de leitura de dados e passa à realização da soma síncrona. O número de janelas a serem somadas pode ser escolhido pelo usuário, enquanto que o tamanho do "buffer" circular é pré-fixado em 64 amostras. No final do pro-

grama é realizada a média, a partir dos resultados da soma síncrona e do número de janelas somadas. O programa apresenta um gráfico da média síncrona e possibilita o armazenamento em arquivos dos resultados da média síncrona e da última janela de aquisição.

Resultados

Os sinais adquiridos foram obtidos de um gerador eletrônico de potenciais sintéticos desenvolvido no L.E.B. (Kohn, 1989).

A fig. 3 mostra uma função amostral do sinal sem processamento (curva 1) e o sinal resultante da média síncrona para 1000 eventos (curva 2). O final da escala de tempo (vide seta) indica o instante do referencial de tempo, obtido a partir de um segundo sinal (não mostrado na figura) cujo pico ocorre posteriormente à ocorrência do sinal em estudo (curva 2).

CONCLUSÃO

O presente trabalho além de ter gerado um sistema muito útil para adquirir sinais biológicos e melhorar sua relação sinal/ruído, também permitiu analisar diversos tipos de artefatos, desta forma fornecendo subsídios para uma escolha criteriosa de um algoritmo para a detecção dos mesmos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro da FINEP/PADCT, da CCI/USP e da FAPESP (processo 87/0947-1).

REFERÊNCIAS

- CHIAPPA, K. H. (1983), *Evoked Potentials in Clinical Medicine*, Raven Press, New York.
- FETZ, E. E., GUSTAFSSON B. (1983), "Relation Between Shapes of Post-Synaptic Potentials and Changes in Firing Probability of Cat Motoneurons", *J. Physiol.* Volume 341, páginas 387-410.
- KOHN, A. F. (1989), "Versatile Waveform Generator for Testing Neuroelectric Signal Processors", *J. Neurosci. Meth.*, no prelo.
- MURANAKA, C. S., RONA, P. M., KOHN, A. F. (1984), "Amplificador de Sinais Biológicos para Eletrofisiologia e Neurologia". XIX Congresso Brasileiro de Fisiologia, página 92.
- SPEHLMANN, R. (1985), *Evoked Potential Primer*, Butterworth, Boston.
- WALTER, D. O. (1971), "Two Approximations to the Median Evoked Response", *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, Volume 30, página 246-247.

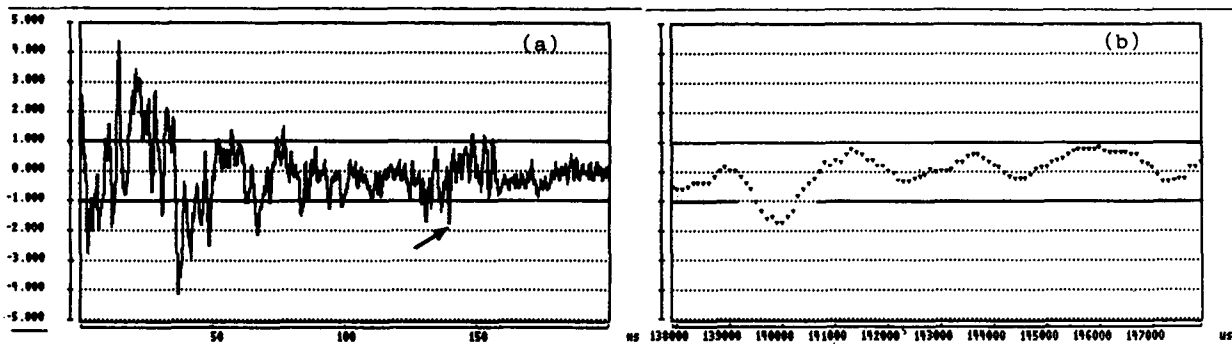


Figura 1. (a) Artefato causado por contração muscular
(b) Expansão de um dos picos da figura 1(a)

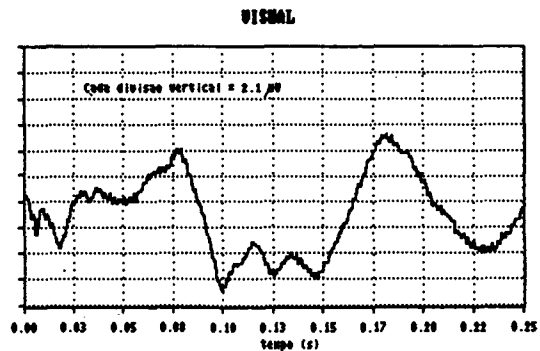


Figura 2. Potencial evocado visual.

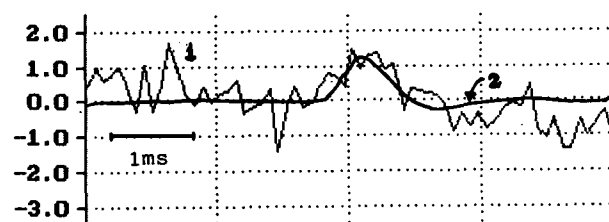


Figura 3. Média síncrona. O sincronismo foi obtido de um sinal de latência maior.

A SYSTEM FOR BIOLOGICAL SIGNAL ACQUISITION, ARTIFACT
REJECTION AND SIGNAL AVERAGING WITH SYNCHRONISM FROM
A STIMULUS OR A LARGER LATENCY SIGNAL

ABSTRACT -- A microcomputer program was developed for the acquisition of biological signals, artifact rejection and stimulus-locked averaging. Several artifacts were generated experimentally and their analysis led to an artifact rejection algorithm. Another program was also developed and it does a signal averaging with the time reference chosen from a larger latency time-locked waveform. Both programs have been used as tools for our lab's research projects, with good performance.