

# AValiação DE CANAIS BIPOLARES PARA DETECÇÃO DOS POTENCIAIS EVOCADOS VISUAIS DE REGIME PERMANENTE PARA O COMANDO DE UM ROBÔ DE TELEPRESENÇA

ALAN FLORIANO\*, TEODIANO FREIRE BASTOS-FILHO\*

\*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES  
Vitória, Espírito Santo, Brasil

Emails: afloriano.ufes@gmail.com, teodiano.bastos@ufes.br

**Abstract**— This work presents an analysis of bipolar channels for optimization of a Brain-Computer Interface (ICC) based on Steady-State Visual Evoked Potentials (SSVEPs). The bipolar channels are evaluated using the Canonical Correlation Analysis (CCA) method. The results show that a configuration with only two channels (O1-PO7) allows to obtain an average accuracy of 86.40% to detect the SSVEP, with ITR of 38.03 bits/min for a time window of 2 seconds.

**Keywords**— SSVEP, BCI, TELEPRESENCE ROBOTS

**Resumo**— Este trabalho apresenta uma análise de canais bipolares para a construção de uma Interface Cérebro-Computador (ICC) baseada em Potenciais Evocados Visuais de Regime Permanente (ou *Steady-State Visual Evoked Potentials* - SSVEPs). Os canais bipolares são avaliados utilizando o método de Análise de Correlação Canônica (do inglês, *Canonical Correlation Analysis* - CCA). Os resultados demonstram que uma configuração com dois canais apenas (O1-PO7) permite obter uma acurácia média de 86,40% na detecção do SSVEP, com ITR de 38,03 bits/min para uma janela de tempo de 2 segundos.

**Palavras-chave**— SSVEP, ICC, ROBÔS DE TELEPRESENÇA

## 1 Introdução

Os Potenciais Evocados Visuais de Regime Permanente (ou do inglês *Steady-State Visual Evoked Potentials* - SSVEPs) vêm sendo utilizados para a construção de Interfaces Cérebro-Computador (ICCs) devido à sua alta relação sinal-ruído (Bin et al., 2009) e por requerer pouco ou nenhum treinamento (Cheng et al., 2002; Vialatte et al., 2010). Esses sistemas podem apresentar grande aplicabilidade para pessoas com deficiências motoras graves, pois criam um canal alternativo de interação e comunicação (Ortner et al., 2010; Stawicki et al., 2017).

A resposta SSVEP ocorre quando é apresentado a um indivíduo um estímulo visual oscilando de forma repetitiva a uma frequência constante. Esse padrão, que pode ser observado por medições não invasivas como a Eletroencefalografia (EEG), ocorre no córtex visual e manifesta-se como uma componente oscilatória no sinal de EEG com mesma frequência (e/ou seus harmônicos) da estimulação (Zhu et al., 2010). Na Figura 1 é apresentado um exemplo da resposta SSVEP no domínio da frequência a um estímulo visual de 8 Hz.

Cada comando em uma ICC baseada em SSVEP pode ser codificado com um estímulo luminoso oscilando em uma frequência específica (Chumerin et al., 2013), sendo que a escolha do comando no sistema é feita quando o usuário mantém sua atenção para o estímulo luminoso correspondente. Assim, a resposta SSVEP é elicitada e pode ser detectada no sinal de EEG e utili-

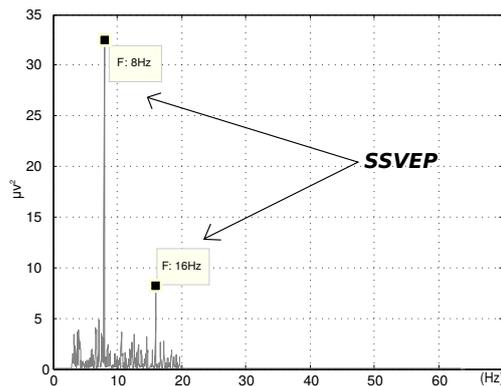


Figura 1: Resposta SSVEP a um estímulo visual a 8Hz no domínio da frequência do sinal de EEG.

zada para o controle de diversas aplicações assistivas (Allison et al., 2010; Floriano et al., 2018). Como exemplos, existem sistemas para auxílio à comunicação (Nakanishi et al., 2014; Won et al., 2015; Wang et al., 2017; Stawicki et al., 2017), controle de veículos aéreos não-tripulados (Meriño et al., 2017), comando de cadeira de rodas robótica (Müller et al., 2010; Diez et al., 2013), comando de exoesqueleto robótico (Kwak et al., 2015), controle de cursor para interação com o computador (Diez et al., 2011; Wu et al., 2011), comando de veículo autônomo (Castillo et al., 2014), comando de robô de telepresença (Floriano et al., 2015) e entretenimento (Lalor et al., 2005; Chumerin et al., 2013).

Na construção de uma ICC é preferível a utilização de poucos eletrodos por praticidade, conforto do usuário e para redução custos de processa-

mento computacional. No trabalho (Floriano and Bastos, 2016) foi realizado uma busca da melhor configuração de canais monopolares para uma ICC baseada em SSVEP. Os resultados demonstraram que uma configuração com oito canais monopolares pôde atingir uma taxa média de acerto de 91,3%, com tempo de comando de dois segundos, usando o método CCA (do inglês *Canonical Correlation Analysis*).

É conhecido na literatura, que os eletrodos com as maiores amplitudes de SSVEP são posicionados próximos da região do córtex visual (Norcia et al., 2015). Além disso, selecionando-se adequadamente dois eletrodos, um com uma maior ativação do SSVEP e outro para referência, com pouca resposta e ruído similar ao primeiro e, após uma simples operação de diferença entre os dois canais monopolares, pode-se destacar a resposta evocada e reduzir a influência de ruído (Wang et al., 2008).

Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo da influência das combinações bipolares na performance de uma ICC-SSVEP para aplicação em uma plataforma robótica de telepresença (TRON) (Floriano et al., 2015). A aquisição dos sinais é realizada utilizando-se uma touca desenvolvida a partir do dispositivo de baixo custo Emotiv EPOC (Longo et al., 2014). O artigo segue com uma explicação dos materiais e métodos utilizados para a avaliação. Posteriormente, são apresentados e discutidos alguns pontos relevantes dos resultados.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Sinais de EEG

A análise dos sinais de EEG é realizada utilizando os dados adquiridos no experimento de (Floriano and Bastos, 2016). Nove voluntários saudáveis realizaram o protocolo, no qual era preciso focar a atenção por vinte segundos em cada um dos quatro estímulos luminosos (5,6 Hz, 6,4 Hz, 6,9 Hz e 8 Hz) apresentados em uma tela de computador. Este processo era repetido por três vezes. Foram adquiridos os sinais de EEG dos canais PO3, POz, PO4, PO7, PO8, O1, Oz e O2. Na Figura 2 é ilustrado a localização dos eletrodos utilizados neste estudo.

### 2.2 Processamento dos sinais de EEG

Inicialmente os sinais de EEG são pré-processados através de um filtro passa-faixa (3-30 Hz) *Butterworth* de quarta ordem. O processo de filtragem restringe o espectro do sinal à faixa de interesse que contém as frequências e também harmônicos utilizados na ICC (Liu et al., 2013). Para este trabalho, foram utilizados três harmônicos (Müller-Putz et al., 2008; Floriano and Bastos, 2016).

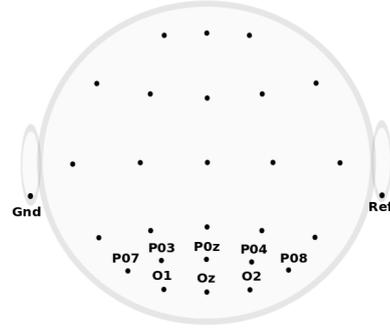


Figura 2: Configuração dos eletrodos utilizada.

O método de Análise de Correlação Canônica (*Canonical Correlation Analysis - CCA*), utilizado neste trabalho, é um método estatístico empregado para medir a correlação entre duas variáveis multidimensionais, e tem sido aplicado amplamente para detecção das frequências dos SSVEPs (Nakanishi et al., 2015).

Considere as variáveis multidimensionais  $X$  e  $Y$  e suas combinações lineares  $x = W_x^T X$  e  $y = W_y^T Y$ , o CCA busca encontrar os vetores de pesos  $W_x$  e  $W_y$  que maximizam a correlação  $\rho$  calculada pela equação:

$$\rho_k = \frac{E[xy^T]}{\sqrt{E[xx^T]E[yy^T]}} = \frac{E[W_x^T X Y^T W_y]}{\sqrt{E[W_x^T X X^T W_x]E[W_y^T Y Y^T W_y]}} \quad (1)$$

onde o vetor multidimensional  $X$  representa os sinais de EEG, o vetor multidimensional  $Y$  representa os sinais de referência, os quais são compostos de senos e cossenos das frequências fundamentais e harmônicas dos estímulos. Na Figura 3 é ilustrado a aplicação da técnica CCA na detecção do SSVEP.

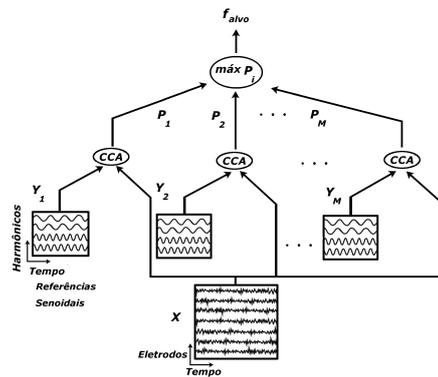


Figura 3: Diagrama do método CCA.  $X$  representa os sinais de EEG, o vetor multidimensional  $Y_i$  representa o sinal de referência, composto de senos e cossenos das frequências fundamentais e harmônicas do estímulo  $f_i$ .

Para cada sinal referência é encontrada a má-

xima correlação canônica, sendo que para a classificação de um comando, é escolhido o alvo correspondente ao sinal de referência que possui o maior coeficiente, descrito na Equação 2.

$$T = \max_i(p_i), i = 1, 2, \dots, M, \quad (2)$$

### 2.3 Configurações Bipolares

Neste trabalho foi realizado o teste de todas as combinações bipolares possíveis ( $C_2^8 = 28$ ) usando os 8 canais de EEG: PO3, POz, PO4, PO7, PO8, O1, Oz e O2.

### 2.4 Métricas de avaliação

Para a análise são utilizados parâmetros tipicamente aplicados para a avaliação de ICCs, tais como acurácia, taxa de transferência de informação (do inglês, *Information Transfer Rate* - ITR) e Coeficiente de Kappa, os quais são definidos como:

- Acurácia é a taxa de acerto de um sistema de classificação (Japkowicz and Shah, 2011), definida por.

$$p_a = \frac{N_a}{N_t}, \quad (3)$$

onde  $N_a$  e  $N_t$  correspondem ao número de acertos e total de classificações realizados respectivamente, e  $p_a$  é a taxa de acerto do classificador.

- ITR é uma medida que oferece a informação da quantidade de dados por unidade de tempo e depende do número de comandos e da acurácia (Thompson et al., 2013). A ITR é definida pela Equação 4.

$$ITR = \frac{(\log_2 N + P \log_2 P + (1-P) \log_2 (\frac{1-P}{N-1}))}{T}, \quad (4)$$

onde  $N$  é o número de classes,  $P$  é a taxa de acerto do classificador e  $T$  é o tempo por comando. A unidade de medida da ITR pode ser dada por  $[bits/s]$  ou  $[bits/min]$ . Para este trabalho foi utilizada a segunda forma, sendo que os valores calculados pela equação 4 foram multiplicados por 60.

- Coeficiente de Kappa é um parâmetro que representa a concordância entre os alvos e os valores preditos (Thompson et al., 2013). O Coeficiente de Kappa é definido na Equação 5.

$$Kappa = \frac{p_a - p_o}{1 - p_o}, \quad (5)$$

onde  $q$  representa o número de classes,  $p_a$  é a acurácia e  $p_o$  é a probabilidade a priori.

Quanto mais próximo o valor de *Kappa* estiver de 1, maior o nível de concordância do classificador (Thompson et al., 2013).

## 3 Resultados e Discussão

Nas Figuras 4, 5 e 6 é apresentado as médias da Índice de acerto, ITR e coeficiente Kappa, respectivamente, das configurações bipolares.

Pode se observar que as configurações com os melhores índices foram O1-PO7 ( $p_a$ : 86,40%, ITR: 38,03 bits/min, Kappa: 0,83, O1-PO8 ( $p_a$ : 78,27%, ITR: 30,87 bits/min, Kappa: 0,72) e Oz-PO8 ( $p_a$ : 75,88%, ITR: 28,75 bits/min, Kappa: 0,68), para uma janela de 2 segundos.

Em comparação com o trabalho anterior (Floriano and Bastos, 2016), a derivação O1-PO7 apresentou uma redução inferior a 5% na acurácia em comparação com a melhor configuração com 8 canais (91,3% de acurácia). Essa diferença pode ser considerada pouco significativa, visto que o sistema continua alcançando um desempenho satisfatório e, com uma redução de seis canais (de 8 para 2). Além disso, essa configuração atingiu o Coeficiente de Kappa acima de 0,8, o que representa um excelente nível de concordância na classificação (Fleiss et al., 2013).

Outros trabalhos na literatura também propuseram ICCs baseadas em SSVEP utilizando o dispositivo Emotiv EPOC, contudo, sem realizar modificações no equipamento. Por exemplo, o trabalho (Güneysu and Akin, 2013) apresentou uma ICC-SSVEP de quatro comandos, utilizando uma técnica no domínio da frequência baseada em análise de Fourier, com uma acurácia de 75% e uma janela de 5 segundos, utilizando os canais O1 e O2. Outro trabalho (Lin et al., 2014), utilizou os 14 canais e o método CCA, sendo que o sistema, para quatro comandos, atingiu uma taxa média de acerto de 76,60% e ITR de 14,38 bits/min. Em (Rezazadeh and Sheikhan, 2017) foi apresentado outro sistema de quatro comandos, utilizando dois canais (O1 e O2) alcançando uma acurácia média de 62,54% usando uma janela de 3 segundos. Em comparação com esses trabalhos, a modificação no equipamento de aquisição permitiu realizar uma escolha adequada de canais, contribuindo para o desenvolvimento de uma ICC mais prática, que utiliza apenas dois canais, e apresenta um bom índice de acurácia (>85%) e ITR (>38 bits/min), com uma janela de tempo para comando de dois segundos.

## 4 Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho foi realizado um estudo das configurações bipolares dos eletrodos em uma ICC baseada no paradigma SSVEP. Com os resultados, foi possível observar que uma configuração com dois canais apenas (O1-PO7) permite obter uma acurácia média de 86,40% e ITR médio de 38,03 bits/min para uma janela de tempo para um comando de 2 segundos. Como trabalho futuro, será feita uma avaliação da ICC para o comando da

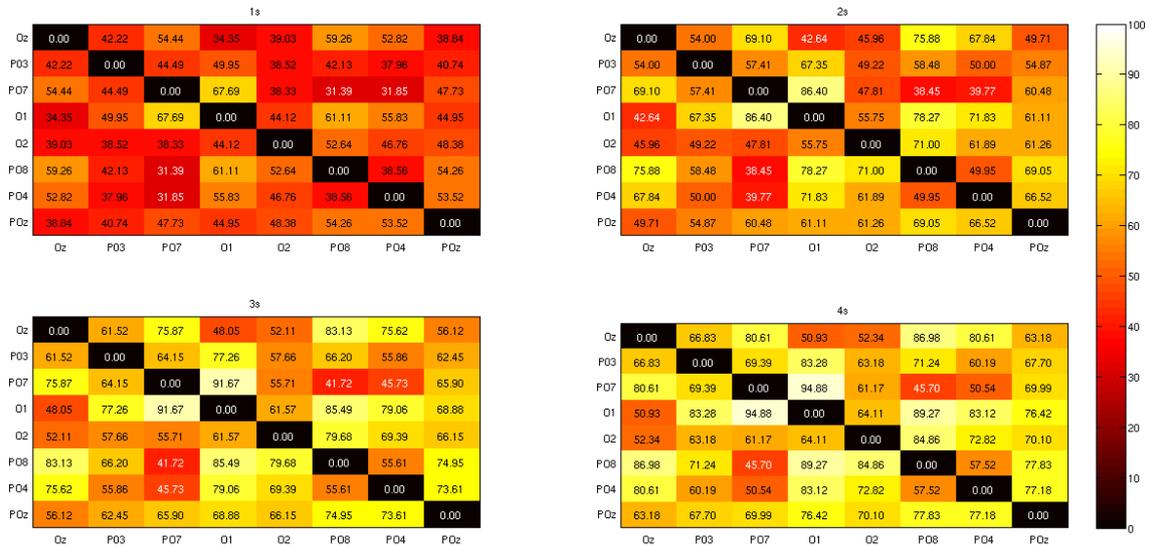


Figura 4: Índice de acerto médio das configurações bipolares analisadas.

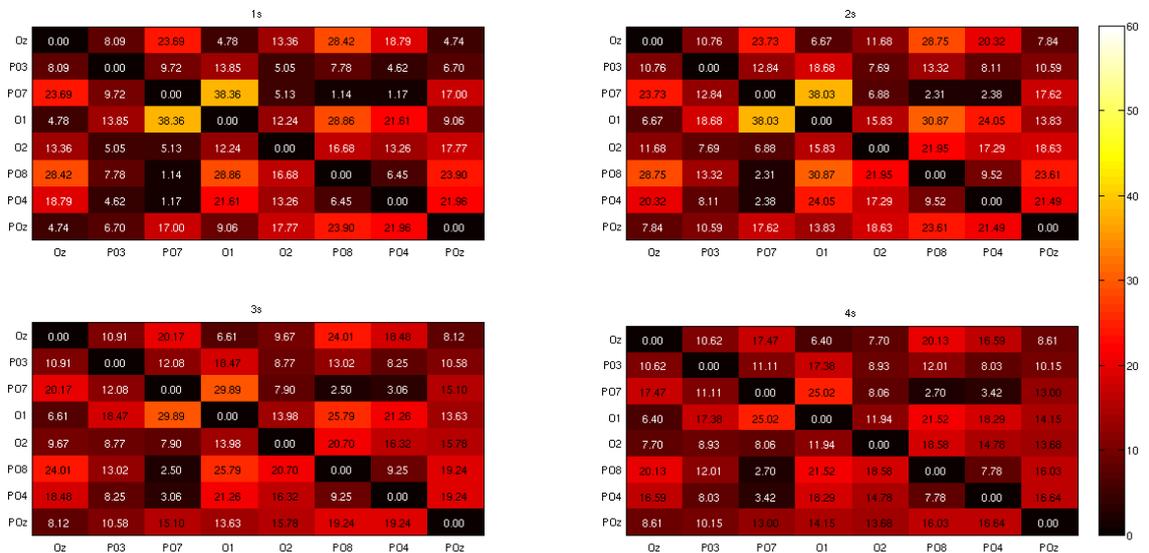


Figura 5: ITR médio das configurações bipolares analisadas.

plataforma robótica de telepresença, analisando esforços físicos e mentais exigidos pelo usuário durante a utilização .

### Agradecimentos

Os autores agradecem à UFES, pelo suporte técnico e científico, e à CAPES e CNPq pelo apoio financeiro.

### Referências

Allison, B., Lüth, T., Valbuena, D., Teymourian, A., Volosyak, I. and Gräser, A. (2010). Bci demographics: How many (and what kinds of) people can use an ssvp bci?, *Neural Systems and Rehabilitation Engineering, IEEE Transactions on* **18**(2): 107–116.

Bin, G., Gao, X., Yan, Z., Hong, B. and Gao, S. (2009). An online multi-channel SSVEP-based brain-computer interface using a canonical correlation analysis method., *Journal of neural engineering* **6**(4).

Castillo, J., Muller, S., Caicedo, E., De Souza, A. F. and Bastos, T. (2014). Proposal of a brain computer interface to command an autonomous car, *Biosignals and Birobotics Conference (2014): Biosignals and Robotics for Better and Safer Living (BRC), 5th ISSNIP-IEEE, IEEE*, pp. 1–6.

Cheng, M., Gao, X., Gao, S. and Xu, D. (2002). Design and implementation of a brain-computer interface with high transfer rates, *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on* .

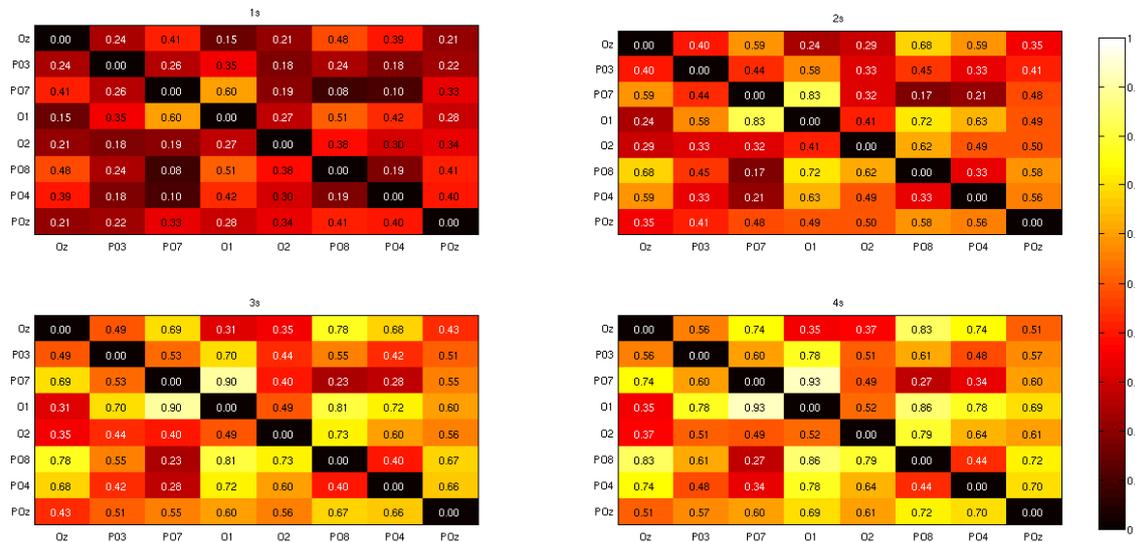


Figura 6: Coeficiente de Kappa médio das configurações bipolares analisadas.

Chumerin, N., Manyakov, N. V., van Vliet, M., Robben, A., Combaz, A. and Van Hulle, M. (2013). Steady-state visual evoked potential-based computer gaming on a consumer-grade eeg device, *Computational Intelligence and AI in Games, IEEE Transactions on*.

Diez, P. F., Müller, S. M. T., Mut, V. A., Laciari, E., Avila, E., Bastos-Filho, T. F. and Sarcinelli-Filho, M. (2013). Commanding a robotic wheelchair with a high-frequency steady-state visual evoked potential based brain-computer interface, *Medical engineering & physics*.

Diez, P. F., Mut, V. A., Perona, E. M. A. and Leber, E. L. (2011). Asynchronous bci control using high-frequency ssvep, *Journal of neuroengineering and rehabilitation* **8**(1): 1.

Fleiss, J. L., Levin, B. and Paik, M. C. (2013). *Statistical methods for rates and proportions*, John Wiley & Sons.

Floriano, A. and Bastos, T. (2016). Análise do número de eletrodos para uma interface cérebro-computador baseada em potenciais evocados visuais de regime permanente para o comando de um robô de telepresença, *XXI Congresso Brasileiro de Automática - CBA, VITÓRIA, CBA*, pp. 3597–3601.

Floriano, A., F Diez, P. and Freire Bastos-Filho, T. (2018). Evaluating the influence of chromatic and luminance stimuli on ssveps from behind-the-ears and occipital areas, *Sensors* **18**(2): 615.

Floriano, A., Longo, B., Baldo, G., Contrina, A. and Bastos, T. (2015). Desenvolvimento de uma interface cérebro-computador baseada

em potenciais evocados visuais de regime permanente para o comando de um robô de telepresença, *XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente - SBAI, NATAL, SBA*, pp. 277–285.

Güneysu, A. and Akin, H. L. (2013). An ssvep based bci to control a humanoid robot by using portable eeg device, *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE, IEEE*, pp. 6905–6908.

Japkowicz, N. and Shah, M. (2011). *Evaluation Learning Algorithms a Classification Perspective*, Cambridge University Press.

Kwak, N.-S., Müller, K.-R. and Lee, S.-W. (2015). A lower limb exoskeleton control system based on steady state visual evoked potentials, *Journal of neural engineering* **12**(5): 056009.

Lalor, E. C., Kelly, S. P., Finucane, C., Burke, R., Smith, R., Reilly, R. B. and McDarby, G. (2005). Steady-state vep-based brain-computer interface control in an immersive 3d gaming environment, *EURASIP journal on applied signal processing*.

Lin, Y.-P., Wang, Y. and Jung, T.-P. (2014). Assessing the feasibility of online ssvep decoding in human walking using a consumer eeg headset, *J. Neuroeng. Rehabil.*

Liu, Q., Chen, K., Ai, Q. and Xie, S. Q. (2013). Review: Recent development of signal processing algorithms for ssvep-based brain computer interfaces, *Journal of Medical and Biological Engineering*.

Longo, B., Floriano, A., Castillo, J. and Bastos-Filho, T. (2014). A MULTI-PROPOSAL

- MOBILE EEG SYSTEM., *XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, CBEB 2014*, pp. 937–940.
- Meriño, L., Nayak, T., Kolar, P., Hall, G., Mao, Z., Pack, D. J. and Huang, Y. (2017). Asynchronous control of unmanned aerial vehicles using a steady-state visual evoked potential-based brain computer interface, *Brain-Computer Interfaces* pp. 1–14.
- Müller-Putz, G. R., Eder, E., Wriessnegger, S. C. and Pfurtscheller, G. (2008). Comparison of dft and lock-in amplifier features and search for optimal electrode positions in ssvep-based bci, *Journal of neuroscience methods* **168**(1): 174–181.
- Müller, S. T., Celeste, W. C., Bastos-Filho, T. F. and Sarcinelli-Filho, M. (2010). Brain-computer interface based on visual evoked potentials to command autonomous robotic wheelchair, *J. Med. Biol. Eng.*
- Nakanishi, M., Wang, Y., Wang, Y.-T. and Jung, T.-P. (2015). A comparison study of canonical correlation analysis based methods for detecting steady-state visual evoked potentials, *PLoS one*.
- Nakanishi, M., Wang, Y., Wang, Y.-T., Mitsuura, Y. and Jung, T.-P. (2014). A high-speed brain speller using steady-state visual evoked potentials, *International journal of neural systems* **24**(06): 1450019.
- Norcia, A. M., Appelbaum, L. G., Ales, J. M., Cottureau, B. R. and Rossion, B. (2015). The steady-state visual evoked potential in vision research: A review, *Journal of Vision* **15**(6): 4–4.
- Ortner, R., Guger, C., Prueckl, R., Grünbacher, E. and Edlinger, G. (2010). *SSVEP based brain-computer interface for robot control*, Springer, Berlin, pp. 85–90.
- Rezazadeh, Z. and Sheikhan, A. (2017). An ssvep-based brain-computer interface to navigate in a virtual home, *Proceedings of the 7th International Conference on Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, ACM, pp. 22–27.
- Stawicki, P., Gemblar, F., Rezeika, A. and Volosyak, I. (2017). A novel hybrid mental spelling application based on eye tracking and ssvep-based bci, *Brain Sciences* **7**(4): 35.
- Thompson, D. E., Blain-Moraes, S. and Huggins, J. E. (2013). Performance assessment in brain-computer interface-based augmentative and alternative communication, *Biomed. Eng. Online* **12**(43): 10–1186.
- Vialatte, F.-B., Maurice, M., Dauwels, J. and Cichocki, A. (2010). Steady-state visually evoked potentials: focus on essential paradigms and future perspectives, *Progress in neurobiology* **90**(4): 418–438.
- Wang, D., Kobayashi, T., Cui, G., Watabe, D. and Cao, J. (2017). Real-time mobile phone dialing system based on ssvep, *Ninth International Conference on Machine Vision*, International Society for Optics and Photonics, pp. 103410R–103410R.
- Wang, Y., Gao, X., Hong, B., Jia, C. and Gao, S. (2008). Brain-computer interfaces based on visual evoked potentials, *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*.
- Won, D.-O., Hwang, H.-J., Dähne, S., Müller, K.-R. and Lee, S.-W. (2015). Effect of higher frequency on the classification of steady-state visual evoked potentials, *Journal of neural engineering* **13**(1): 016014.
- Wu, C.-H., Chang, H.-C., Lee, P.-L., Li, K.-S., Sie, J.-J., Sun, C.-W., Yang, C.-Y., Li, P.-H., Deng, H.-T. and Shyu, K.-K. (2011). Frequency recognition in an ssvep-based brain computer interface using empirical mode decomposition and refined generalized zero-crossing, *Journal of neuroscience methods* **196**(1): 170–181.
- Zhu, D., Bieger, J., Molina, G. G. and Aarts, R. M. (2010). A survey of stimulation methods used in ssvep-based bcis, *Computational intelligence and neuroscience*.