

TOPOLOGIA DE HARDWARE E SOFTWARE PARA SISTEMAS DE CONTROLE BCI

A HARDWARE AND SOFTWARE TOPOLOGY FOR BCI CONTROL SYSTEMS

Data de entrega dos originais à redação em:01/02/2016

e recebido para diagramação em:30/11/2016

Celso Coslop Barbante¹

José Raimundo de Oliveira²

Sistemas tradicionais de BCI usam equipamentos grandes e caros de EEG junto a computadores pessoais e software para processamento digital e análise dos sinais. Com os avanços no processamento digital de sinal, algoritmos não supervisionados e hardware reconfigurável (FPGA), um particionamento para o sistema BCI é proposto com quatro blocos principais e uma divisão clara entre hardware e software. A parte em hardware que reduz significativamente o tamanho e custo do sistema, enquanto mantém o computador pessoal na interface com o paciente, de modo a manter o sistema flexível e com uma interface de software conveniente e fácil de usar.

Palavras-chave: *Sistemas de controle inteligentes, Processamento digital de sinais, Sistemas em FPGA.*

Traditional BCI systems use large and expensive EEG equipment alongside personal computers and software for digital processing and signal analysis. With advances in digital signal processing, unsupervised algorithms and reconfigurable hardware (FPGA), a partitioning for the BCI system is proposed with four main blocks and a clear division between hardware and software. The hardware part that significantly reduces the size and cost of the system while keeping the personal computer at the interface with the patient in order to keep the system flexible and with a convenient and easy to use software interface.

Keywords: *Intelligent control systems, Digital signal processing, FPGA systems.*

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo -IFSP Campus Campinas, celsocos@gmail.com

²Departamento de Computação e Automação Industrial, DCA/FEEC/UNICAMP, Campinas, Brasil, jro@dca.fee.unicamp.br

1 INTRODUÇÃO

BCI significa interface cérebro-computador e é um sistema de controle com realimentação no qual mensagens elétricas correspondentes aos desejos dos usuários, respostas a perguntas simples ou imaginação de movimentos são enviados ao mundo externo usando um caminho diferente do sistema usual de músculos e nervos periféricos. No início isso foi apenas especulação ou ficção, tal como apresentado no filme *Firefox* por THOMAS (1977). Avanços em algoritmos de processamento de sinais e a separação dos sinais cerebrais mostrado por AMAR et.al (2008) e SCOTT e JULIE (2009) tornaram isso uma realidade, e hoje sistemas BCI podem fornecer respostas para perguntas simples, como demonstrado por MINER et.al (1998) e chegar a atingir até 85% de precisão, com verificação de resposta e calibração adequada, como mostrado no trabalho de WOLPAW et.al (2008).

Estes sistemas são necessários porque em algumas situações adversas pessoas não podem usar o caminho normal para estimular seu próprio corpo. Isso pode ser causado por doenças degenerativas, traumas ou problemas genéticos chegando a afetar milhões de pessoas ao redor do mundo, conforme MURRAY e LOPEZ (1996). As pessoas nestas condições apresentam deficiências severas e às vezes podem ser consideradas presas em seu próprio corpo, dependendo de cuidados intensos para manter uma qualidade de vida aceitável. O foco do sistema da BCI é fornecer uma ajuda valiosa para essas pessoas. O sistema BCI já foi usado para permitir a comunicação por síntese de fala como feito por BLANKERTZ et.al (2010), controle de órteses de mão em PFURTSCHELLER et.al (2000) e controle de infravermelho por CHEN et.al (1999).

Como a interface BCI não é o processo usual para controlar os músculos ou responder perguntas, esta é uma habilidade que também precisa ser desenvolvido pelo paciente. O sistema BCI converte o sinal eletrofisiológico do Sistema Nervoso Central em sinais elétricos que refletem a intenção paciente, criando mensagens e comandos para interagir com o mundo externo, em substituição às vias convencionais. O sistema BCI deve entender este sinal fisiológico e diferenciar o desejo do paciente de sinais de EEG normais que não refletem comunicação ou intenção de movimento, como mostrado por PFURTSCHELLER e LOPES (1999). Além disso, a posição dos eléctrodos e seleção de frequências adequadas desempenham um papel importante no processo, demonstrado por PFURTSCHELLER et.al (1996).

2 BCI DEPENDENTE E INDEPENDENTE

O BCI dependente é um termo que reflete o sistema que não usa o caminho normal para transportar mensagens de elétricas, mas a atividade nesses caminhos é necessária para gerar a atividade cerebral de interesse. Um exemplo é o potencial elétrico visual estimulado através dos olhos (sigla em inglês SSVEP - Steady State Visual Evoked Potential) obtidos do couro cabeludo na região do córtex visual. Neste exemplo, o sinal usado para controle é uma saída de cérebro, mas a geração deste sinal depende de estimulação visual, usando os músculos e nervos ópticos que não é parte do Sistema Nervoso Central. Ver KELLY et.al (2005). Assim, o BCI dependente é essencialmente um método alternativo para a detecção de mensagens transportadas em vias de saídas normais do cérebro.

O BCI independente usa apenas na atividade cerebral, e não há nenhuma entrada originária de nervos e músculos, logo estes caminhos podem estar bloqueados ou danificados sem gerar inconvenientes na operação do sistema BCI. Uma pessoa cega não pode usar o SSVEP para gerar estímulos elétricos, mas pode usar o BCI independente estimulando potenciais cerebrais específicos, simplesmente concentrando-se em um símbolo pré-definido e então controlando um potencial elétrico do cérebro para acionar um dispositivo externo.

O BCI independente tem a geração de saída e o sinal de estimulação no próprio cérebro, dependendo apenas do desejo do paciente. Só o Sistema Nervoso Central está envolvido na operação, sendo este tipo de sistema BCI mais complexo para implementar e controlar do que o sistema BCI dependente.

3 PROPOSTA PARA UM SISTEMA DE CONTROLE BCI

Tanto o sistema BCI dependente e independente podem ser entendidos como um sistema composto por alguns blocos principais, cada um com peculiaridades e desafios específicos. O sistema convencional de BCI tem foco no processamento por software usando um PC, que normalmente também realiza o sistema de interface para o usuário, formalizado por SCHALK et.al (2003).

Um diagrama de bloco será apresentado e discutido, e na próxima seção será desenvolvido uma divisão clara entre hardware e software para permitir avanços na implementação desse sistema usando também recursos de hardware.

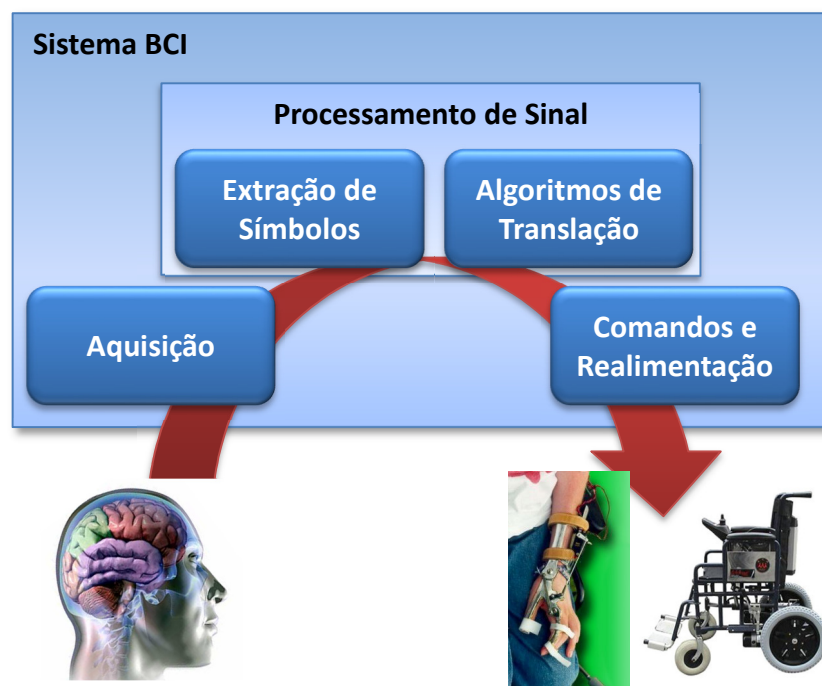


Figura 1 – Representação do Sistema BCI usando quatro blocos

Cada uma das quatro partes na Figura 1 tem seus próprios desafios e interesse científico e por esta razão podem ter uma abordagem diferente para o desenvolvimento da pesquisa científica.

3.1 Aquisição

A aquisição de sinal consiste na captura e digitalização do sinal do cérebro da superfície do couro cabeludo ou no córtex, convertendo o sinal analógico, elétrico, em um fluxo de bits digitais que pode então ser processado convenientemente.

Esta aquisição de sinal pode ser gravada da superfície da cabeça com eletrodos no couro cabeludo (externos do crânio), ou na superfície do cérebro em si, usando métodos invasivos (internos no crânio). O osso do crânio desempenha um papel importante nesta aquisição de

sinal porque o crânio apresenta um fator de atenuação e mistura de sinais relevante, como explicado no livro de POLISH e NIEDEMEYER (1999).

Os eletrodos no couro cabeludo têm a grande vantagem de ser um método não invasivo, no entanto o sinal é atenuado e misturado pelo osso do crânio com outros sinais do cérebro e podem ser contaminados com estímulos de músculos e interferência de sinais EMG. O método invasivo pode ser muito eficaz do ponto de vista elétrico, pois os sinais terão mais amplitude e menos artefatos elétricos, conforme demonstrado por WILLIAM et.al (1999). No entanto, para colocar um eletrodo na superfície do cérebro, uma neurocirurgia é necessária, e o material do eletrodo e a degeneração do contato elétrico é um problema a ser abordado no uso por longo prazo, assim o método não-invasivo é geralmente o preferido. Ver SCHMIDT et.al (1988).

3.2 Extração de símbolos

Uma vez que o sinal é capturado digitalmente, o mesmo deve ser filtrado e a intenção do paciente extraída por meio de símbolos elétricos. O sinal de EEG desejado que codifica a mensagem do usuário ou o comando deve passar por remoção de artefatos, filtragem e separação utilizando técnicas com algoritmos de filtros sem supervisão ou filtragem espacial que pode adaptar-se às características específicas de cada paciente. Um filtro inteligente espacial pode ser implementado com dois níveis de limiares e os níveis ajustados de forma controlada para cada paciente, integrando o sinal uma vez que cruzar o primeiro limiar e processando o sinal que passar um segundo limiar, como ilustrado na Figura 2.

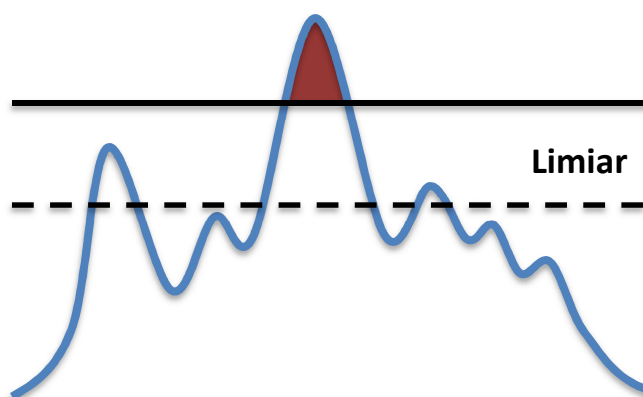


Figura 2 – Detecção de sinal válido com dois limiares

Isto é importante porque qualquer indivíduo é único e assim o BCI depende de treinamento do paciente onde cada pessoa pode desenvolver diferentes habilidades para controlar sinais de EEG. O processamento de sinal também pode apresentar uma combinação de análise no domínio do tempo e frequência para melhorar o desempenho.

3.3 Algoritmos de Translação

Com o sinal de EEG filtrado, livre o máximo possível de interferência muscular, EMG e outras fontes do Sistema Nervoso Central não relacionadas com potencial elétrico de interesse, o sinal pode ser traduzido em comandos elétricos de saída. Esta é uma parte difícil porque deve-se diferenciar o comando do usuário da atividade cerebral normal que não reflete qualquer intenção específica para o sistema da BCI: Cada indivíduo é único, e o algoritmo de tradução deve ser capaz de adaptar-se às características dos pacientes. Ver YANGA et.al (2010).

Isso pode ser feito em duas etapas: adaptação inicial do sinal, quando o sistema aprende a discriminar características elétricas do usuário por uma amostragem inicial de sinais

conhecidos, com assistência profissional na aprendizagem deste algoritmo inicial. Por exemplo, se o recurso de sinal usado for a amplitude do ritmo mu , o algoritmo ajusta-se a capacidade que o usuário possui de controlar as amplitudes do ritmo mu .

Como qualquer indivíduo apresenta variações individuais de curto e longo prazo que são relacionadas à hora do dia, níveis hormonais, fadiga, doença e outros aspectos biológicos e ambientais, esta adaptação de nível de sinal será eficaz apenas com uma calibração adaptável e periódica, portanto o processo adaptativo não é um processo inicial, mas um processo periódico que neste caso deve acomodar as variações diárias das características de resposta do usuário.

3.4 Comandos para dispositivos e realimentação

O dispositivo de saída pode ser uma tela de computador, um controle de prótese, ou até sistemas mais complexos como sintetizadores de voz. Comandos ou letras podem ser mostradas em uma tela de computador, permitindo que o usuário selecione letras, sim/não, respostas, ícones e outras interfaces exigidas pela condição de cada usuário. Para obter um exemplo, veja a Figura 3.



Figura 3 – Interface com PC para sintetizador de voz

Habilitar a comunicação pelo uso do sistema BCI pode parecer muito lento, mas para um paciente com deficiência grave a possibilidade de fazer o pedido de comida, água e responder Sim/Não a perguntas pode apresentar uma grande melhoria na qualidade de vida.

4 PROPOSTA DE PARTICIONAMENTO ENTRE HARDWARE E SOFTWARE

Do ponto de visto do sistema BCI, excetuando a aquisição de sinal, todos os outros blocos principais podem ser feitos em software, usando o PC como plataforma básica para as necessidades de processamento. Mas sistemas de PC baseados softwares de laboratórios não são práticos para os usuários finais, e um particionamento claro entre hardware e software é necessário para o avanço desse sistema na sua utilização prática.

Esta partição permite que a comunidade científica se concentre em uma implementação de parcial em hardware, reduzindo tamanho e custos. Trabalhos recentes já mostram progressos nesta área de implementação em hardware como feito por GARCIA et al (2011) e SHAIQ et.al (2010).

A aquisição e filtragem do sinal atualmente é a parte do sistema BCI melhor adequada para uma implementação de hardware, que inicialmente pode ser executada usando lógica reconfigurável em sistemas FPGA com algoritmos de processamento digitais de sinais, criando uma separação mais clara entre hardware e software para sistemas do BCI, como sugerido na Figura 4.

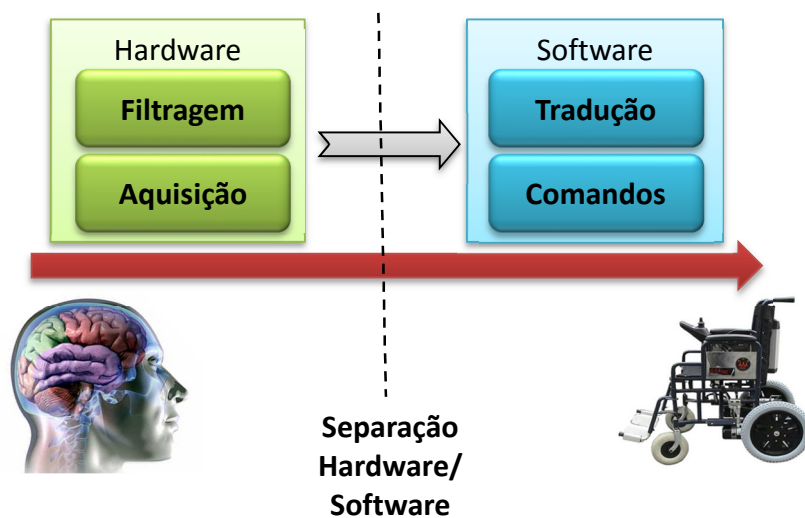


Figura 4 – Topologia proposta e separação entre Hardware e Software

Uma redução significativa do tamanho do sistema de aquisição é possível, permitindo a integração da placa de aquisição com uma placa de filtragem/pré-processamento em tempo real, ainda usando a conveniente Tradução e Interface de Comandos em um computador, para manter a flexibilidade do sistema.

Os algoritmos de tradução ainda são muito complexos para uma implementação de hardware, mas no futuro isso pode também ser possível com os avanços em hardware e simplificações de algoritmos e outras melhorias.

5 CONCLUSÃO

Foi apresentada uma breve revisão do sistema BCI, com foco em uma nova partição de sistema com blocos bem definidos. Um limite claro entre os blocos de hardware e software foi desenvolvido para ajudar a implementação prática do BCI e futuras pesquisas.

Esta nova divisão e diagrama de blocos do sistema BCI pode ajudar a alcançar o uso prático em ambientes convencionais, reduzindo o tamanho e permitindo o processamento em tempo real de dados de EEG, concentrando esforços na aquisição, filtragem e extração de sinais em hardware, enquanto os esforços de software concentram-se em algoritmos de traduções, interface e realimentação para o usuário, controlando os diversos sistemas que podem tirar proveito da interface cérebro-computador no futuro.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer o apoio financeiro da CAPES e o apoio do departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

REFERÊNCIAS

- AMAR K., Laurent A., Lotfi S., and Pierre C. (2008) **ICA: A potential tool for BCI systems**. IEEE Signal processing magazine, page 57-68, 2008.
- BLANKERTZ B., Schmidt N. M., Treder M. S. **Gaze-Independent BCI spellers based on covert attention and feature attention**. IEEE Symposium on biomedical engineering, 2010
- CHEN Y. L., Tang F. T., Chang W. H., Wong M. K., Shih Y. Y., Kuo T. S. **The new design of an infrared-controlled human-computer interface for the disabled**. IEEE Transactions in rehabilitation engineering, 1999
- GARCIA P. A., Haberman M., Spinelli E. M. **A versatile hardware platform for Brain Computer Interfaces**. 32nd Annual international conference of the IEEE EMBS, 2011
- KELLY S. P., Lalor E. C., Finucane C., McDarby G., Reilly R. B. **Visual spatial attention control in an independent Brain-Computer Interface**. IEEE Transactions on biomedical engineering, Vol. 52, No. 9, 2005
- MINER L. A., McFarland D. J., Wolpaw J. R. **Answering questions with an EEG-based brain-computer interface (BCI)**. Achievements in physical medical rehabilitation, 1998.
- MURRAY C. J. L., Lopez A. D., editores. **The global burden of disease: a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 projected to 2020**. Global burden of disease and injury series. Harvard university press, 1996.
- PFURTSCHELLER G., Guger C., Muller G., Krausz G., Neuper C. **Brain oscillations control hand orthosis in a tetraplegic**. Neuroscience letter, 2000
- PFURTSCHELLER G., Lopes S. F. H. **Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles**. Clinical neurophysiology journal, 1999
- PFURTSCHELLER G., Flotzinger D., Pregenzer W., Wolpaw J. R., McFarland D. J. **EEG-based brain-computer interface (BCI): search for optimal electrode positions and frequency components**. Medical progress technology conference, 1996
- POLICH J., Niedermeyer E., Lopes da Silva F. H., editores. **Electroencephalography: basic principles, clinical applications and related fields**, 4th ed. Baltimore, MD: Williams and Wilkins Press, 1999
- SCHALK G., McFarland D. J., Hinterberger T., Birbaumer N., Wolpaw J. R. **BCI2000: A general-purpose Brain-Computer Interface (BCI) system**. IEEE Transactions on biomedical engineering, Vol. 51, No. 6, 2003
- SCHMIDT E. M., McIntosh J.S, Bak MJ. **Long-term implants of Parylene-C coated microelectrodes**. Medical Biology and Computing; 26:96-101, 1998
- SCOTT M. e Julie O. **ERP Features and EEG Dynamics: An ICA Perspective**. Oxford handbook of Event-Related Potential Components, 2009

SHYU K. K., Lee P. L., Lee M. H., Lin M. H., Lai R. J., Chiu Y. J. **Development of a Low-Cost FPGA-Based SSVEP BCI Multimedia Control System.** IEEE Transactions on biomedical circuits and systems. Vol. 4, No. 2, 2010

THOMAS C. **Firefox**, New York, NY: Holt, Rinehart and Winston, 1977

WILLIAM J. C., Rennaker R. L., Kipke D. R. **Long-term neural recording characteristics of wire micro-electrode arrays implanted in cerebral cortex.** International Conference of the IEEE EMBS, 1999

WOLPAW J. R., Ramoser H., McFarland D. J., Pfurtscheler G. **EEG-based communication: improved accuracy by response verification.** IEEE transactions in rehabilitation engineering, 2008

YANGA F., Chena W., Wu B., Qi Y., Luo J., Su Y., Dai J., Zheng X. **An adaptive BCI system for virtual navigation.** IEEE Press, 2010