

Projeto e construção de um sistema BCI-SSVEP baseado em análise de correlação canônica

Palavras-Chave: BCI, CCA, Classificador linear.

Autores/as:

Bruno César Giacomazzi [FEEC/UNICAMP]

Prof. Dr. Rafael Ferrari (orientador/a) [DCA/FEEC/UNICAMP]

INTRODUÇÃO:

Uma interface cérebro-computador ou BCI (do inglês *Brain Computer Interface*) é um sistema de comunicação que permite que a atividade elétrica cerebral de um indivíduo seja codificada e decodificada. Nela, o sinal cerebral é coletado e enviado a um computador que executa um processo conhecido como extração de características. A partir destas características, comandos pré-determinados para uma certa aplicação são executados. A BCI permite que indivíduos acometidos com restrições motoras possam realizar atividades complexas, visto que esta não utiliza meios motores convencionais. [Wolpaw, 2002]. Uma das abordagens mais utilizadas para BCI é a SSVEP (SSVEP, do inglês *Steady State Visually Evoked Potential*), que consiste em um paradigma baseado em potenciais evocados visualmente em ritmo estacionário, na qual estímulos cintilantes em frequências conhecidas são exibidos a um usuário enquanto seu eletroencefalograma (EEG) é registrado a partir de eletrodos posicionados no escalpo. Há uma relação entre o sinal do EEG do indivíduo e a frequência do estímulo no qual o indivíduo está focando sua atenção. O estímulo cintilante altera a amplitude [Wolpaw, 2002] e a fase [Zhu et al. 2011], do espectro do EEG na frequência do estímulo e em suas harmônicas. Isto faz com que seja possível determinar para qual estímulo o indivíduo está olhando a partir de técnicas de análise espectral do EEG [Leite, 2016], [Costa, 2015].

É neste contexto que surge o método conhecido como CCA (do inglês, *Canonical Correlation Analysis*). O método CCA é uma ferramenta de análise estatística multivariada para quantificação da associação entre dois conjuntos de variáveis aleatórias. Ele tem como objetivo a maximização da correlação entre as projeções dimensionais baixas dos dois conjuntos de dados por meio de uma análise de covariância conjunta das projeções [Hardle & Simar, 2007].

Este projeto tem como objetivo a implementação e avaliação do método CCA aplicado em sistemas SSVEP-BCI. O método foi aplicado em uma base de dados real para avaliar as características do sinal: o valor da correlação canônica entre o EEG e um certo estímulo de frequência específica. Outro objetivo foi a avaliação de métodos de classificação usando os resultados obtidos pelo CCA para que, assim, fosse possível determinar para qual estímulo o indivíduo está focando sua atenção. Neste projeto, dois métodos de classificação foram utilizados: o primeiro consiste em escolher o estímulo que possui maior valor de correlação canônica como o estímulo no qual o indivíduo está focando sua atenção e o segundo método utilizou um classificador linear projetado a partir do método dos quadrados mínimos, no qual todo o conjunto de valores de correlações canônicas é levado em conta na classificação.

METODOLOGIA:

O método CCA aplicado a BCI-SSVEP

A ideia do CCA é encontrar um índice que indica a possível relação entre dois vetores de variáveis aleatórias ($X \in \mathbb{R}^q$ e $Y \in \mathbb{R}^p$). O método se baseia em índices lineares, assim ele tem como objetivo maximizar a correlação entre combinações lineares das variáveis aleatórias presentes nos vetores X e Y . Definindo-se os vetores a e b e as combinações lineares $a^T X$ e $b^T Y$, a correlação entre os dois vetores de variáveis aleatórias é dada por $\rho(a, b) = \rho_{a^T X b^T Y}$.

A correlação canônica entre X e Y corresponde ao máximo valor de $\rho(a, b)$ e pode ser obtida a partir do cálculo do autovalor de uma matriz construída a partir das matrizes de autocovariância Σ_{XX} e Σ_{YY} de X e Y [Hardle & Simar, 2007]. Os vetores a e b que maximizam $\rho(a, b)$ são chamados de vetores de correlação canônica.

O método CCA, no contexto de SSVEP-BCI, é usado para decidir para qual estímulo cintilante o usuário está olhando. Como há uma relação entre o estímulo observado e espectro de frequência do EEG, é possível utilizar o CCA para determinar a correlação canônica entre cada estímulo e o EEG do indivíduo.

Assume-se que cada amostra do EEG de um indivíduo sob influência de estímulos cintilantes é uma realização de uma variável aleatória. É definida a matriz \bar{x} , que no contexto de SSVEP é uma matriz construída a partir de dados coletados do sinal de eletroencefalograma de um usuário. Também é definida a matriz \bar{y} que, no contexto de SSVEP, pode ser construída idealmente a partir dos dados dos estímulos cintilantes. Porém, nesse projeto, ela foi construída artificialmente: sabendo-se a frequência de cada estímulo, é possível construir a matriz \bar{y} com os dados temporais de uma onda senoidal de frequência igual à frequência do estímulo.

Para se obter a correlação canônica entre o sinal de EEG e os sinais de referência dos estímulos, é necessário estimar as matrizes de autocovariância Σ_{XX} e Σ_{YY} e a matriz de covariância Σ_{XY} . Essas estimativas podem ser obtidas a partir de médias temporais através da operação $S = N^{-1}(A^T A - N^{-1} A^T 1_N 1_N^T A)$ [Hardle & Simar, 2007]. Em que A é uma matriz que concatena as matrizes \bar{x} e \bar{y} ($A = [\bar{x} \ \bar{y}]$) e 1_N é o vetor coluna de tamanho N com todos os elementos iguais a 1. Note que a matriz S contém as estimativas necessárias para o cálculo da correlação canônica, pois pode ser dividida em blocos.

Assim, a partir da matriz S , é possível obter os valores de correlação canônica para um certo dado de EEG coletado para todas as frequências de estimulação utilizadas.

Classificação aplicada em CCA

Com o método CCA e sua aplicação em BCI-SSVEP explicitados, deve-se utilizar métodos de classificação para realizar a estimativa de qual estímulo cintilante está sendo observado pelo usuário. No projeto, dois métodos são considerados: o de máximo simples e o classificador linear baseado no método dos quadrados mínimos.

O método de máximo simples consiste em escolher o estímulo que possui maior correlação canônica como a estimativa do estímulo no qual o indivíduo está focando sua atenção. Este método é considerado mais simples pois leva em consideração a correlação canônica de apenas um estímulo.

Já o classificador linear baseado no método dos quadrados mínimos utiliza todos os valores de correlação canônica obtidos como atributos, ou seja, ele leva em consideração um padrão nos dados de correlação canônica. A ideia do método se dá no fato de que, quando o indivíduo muda o foco de sua atenção de um estímulo para o outro, todo o conjunto de valores de correlação canônica é alterado, não apenas os valores das correlações canônicas para as frequências em questão.

É necessário realizar uma etapa de treinamento para utilização do classificador linear. Uma parte da base de dados, então, é utilizada para treinar o classificador, e a outra parte é utilizada para teste e verificação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Base de dados

A base de dados de [Wang et al. 2017] que foi utilizada contém os dados de 35 voluntários em arquivos nomeados de S01.mat até S35.mat. Em cada arquivo, há uma matriz de quatro dimensões de tamanho 64x1500x40x6. A primeira dimensão refere-se ao eletrodo, a segunda dimensão indica os pontos temporais, a terceira dimensão indica para qual estímulo o indivíduo estava focando sua atenção e a última dimensão, a sessão.

Há 240 repetições do mesmo experimento, no qual, para cada uma das 40 frequências de estímulo, o experimento foi repetido 6 vezes. As frequências de estímulo utilizadas são de 8 a 15.8 Hz com espaçamento de 0.2 Hz. Assim, para cada repetição do experimento, há uma matriz de pontos de 64 canais por 1500 pontos temporais. A taxa de amostragem utilizada foi de 250 Hz, assim, em 1500 pontos, há um período de 6 segundos, dos quais os 0.5 segundos iniciais e os 0.5 s finais são momentos de transição de exibição de um estímulo para outro [Wang et al. 2017].

Descrição do experimento

Da base de dados utilizada, apenas 9 dos 64 eletrodos foram considerados (Pz, PO5, PO3, POz, PO4, PO6, O1, Oz e O2). A princípio, apenas o arquivo S01.mat (primeiro voluntário) foi considerado.

O experimento visa analisar a taxa de acerto dos dois métodos de classificação utilizados a partir do resultado do método do CCA. Basicamente, é calculada a correlação canônica entre cada uma das frequências de estimulação e os dados da base de dados para uma dada sessão. Idealmente, o tamanho da janela temporal utilizada não deve influenciar nos resultados do método CCA, porém, as matrizes de covariância são estimativas, assim, realizou-se o experimento para diferentes tamanhos de janela para verificar a influência do tamanho da janela nos resultados. Como há um período de 5 segundos, o experimento foi realizado considerando-se janelas de 0,25 s a 5 s com espaçamento de 0.25 s, totalizando, então, 20 diferentes tamanhos de janela. Assim, para cada frequência, sessão e tamanho de janela determinados, o experimento retorna um vetor de saída com 40 valores de correlação canônica, um para cada possível estímulo.

Para a realização da estimativa da taxa de acertos do método de máximo simples, escolheu-se, dos 40 valores de correlação canônica, o maior. Como a frequência para qual estímulo o usuário estava focando é conhecida, foi possível calcular a taxa de acerto média, considerando todas as janelas. Já para o método de classificação linear, separou-se todos os vetores de correlação canônica em 6 pastas. Quatro das seis pastas foram utilizadas para treinamento do classificador e, o restante, utilizado para teste. Todas as combinações de pastas para treinamento e teste foram avaliadas. É possível realizar, assim, 15 diferentes classificadores para cada tamanho de janela a partir da mesma base de dados. Todos os 15 diferentes classificadores foram considerados e a média da taxa de acerto entre eles foi calculada.

Na Figura 1 encontram-se os resultados do classificador linear e do método de máximo simples a partir do método CCA para diferentes tamanhos de janela e a base de dados descrita.

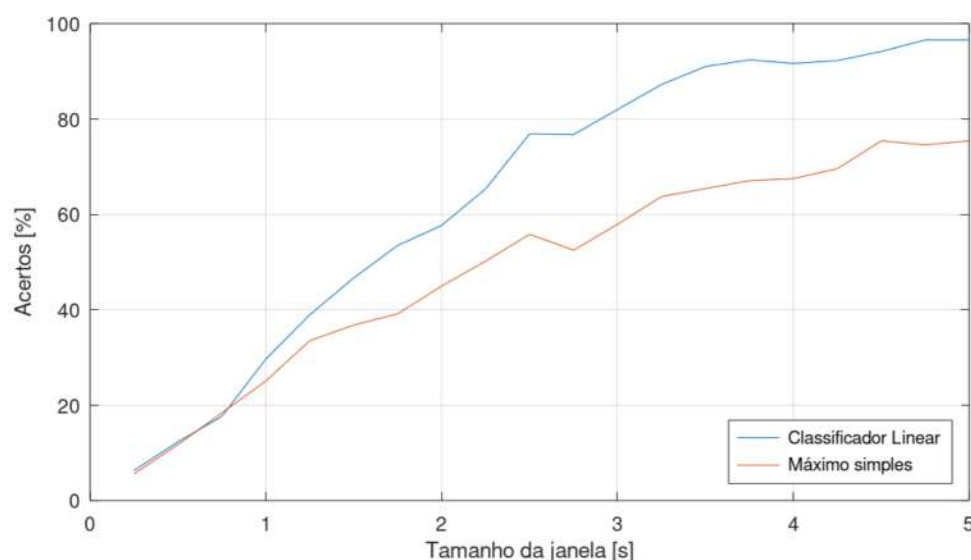


Figura 1 - Taxa de acerto média para diferentes tamanhos de janelas

É possível perceber que, para o caso dos dados de S1.mat, o aumento no tamanho da janela faz com que ambos os métodos aumentem a sua taxa de acerto média. Também, o classificador linear apresenta melhores resultados quando comparado ao método do máximo simples. Para o caso da janela de 2.5 segundos, por exemplo, a taxa de acerto média para o máximo simples foi de 55.8% enquanto para o classificador linear, foi de 76.87%.

CONCLUSÕES:

Foi possível implementar o método conhecido como CCA, bem como aplicá-lo a um problema de BCIS-SSVEP e a uma base de dados real para verificação de sua efetividade. Também foi possível perceber a influência do tamanho da janela na tomada de decisão do classificador, visto que a taxa de acerto aumenta significativamente conforme o tamanho da janela aumenta. Por último, foi possível perceber como o método de classificação linear é mais efetivo, para o caso do arquivo S1.mat, quando comparado ao método de máximo simples. O método de correlação canônica se mostra plausível para

aplicações em BCI-SSVEP e futuros estudos que comprovem sua eficácia devem ser realizados para o amadurecimento da ideia.

BIBLIOGRAFIA

[Wolpaw, 2002] Wolpaw, Jonathan R., et al. "**Brain-computer interfaces for communication and control.**" *Clinical neurophysiology* 113.6 (2002): 767-791.

[Zhu et al. 2011] Zhu D., Garcia-Molina G., Mihajlović V., Aarts R.M. (2011) **Online BCI Implementation of High-Frequency Phase Modulated Visual Stimuli.** In: Stephanidis C. (eds) 23 *Universal Access in Human-Computer Interaction. Users Diversity. UAHCI 2011. Lecture Notes in Computer Science*, vol 6766. Springer, Berlin, Heidelberg

[Leite, 2016] LEITE, Sarah Negreiros de Carvalho. **Contribuições ao desenvolvimento de interfaces cérebro-computador baseadas em potenciais evocados visualmente em regime estacionário.** 2016. 1 recurso online (181 p.). Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/305442>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

[Costa, 2015] COSTA, Thiago Bulhões da Silva. **Desenvolvimento de interface cérebro-computador baseada em potenciais evocados visualmente em regime estacionário.** 2015. 1 recurso online (158 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/259836>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

[Hardle & Simar, 2007] Härdle, W. K. & Simar, L., 2007. **Applied Multivariate Statistical Analysis.** 2 ed. New York: Springer.

[Lin et al. 2006] Lin, Z., Zhang, C., Wu, W. & Gao, X., 2006. **Frequency recognition based on canonical correlation analysis for SSVEP-based BCIs.** *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 53(12), pp. 2610-2614.

[Wang et al. 2017] Wang, Yijun., Chen, Xiaogang., Gao, Xiaorong. & Gao, Shangkai., 2017. **A Benchmark Dataset for SSVEP-Based Brain-Computer Interfaces.** *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, VOL. 25, NO. 10, OCTOBER 2017