UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SÁVIO MILHOMENS DE SOUSA

APRESENTAÇÃO DO ARTIGO ELABORADO EM 2023 POR MEIO DA PROEG Nº 01/2023: Aplicação da Análise de Correlação Canônica em Sistemas ICM Baseados em SSVEP

TUCURUÍ
2023

SÁVIO MILOMENS DE SOUSA

APRESENTAÇÃO DO ARTIGO ELABORADO EM 2023 POR MEIO DA PROEG Nº 01/2023: Aplicação da Análise de Correlação Canônica em Sistemas ICM Baseados em SSVEP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Dr. Cleison Daniel Silva

TUCURUÍ
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S725a Sousa, Sávio Milhomens.
Aplicação da Análise de Correlação Canônica em sistemas ICM Baseados em SSVEP / Sávio Milhomens Sousa. — 2023.
24 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Cleison Daniel Silva
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia Elétrica, Tucuruí, 2023.

1. ICM. 2. SSVEP. 3. Processamento de sinais. 4. CCA. I. Título.

CDD 621.3822

SÁVIO MILHOMENS DE SOUSA

APRESENTAÇÃO DO ARTIGO ELABORADO EM 2023 POR MEIO DA PROEG Nº 01/2023: Aplicação da Análise de Correlação Canônica em Sistemas ICM Baseados em SSVEP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Data da aprovação: ____/____/_____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
CLEISON DANIEL SILVA
Data: 20/12/2023 14:24:51-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Cleison Daniel Silva
Orientador - UFPA

Documento assinado digitalmente
RAPHAEL BARROS TEIXEIRA
Data: 20/12/2023 17:53:59-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Raphael Barros Teixeira
Membro - UFPA

Documento assinado digitalmente
VITOR MENDES VILAS BOAS
Data: 20/12/2023 19:00:33-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Eng. Me. Vitor Mendes Vilas Boas
Membro - IFTO

TUCURUÍ
2023

Dedico aos meus familiares e amigos pelo suporte financeiro e emocional durante minha trajetória de formação acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos aos meus pais e demais familiares, cujo apoio e encorajamento foram fundamentais durante toda a jornada acadêmica. Suas palavras de incentivo e confiança foram um constante estímulo para continuar seguindo em frente.

Aos meus amigos, em especial o Marcos e Rodrigo, que estiveram ao meu lado durante todo esse período, compartilhando momentos de alegria, desafios e aprendizado. A presença de vocês foi fundamental para tornar essa jornada mais leve e repleta de boas lembranças.

À equipe de professores e orientadores, que com sua expertise, dedicação e paciência, compartilharam conhecimento e incentivaram meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. Seus conselhos e orientações foram valiosos para a conclusão deste trabalho.

Deixo aqui expresso minha gratidão à PIBIC e ao CNPq pelo suporte financeiro e pela oportunidade de participar do programa de bolsas de iniciação científica. Essa experiência foi fundamental para o meu crescimento acadêmico e profissional, proporcionando-me a chance de mergulhar no universo da pesquisa, adquirir conhecimentos e desenvolver habilidades essenciais para minha formação.

A todos, meu muito obrigado por fazerem parte dessa trajetória e contribuírem significativamente para a realização deste trabalho.

“A diferença entre o possível e o impossível está na vontade humana.” (Louis Pasteur)

RESUMO

Este trabalho aborda a apresentação do artigo intitulado “Aplicação da Análise de Correlação Canônica em Sistemas ICM Baseados em SSVEP”, desenvolvido durante o período de Abril de 2023 a Setembro de 2023, durante a execução do projeto de pesquisa, sob orientação do Professor Dr. Cleison Daniel Silva e apresentado na III Escola Regional de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial Norte 2. O sistema ICM (Interface Cérebro Máquina) é uma tecnologia capaz de realizar comunicações entre seres humanos e máquinas através da atividade cerebral em resposta a estímulos visuais, imaginários ou somatossensoriais. Essa atividade é aquisitada, por meio de métodos como o eletroencefalograma (EEG), processada e convertida em sinais de comando. O estudo do artigo se concentra no processamento de informações usando o método de Análise de Correlação Canônica (CCA) para auxiliar na classificação de sinais em sistemas ICM’s baseados em SSVEP (Potencial Evocado Visualmente em Estado Estável). Como metodologia, foram realizadas cinco abordagens do método CCA, em ambiente Python, usando o mesmo conjunto de dados e mesma técnica de processamento e classificação de sinais, alterando apenas a forma como os dados são tratados no método. Os dados usados são provenientes de um repositório de domínio público contendo sinais de EEG de quatro sujeitos em presença de estímulos de SSVEP em frequências de 8 Hz, 14 Hz e 28 Hz. Em adição ao CCA, utilizou-se do periodograma como tecnica para maximizar a extração de características dos sinais resultantes da aplicação do método. Na etapa de classificação os sinais foram agrupados em três combinações binárias entre as frequências de estímulo, e para cada par, foi aplicado a Análise do Discriminante Linear (LDA). Ao final, a acurácia do classificador foi utilizada como parâmetro para discussões e conclusões de cada abordagem. De forma geral, notou-se que os resultados variam entre os indivíduos numa faixa de 38% a 100% de acurácia. A partir da lógica de construção e dos resultados da abordagem E, conclui-se que essa é propícia para aplicação em um sistema real.

Palavras chave: ICM, SSVEP, Processamento de dados, CCA.

ABSTRACT

This work addresses the presentation of the article entitled “Application of Canonical Correlation Analysis in SSVEP-based BCI Systems”, developed during the period from April 2023 to September 2023, during the research project, under the guidance of Professor Dr. Cleison Daniel Silva and presented at the “*III Escola Regional de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial Norte 2*”. The BCI (Brain-Machine Interface) system is a technology capable of performing communications between humans and machines through brain activity in response to visual, imaginary, or somatosensory stimuli. This activity is acquired through methods such as electroencephalogram (EEG), processed, and converted into command signals. The study of the article focuses on information processing using the Canonical Correlation Analysis (CCA) method to assist in the classification of signals in BCI systems based on SSVEP (Steady-State Visually Evoked Potential). As a methodology, five CCA method approaches were performed in a Python environment, using the same data set and the same signal processing and classification technique, changing only the way the data is treated in the method. The data used comes from a public domain repository containing EEG signals from four subjects in the presence of SSVEP stimuli at frequencies of 8 Hz, 14 Hz and 28 Hz. In addition to CCA, the periodogram was used as a technique to maximize the extraction of signal characteristics resulting from the application of the method. In the classification step, the signals were grouped into three binary combinations between the stimulus frequencies, and for each pair, Linear Discriminant Analysis (LDA) was applied. Finally, the accuracy of the classifier was used as a parameter for discussions and conclusions of each approach. In general, it was noted that the results vary between individuals in a range of 38% to 100% accuracy. From the construction logic and the results of approach E, it is concluded that it is suitable for application in a real system.

Keywords: BCI, SSVEP, Data processing, CCA.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCA	Canonical Correlation Analysis
EEG	Eletroencefalograma
ICM	Interface Cérebro Máquina
LDA	Linear Discriminant Analysis
PSD	Power Spectral Density
SSVEP	Steady State Visually Evoked Potential

SUMÁRIO

1. TEXTO DE APRESENTAÇÃO 12

2. APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA EM SISTEMAS ICM BASEADOS EM SSVEP 17

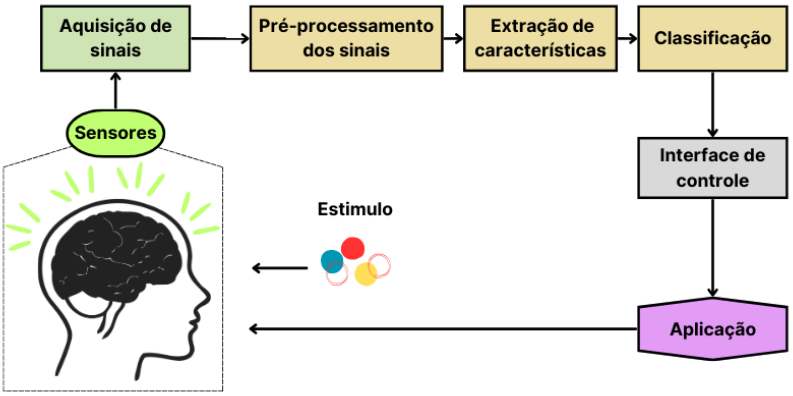
3. DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO EMITIDA PELOSDEMAIS AUTORES DO TRABALHO INCORPORADO..... 22

1. TEXTO DE APRESENTAÇÃO

A Interface Cérebro Máquina (ICM) é uma tecnologia que permite a comunicação entre o cérebro humano e um dispositivo externo, como por exemplo as máquinas eletrônicas, através dos impulsos elétricos emitidos pelos neurônios. A ICM é capaz de transformar a atividade cerebral em ações reproduzidas por máquinas, permitindo que indivíduos com diferentes graus de deficiência motora possam desempenhar ações como controlar computadores, dirigir cadeiras de rodas, manipular braços robóticos, entre outras.

De forma geral, todos os sistemas ICM apresentam os mesmos processos de construção dividido em etapas, como mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Etapas de uma interface Cérebro Máquina.



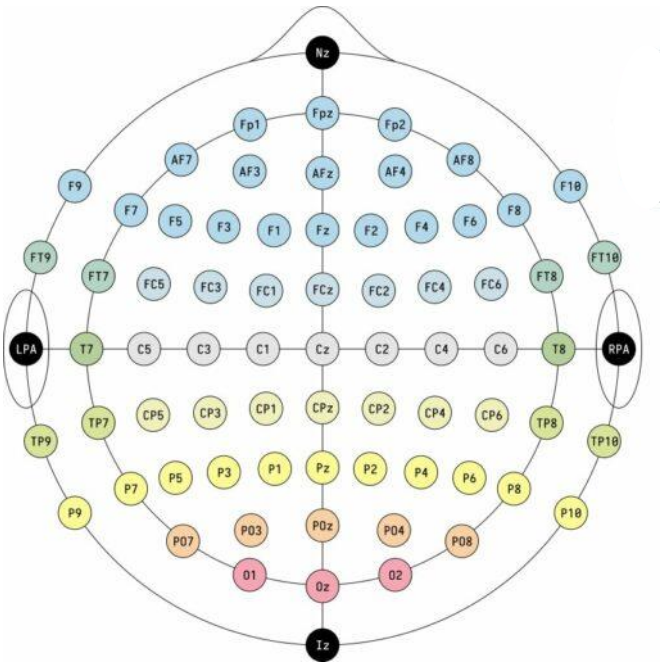
Fonte: Autor, 2023.

Na aquisição de sinais, onde ocorre a coleta de sinais obtidos por eletrodos que percebem uma atividade cerebral em decorrência de um estímulo interno ou externo. Em seguida, no pré-processamento, esses sinais são filtrados e modelados para atender o formato desejado para processamento. Na extração de características, aplicam-se tecnicas e métodos para evidenciar os aspectos de cada sinal e que vão auxiliar a classificação dos sinais. A etapa de classificação tem o objetivo atribuir o conjunto de dados a grupos e categoriza-los de acordo com atividade cerebral a qual eles são deveriam ser relacionados. Por fim, os sinais classificados são convertidos em sinais de comandos e enviados para a aplicação que volta como um feedback para o usuário.

Cada sistema ICM se diferencia com o tipo de método de aquisição e tipo de sinal que se utiliza e também o tipo de estímulo que é aplicado. Por consequência, as técnicas e métodos aplicadas variam com essas escolhas. Em relação ao tipo de sinal, o mais comum

encontrado nas literaturas é o Eletroencefalograma ou EEG que trabalha com a atividade elétrica cerebral. Apesar de ser bastante suscetível, suscetível a interferências no sinal, o seu uso se justifica por ser mais barato, fácil de trabalhar e utiliza eletrodos em contato com a pele seguindo um padrão de posicionamento como o representado na Figura 2.

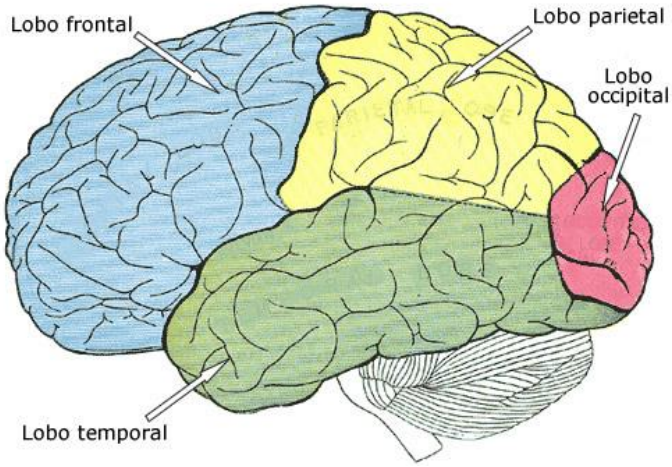
Figura 2 – Mapeamento dos eletrodos no padrão 10-10.



Fonte: https://gvb-gelimed.com/pt/10-20-elektrodensystem-in-der-elektroenzephalografie-eeg/. Adaptado.

Em relação ao estímulo, sua origem pode se apresenta de forma visual, imaginária ou somatossensorial. Cada uma dessas está associada a uma região do cérebro, onde a resposta cerebral relacionada ao tipo de estímulo se encontra mais densa. A Figura 3 mostra a divisão dessas regiões, chamadas de lobos cerebrais.

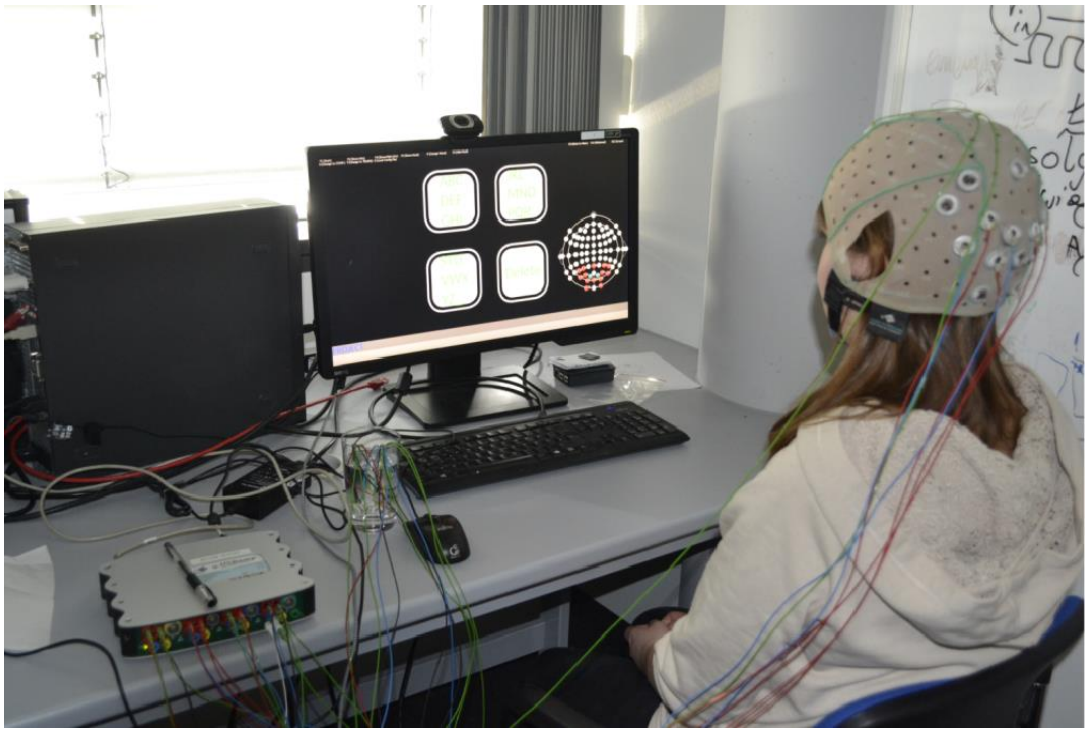
Figura 3 – Lobos cerebrais.



Fonte: https://gvb-gelimed.com/pt/10-20-elektrodensystem-in-der-elektroenzephalografie-eeg/. Adaptado.

Em sistemas ICM baseados em SSVEP, a frequência do estímulo visual ao qual uma pessoa mantém o olhar atento está ligada a uma resposta potencial contínua no córtex cerebral. Eletrodos coletam essa resposta, representada como um sinal de eletroencefalograma (EEG), e processam para se transformar em um sinal de controle. Um exemplo da aplicação desse sistema é mostrado na Figura 4.

Figura 4 – Execução de um sistema ICM baseado em SSVEP.



Fonte: Elena Marx, 2019.

O artigo apresentado neste trabalho é resultado do projeto de pesquisa intitulado 'Otimização Bayesiana aplicada a sistemas de Interface Cérebro-Máquina', orientado pelo professor Cleison Daniel no período de 01/04/2023 a 31/08/2023. Após uma revisão bibliográfica sobre o sistema ICM e os estímulos e eventos do SSVEP, deu-se início ao processo de aplicação do método CCA, em ambiente *Python*, na fase de extração de características de um sistema ICM baseado em SSVEP em desenvolvimento. Um dos aspectos mais relevantes do artigo é a maneira como os dados são tratados no método CCA, sendo uma informação pouco apresentada nos estudos existentes.

O método CCA busca matrizes de peso que maximizam a correlação entre dois conjuntos de dados. Aplicado em sistemas SSVEP, um dos conjuntos de dados é composto por sinais de interesse, referente aos sinais aquisitados, e o outro por sinais de referências criados e como a mesma frequencia dos estímulos utilizados no sistema. Dessa forma, esperasse que os sinais de mesma frequência tenham uma correlação maior que sinais de frequencia diferentes.

A motivação para a produção deste artigo surgiu da necessidade de uma ferramenta que pudesse destacar as características dos sinais de EEG, auxiliando o processo de classificação e aprimorando a acurácia do classificador. A habilidade do método CCA em capturar as interações complexas entre os sinais de EEG e os estímulos foi um dos principais motivos para sua utilização. Espera-se que essa abordagem contribua significativamente para aumentar a acurácia geral do processo de classificação.

Para o desenvolvimento do estudo, utilizou-se de um banco de dados de um repositório de domínio público que contém sinais de EEG de cento e vinte e sete eletrodos, seguindo o padrão 10-10, de quatro sujeitos em presença de estímulos de SSVEP nas frequências de 8 Hz, 14 Hz e 28 Hz. Utilizando um filtro passa faixa de 2 Hz em torno de cada frequência dos estímulos, cada conjunto de sinais foram filtrados nas três bandas resultando em nove conjunto de sinais. Em seguida foi realizado uma segmentação dos sinais em janelas de tempo de um segundo e por fim, os sinais de três eletrodos formam selecionados para as etapas seguintes.

O método do CCA foi aplicado na etapa de extração de características utilizando a biblioteca *sklearn.cross_decomposition.CCA2* da linguagem de programação *Python* seguindo cinco abordagens[1]. Em cada abordagem, se manteve as mesmas configurações

[1] https://github.com/Smillmens/CCA-aplicado-em-sistema-ICM-baseado-em-SSVEP.git

utilizadas em todas as etapas se diferenciando apenas na forma como os conjuntos de dados são organizados e entregues às funções da biblioteca.

Em todas as abordagens, se mostrou evidente que a seleção de cada parâmetro do sistema tem um impacto direto nos resultados. Os canais representam a principal fonte de dados, carregando informações referentes às atividades cerebrais nas diferentes regiões do cérebro, portanto, a escolha de cada canal deve cuidadosamente considerada para extrair as informações mais relevantes para o tipo de ICM utilizado. Além disso, notou-se que os resultados variam entre os indivíduos devido às diferentes respostas cerebrais aos estímulos em cada pessoa. Cada abordagem seguiu lógicas de estruturação dos dados diferentes, gerando respostas similares nas abordagens B e E e singulares para as demais.

O trabalho apresentado na seção 2 foi submetido à Faculdade de Engenharia Elétrica como parte integrante do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Essa integração foi viabilizada por uma estratégia de flexibilização estabelecida pela INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 01/2023 – PROEG/UFPA, que é regulamentada pela RESOLUÇÃO Nº01/2023 - FEE/UFPA, visando cumprir os requisitos da componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso. A utilização deste trabalho foi autorizada pelos demais coautores e pelo coordenador do projeto, os quais contribuíram para a elaboração do trabalho original, conforme descrito na autorização devidamente assinada e disponível na seção 3.

2. APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA EM SISTEMAS ICM BASEADOS EM SSVEP

Na próxima página encontra-se o arquivo original do artigo de iniciação científica intitulado “Aplicação da Análise de Correlação Canônica em Sistemas ICM Baseados em SSVEP”, aceito na III Escola Regional de Alto Desempenho Norte 2 & III Escola Regional de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial Norte 2 - III ERAD|ERAMIA-N02 2023, que foi realizado em Belém/PA no ano de 2023.

Aplicação da Análise de Correlação Canônica em Sistemas ICM Baseados em SSVEP

Sávio M. Sousa[1], Fablena K. N. Dias [2], Cleison D. Silva[1]

[1]Faculdade de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Pará (UFPA)
CEP 68455-901 – Tucuruí – PA – Brasil

[2]Faculdade de Engenharia de Computação – Universidade Federal do Pará (UFPA)
CEP 68455-901 – Tucuruí – PA – Brasil

{savio.sousa, fablena.dias }@tucurui.ufpa.br, cleison@ufpa.

Abstract. *Brain-Computer Interface (BCI) systems are capable of performing communications between humans and machines through electroencephalogram (EEG) signals that are processed and converted into commands. The focus of this scientific research is on the study of information extraction and processing techniques using the Canonical Correlation Analysis (CCA) method for optimizing ICM systems based on Steady State Visually Evoked Potential (SSVEP). In this research, five approaches were performed using the CCA method, maintaining the same process of data acquisition, pre-processing and classification. In the end, the accuracy of the classifier was used as a parameter for discussions and conclusions.*

Resumo. *Sistemas de Interface Cérebro-Máquina (ICM) são capazes de realizar comunicações entre seres humanos e máquinas através de sinais de eletroencefalograma (EEG) que são processados e convertidos em comandos. O foco desta pesquisa científica está no estudo de técnicas de extração e processamento de informação utilizando o método de Análise de Correlação Canônica (CCA) para otimização de sistemas ICM baseado em Potencial Evocado Visualmente em Estado Estável (SSVEP). Nesta pesquisa foi realizado cinco abordagens utilizando o método CCA mantendo o mesmo processo de aquisição de dados, pré-processamento e classificação. Ao final, a acurácia do classificador foi utilizada como parâmetro para discussões e conclusões.*

1. Introdução

Em sistemas ICM baseados em SSVEP, a frequência do estímulo visual ao qual uma pessoa mantém o olhar atento está ligada a uma resposta potencial contínua no córtex cerebral [1]. Eletrodos coletam essa resposta, representada como um sinal de eletroencefalograma (EEG), e processam para se transformar em um sinal de controle. As etapas de uma ICM baseada em SSVEP são divididas em: Aquisição de sinais, pré-processamento, extração de características, classificação e aplicação.

A extração e classificação dos sinais são as partes mais importantes do processo. Para auxiliar esses processos, o método de Análise de Correlação Canônica (CCA) é bastante utilizado. Esse método aplicado em SSVEP usa sinais genéricos como referência e maximiza a correlação entre eles [1].

Cabe a este trabalho implementar o método CCA a fim de facilitar a classificação de sinais de EEG observando a acurácia do classificador. A capacidade do método CCA de capturar as complexas interações entre os sinais de EEG e os estímulos motiva o uso do método.

2. Métodos

Utilizou-se de dados de um repositório[2] de domínio público que incluem sinais de EEG de quatro sujeitos, coletados em três estímulos de SSVEP com frequências 8 *Hz*, 14 *Hz* e 28 *Hz* [2]. Foram escolhidos três canais da região occipital [1]. Cada sinal foi filtrado em faixas de bandas centradas nas respectivas frequências e segmentado em 75 períodos de tempo (época) de 1 segundo [3].

O método CCA busca matrizes de peso $\boldsymbol{w_x}$ e $\boldsymbol{w_y}$ que maximizam a correlação entre conjuntos de dados $\boldsymbol{X}$ e $\boldsymbol{Y}$ ao resolver a equação:

$$\max_{w_x, w_y}(\rho) = \frac{w_x^T X Y^T w_y}{\sqrt{w_x^T X X^T w_x w_y^T Y Y^T w_y}} \qquad (1)$$

Onde $\boldsymbol{\rho}$ representa o coeficiente de correlação e o sobrescrito $\boldsymbol{T}$ a transposta da matriz. O resultado é um vetor com informações ponderadas de cada conjunto [4]. Aplicando a sistemas ICM baseados em SSVEP, $\boldsymbol{X}$ representa os sinais de EEG filtrados e $\boldsymbol{Y}$ um conjunto de senos e cossenos em cada frequência e de mesma dimensão que $\boldsymbol{X}$. Dessa forma espera-se que haja uma correlação mais forte entre os sinais de mesma frequência.

Todas as abordagens utilizam o método CCA disponível na biblioteca sklearn.cross_decomposition.CCA[3] da linguagem de programação Python para averiguar a dinâmica dos dados com o método CCA. Em cada abordagem, manteve-se o mesmo processo de aquisição de dados, pré-processamento e classificação, variando apenas a forma como os dados são entregues as funções do CCA.

Abordagem A – Definição de um modelo CCA para cada sinal em cada época. Entrega de informações para as funções em relação a frequência de estímulo, ou seja, os sinais de mesma frequência estímulo, mas filtrados em diferentes bandas são entregues as funções correspondentes as frequências de estímulo.

Abordagem B – Definição de um modelo CCA para cada sinal a partir da primeira época. Entrega de informações para as funções em relação a frequência de estímulo.

Abordagem C – Definição de um modelo para cada sinal filtrado em sua respectiva banda de frequência a partir da primeira época. Entrega de informações para as funções em relação a banda de frequência, ou seja, os sinais filtrados na mesma banda são entregues as funções correspondentes as bandas.

Abordagem D – Definição de um modelo para cada sinal filtrado em sua respectiva banda de frequência a partir de uma média de todas as épocas. Entrega de informações para as funções em relação a banda de frequência.

Abordagem E – Definição de um modelo para cada sinal filtrado em sua respectiva banda de frequência a partir de uma média de todas as épocas. Entrega de informações para as funções em relação a frequência de estímulo.

---

[2] http://www.bakardjian.com/work/ssvep_data_Bakardjian.html

[3] https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cross_decomposition.CCA.html#sklearn.cross_decomposition.CCA.transform

A densidade espectral de potência (PSD) de um sinal pode ser calculada usando o periodograma, o que tem permitido a realização de várias análises baseadas em sinais de EEG [5]. Ao agregar o PSD ao CCA, é possível maximizar a obtenção de informações precisas sobre a distribuição de energia em várias faixas de frequências.

Para realizar a classificação dos sinais, são realizadas três combinações binárias entre as frequências para a criação das matrizes de características. Para classificar cada par de sinais foi utilizado a Análise do Discriminante Linear (LDA), método usado para encontrar uma combinação linear de características que caracterizam ou separam duas ou mais classes de objetos ou eventos [6].

3. Resultados

Com base no conjunto de dados e nos métodos usados neste trabalho, observou-se acurácia do classificador como métrica para análise do desempenho de cada abordagem do método CCA desenvolvido. No Quadro 1 se encontra as acurácias de cada sujeito para cada combinação de frequência resultantes das abordagens.

Quadro 1: Acurácias de cada sujeito (Sj) de todas as abordagens.

		1º Par			2º Par			3º Par		
		8 Hz	**14 Hz**	**Total**	**8 Hz**	**28 Hz**	**Total**	**14 Hz**	**8 Hz**	**Total**
Abordagem A	**Sj. 1**	84%	20%	52%	92%	28%	60%	68%	16%	42%
	Sj. 2	44%	64%	54%	84%	40%	62%	64%	44%	54%
	Sj. 3	96%	72%	84%	92%	84%	88%	84%	56%	70%
	Sj. 4	75%	28%	52%	84%	44%	64%	60%	76%	68%
Abordagem B	**Sj. 1**	80%	100%	92%	96%	80%	88%	100%	80%	90%
	Sj. 2	100%	88%	94%	92%	44%	68%	56%	96%	76%
	Sj. 3	76%	100%	88%	76%	100%	88%	64%	92%	78%
	Sj. 4	72%	96%	84%	84%	100%	92%	96%	44%	70%
Abordagem C	**Sj. 1**	84%	88%	86%	80%	96%	88%	24%	92%	58%
	Sj. 2	100%	4%	82%	80%	40%	60%	88%	68%	78%
	Sj. 3	100%	92%	96%	76%	92%	84%	92%	100%	96%
	Sj. 4	80%	36%	56%	76%	68%	72%	84%	64%	74%
Abordagem D	**Sj. 1**	36%	40%	38%	76%	32%	54%	68%	72%	70%
	Sj. 2	55%	64%	58%	44%	92%	68%	56%	44%	50%
	Sj. 3	56%	48%	52%	48%	76%	62%	44%	96%	70%
	Sj. 4	48%	72%	60%	72%	56%	64%	60%	48%	54%

Abordagem E	**Sj. 1**	100%	76%	88%	100%	92%	96%	100%	76%	88%
	Sj. 2	64%	92%	78%	100%	100%	100%	100%	96%	98%
	Sj. 3	100%	80%	90%	100%	60%	80%	96%	48%	72%
	Sj. 4	88%	64%	76%	100%	88%	94%	100%	92%	96%

4. Considerações finais

Em todas as abordagens, é evidente que a seleção de cada parâmetro do sistema tem um impacto direto nos resultados. A escolha de cada canal deve ser cuidadosamente considerada para extrair as informações mais relevantes para o tipo de ICM utilizado. Além disso, notou-se que os resultados variam entre os indivíduos devido às diferentes respostas cerebrais aos estímulos em cada pessoa. Com os resultados dispostos, conclui-se que a abordagem E apresenta o melhor desempenho, sendo o segundo par o mais propício para aplicação.

Referências

[1] MA, Pengfei et al. A classification algorithm of an SSVEP brain-Computer interface based on CCA fusion wavelet coefficients. Journal of Neuroscience Methods, v. 371, p. 109502, 2022.

[2] H. Bakardjian, T. Tanaka, and A. Cichocki. “Optimization of SSVEP brain responses with application to eight-command Brain–Computer Interface”. In: Neuroscience Letters 469.1 (2010), pp. 34–38. doi: 10.1016/j.neulet.2009.11.039.

[3] C. S. Nam, A. Nijholt, and F. Lotte, Brain–Computer Interfaces Handbook: Technological and Theoretical Advances. CRC Press, 2018.

[4] BROGIN, João Angelo Ferres. Generalização da técnica de correlação canônica para aplicações em interface cérebro-máquina. 2018.

[5] Mohammad Samin Nur et al. CHOWDHURY. “Deep neural network for visual stimulus-based reaction time estimation using the periodogram of single-trial eeg”. In: Sensors 20.21 (2020), p. 6090.

[6] REZENDE, Ana Cláudia Barbosa; LOPES FILHO, Gilberto; VIEIRA, Flávio Henrique Teles. Aplicação da Análise Discriminante Linear (LDA) para Classificação de Sinais Eletromiográficos (EMG) de Movimentos da Mão. In: Anais da VII Escola Regional de Informática de Goiás. SBC, 2019. p. 351-360.

3. DECLARAÇÃO DE AUTORIZAÇÃO EMITIDA PELOSDEMAIS AUTORES DO TRABALHO INCORPORADO

Na próxima página encontra-se a declaração de autorização que possibilita a utilização do trabalho apresentado como parte integrante do trabalho escrito, para compor o Trabalho de Conclusão de Curso apresentado.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANEXO II: Declaração de autorização emitida pelos demais autores do trabalho incorporado.

Declaração de Autorização

Tucuruí-PA, 29 de novembro de 2023.

Ao colegiado da Faculdade de Engenharia Elétrica do CAMTUC/UFPA**,** e a quem possa interessar;

Eu, **SÁVIO MILHOMENS DE SOUSA (201833940022)**, DECLARO ter sido autorizado por todos os discentes (autores), abaixo relacionados, incluindo o docente responsável (orientador), para a utilização do trabalho técnico-científico intitulado "**Aplicação da Análise de Correlação Canônica em Sistemas ICM Baseados em SSVEP**", apresentado no "**III Escola Regional de Alto Desempenho Norte 2 & III Escola Regional de Aprendizado de Máquina e Inteligência Artificial Norte 2 - III ERAD|ERAMIA-N02 2023**", realizado em "**Belém**", no período de "**30 de outubro à 02 de novembro de 2023**", como parte integrante do Trabalho Escrito, para cumprimento da componente curricular EL18060 - TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, segundo a RESOLUÇÃO Nº01/2023 - FEE/CAMTUC, que trata da flexibilização da atividade curricular de TCC por meio da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 01/2023 – PROEG/UFPA.

O discente, também, declara a ciência da **impossibilidade de reutilização** do trabalho técnico-científico mencionado por qualquer outro autor para a mesma finalidade. Esta declaração terá validade, se, e somente se, acompanhada das assinaturas de todos os autores listados abaixo.

Nada mais a declarar, agradeço a atenção e consideração.

gov.br Documento assinado digitalmente
SAVIO MILHOMENS DE SOUSA
Data: 29/11/2023 13:48:36-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

SÁVIO MILHOMENS DE SOUSA

Relação dos discentes coautores:

MATRÍCULA	NOME COMPLETO	ASSINATURA
201833840043	Fablena Kathllen Nascimento Dias	Documento assinado digitalmente FABLENA KATHLLEN NASCIMENTO DIAS Data: 29/11/2023 13:58:40-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br

Docente responsável e orientador do trabalho técnico-científico:

MATRÍCULA	NOME COMPLETO	ASSINATURA
		Documento assinado digitalmente CLEISON DANIEL SILVA Data: 29/11/2023 15:02:08-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br