

FUSÃO DE TÉCNICAS DE DETECÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO DE RESPOSTAS AUDITIVAS EM REGIME PERMANENTE

Henrique Bazoni¹, Tiago Zanotelli², Gledson Melotti³, Felipe Antunes⁴, Leonardo Bonato
Félix⁵

GT II – Engenharia e suas Tecnologias

Introdução e Objetivo

Os potenciais evocados auditivos são alterações nas atividades elétricas neurais em decorrência da apresentação de estímulos sonoros a um indivíduo (PICTON et al., 2003). Quando os estímulos são apresentados suficientemente rápidos de modo que as respostas aos estímulos se sobreponham, a resposta total é classificada como Resposta Auditiva em Regime Permanente, do inglês *Auditory Steady Response* (ASSR) (PICTON et al., 2003). A ASSR pode ser registrada a partir do exame de Eletroencefalografia (EEG) e sua identificação realizada de maneira objetiva e específica em frequência através das técnicas de Detecção Objetiva de Resposta, do inglês *Objective Response Detection* (ORD).

O processo de determinar a presença da ASSR é baseado no teste de rejeição de Hipótese Nula (H_0) (MIRANDA et al., 2002). A ASSR é definida como presente quando o valor da ORD aplicada ao sinal de EEG na frequência moduladora é maior que um valor crítico (VC). O VC é obtido na condição de H_0 verdadeira para um nível de significância α definido *a priori*.

Dessa forma, a ASSR permite realizar uma avaliação objetiva da audição, sem interferência subjetiva do paciente ou avaliador. Possibilitando o emprego do teste em pacientes que não conseguem ser submetidos a audiometria convencional, *e.g.* neonatos ou pacientes com alguma limitação física ou cognitiva. No entanto, em aplicações clínicas é necessário aprimoramento dos métodos de investigação da ASSR, *i.e.* melhorarias na identificação (ZANOTELLI et al., 2019).

Nesse sentido, o presente trabalho propõe um método para realizar a fusão das diferentes técnicas de ORD presentes na literatura, por meio das Redes Bayesianas (RBs) com o objetivo

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Instituto Federal do Espírito Santo-IFES, henriquebazoni@gmail.com;

² Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, tiagoz@ifes.edu.br;

³ Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade de Coimbra- UC, gledson@ifes.edu.br;

⁴ Mestre em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de São João Del-Rei- UFSJ, felipe.antunes@ifmg.edu.br;

⁵ Doutor em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, leobonato@ufv.br;

de criar um novo detector que apresente um desempenho superior em relação a utilização individuais das técnicas de ORDs.

Método e Metodologia

O presente estudo corresponde a uma pesquisa exploratória.

A. Técnicas de Detecção Objetiva de Resposta

As técnicas de ORDs utilizadas neste foram a Magnitude Quadrática da Coerência (MSC), a Medida de Sincronismo de Fase (CSM) e o Teste F Local (LFT), apresentados respectivamente em (DOBIE; WILSON, 1989), (FRIDMAN et al., 1984) e (ZUREK, 1992).

B. Redes Bayesianas para Fusão

As RBs são modelos probabilísticos que permitem especificar relações de dependência condicional entre determinadas características, representadas neste trabalho como as ORDs. As RBs são representadas como um grafo orientado em que cada caminho representa um vínculo de dependência quantificado pela distribuição de probabilidade condicional (NORVIG, 2013). O resultado de uma RB consiste na probabilidade conjunta da rede (PC), para uma determinada classe. A PC é calculada como o produto dos valores das ORDs com suas respectivas probabilidades condicionais.

C. Sinais de EEG

Os sinais de EEG utilizados durante o treinamento e validação da técnica proposta foram registrados de onze voluntários (2 mulheres e 9 homens), com idades entre 20 e 35 anos, com audição normal. As coletas foram realizadas no Núcleo Interdisciplinar da Análise de Sinais (NIAS), na Universidade Federal de Viçosa (UFV) durante o ano de 2019. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética local (CEP/ UFV No. 2.105.334).

Os voluntários foram submetidos a estimulação binaural múltipla, apresentando quatro diferentes tons modulados em amplitude de ordem dois em cada orelha, resultando em oito tons de investigação da ASSR. As frequências moduladoras utilizadas foram na faixa de 80 Hz. Os sinais de EEG foram registrados em 16 eletrodos com referência na nuca e o terra no F_{PZ}. Mais detalhes em Zanotelli (2021). As coletas foram registradas em duas sessões, com duração de 240 segundos e intensidades de 50 e 30 *dB Sound Pressure Level* (SPL).

D. Treinamento das Redes Bayesianas

O treinamento das RBs consiste em determinar o valor das probabilidades condicionais entre as ORDs na condição de H_0 . Para isso foi utilizado o valor das ORDs em 56 frequências, nas faixas de 25 a 54 Hz e 65 a 99 Hz, excluindo as frequências moduladoras. Uma vez que as ORDs são valores contínuos, foi realizado a discretização das variáveis, para isso o intervalo foi dividido em 100 partições. O valor das probabilidades foi determinado pela Equação 1:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{(P(B) + \lambda)} \quad (1)$$

Em que λ representa um fator de correção, considerado 10^{-5} nesse trabalho.

Para aumentar a quantidade de sinais disponíveis foram utilizadas as derivações bipolares do EEG, que consiste em calcular matematicamente a diferença de potencial entre dois eletrodos (ANTUNES et al., 2021). Assim, a partir dos 16 sinais de eletrodos, obtém-se 120 derivações bipolares em cada sessão de coleta, resultando no total de 221760 amostras (11 voluntários x 56 frequências x 120 canais x 3 sessões = 221760).

O VC é estimado aplicando um percentil com um nível de significância α (considerando 5% neste trabalho) ao conjunto de PC da rede por meio de simulação de Monte Carlo. Uma vez que a rede foi treinada, um novo conjunto de valores de ORDs é aplicado à rede e o resultado da PC é comparado com o seu respectivo VC. Caso a PC seja superior ao VC a ASSR é definida como presente, caso contrário como ausente.

E. Medidas de Desempenho

A performance da estratégia foi avaliada com base nas taxas de detecção (TXD) e taxa de Falso Positivo (FP), das RBs aplicadas aos sinais de EEG. É importante salientar que para realizar a avaliação de desempenho foi utilizado os 16 canais que não haviam sido utilizados durante o treinamento (treinamento utilizou os dados somente das derivações bipolares).

A TXD foi estimada como a razão entre o número de detecções nas frequências de modulação e o número total de detecção possíveis (11 voluntários x 8 frequências x 16 canais = 1408 detecções possíveis). A taxa de FP foi calculada pela quantidade de detecções nas frequências adjacentes em que não eram esperadas respostas, *i.e.* os bins vizinhos, dividida pelo número total de frequências analisadas (11 voluntários x 56 frequências x 16 canais = 9856 detecções possíveis).

Discussão e Resultados

Três topologias de redes foram implementadas. A RB 1 corresponde a rede $P(MSC)P(CSM)P(LFT)P(CSM|LFT)$. A RB 2 e a RB 3 correspondem respectivamente à $P(MSC)P(CSM)P(LFT)(MSC|CSM)$ e $P(MSC)P(CSM)P(CSM|MSC)$.

A Tabela 1 apresenta as TXD e as taxas de FP em função da intensidade sonora (30 e 50 dB SPL) para as três topologias de RBs propostas. Como o cálculo da taxa de FP está condicionado a um número limitado de testes, é esperado que apresentem um limite de confiança. Considerando um intervalo de confiança de 95%, observou que todas as topologias apresentaram uma taxa de FP na faixa de a 5% (nível de significância adotado neste trabalho).

Tabela 1: TXD e taxa de FP para diferentes topologias de RBs em função da intensidade sonora.

	TXD		Taxa de FP	
	50 dB SPL	30 dB SPL	50 dB SPL	30 dB SPL
MSC	44,96%	13,14%	4,41%	4,38%
PSM	44,03%	14,35%	4,18%	4,07%
LFT	45,45%	14,99%	5,67%	5,03%
RB 1	48,22%	15,48%	5,12%	4,83%
RB 2	48,01%	15,77%	5,09%	4,75%
RB 3	47,58%	15,27%	5,13%	4,72%

Analisando as TXD, as RBs propostas apresentaram um desempenho superior em relação aos métodos tradicionais, *i.e.* aplicação da ORD individualmente, para as intensidades analisadas.

A RB 1 apresentou o melhor desempenho para a intensidade de 50 dB SPL. Em comparação as ORDs individuais, a RB 1 exibiu um aumento na TXD de 7,25%, 9,25% e 6,9%, em relação a MSC, CSM e LFT respectivamente. Para a intensidade de 30 dB SPL, a RB 2 apresentou o melhor desempenho, exibindo um aumento na TXD de 20,01%, 9,89% e 5,20% em relação a MSC, CSM e LFT. A RB 3 apresentou o menor desempenho entre as topologias propostas, contudo ainda foi superior aos métodos individuais de ORDs conforme pode ser observado na Tabela 1. Uma vantagem da RB 3 consiste no fato de utilizar apenas duas ORDs para fusão, proporcionando uma redução do custo computacional para implementação das estratégias.

Uma limitação do presente estudo corresponde ao tempo de exame fixo com 240 segundos. Em trabalhos futuros, os autores pretendem avaliar o desempenho da estratégia para diferentes tempos de exame. Além do mais, pretendem expandir a análise para outras faixas de frequências de modulação, *e.g.* 40 Hz para avaliar a estratégia. Além disso, é necessário estudos futuros para determinar quais de distribuição de probabilidade condicional desenvolvem um melhor desempenho.

Considerações Finais

O novo detector proposto neste trabalho, utilizando RBs para combinar as diferentes ORDs, apresentou um desempenho superior em comparação ao método de utilizar ORDs individualmente para identificação da ASSR. A estratégia proposta demonstrou melhorias nas TXD e foi capaz de controlar as taxas de FP em valores esperados. Os resultados indicam o potencial dessas estratégias na investigação da ASSR.

Agradecimentos/Apoio Técnico (opcional)

Ao IFES pela bolsa de iniciação científica (PT 10005), a FAPES (EDITAL No 03/2021, grant No.457/2021) e ao IFES campus São Mateus (Edital N° 22/2022) pelo apoio financeiro.

Referências

ANTUNES, F. et al. Multichannel search strategy for improving the detection of auditory steady-state response. **Med Biol Eng Comput**, v. 59, n. 2, p. 391–399, fev. 2021.

DOBIE, R. A.; WILSON, M. J. Analysis of auditory evoked potentials by magnitude-squared coherence. **Ear and hearing**, v. 10, n. 1, p. 2–13, fev. 1989.

FRIDMAN, J. et al. Application of phase spectral analysis for brain stem auditory evoked potential detection in normal subjects and patients with posterior fossa tumors. **International Journal of Audiology**, v. 23, n. 1, p. 99-113. 1984.

PICTON, T. W. et al. Human auditory steady-state responses. **International journal of audiology**, v. 42, n. 4, p. 177–219, 2003.

MIRANDA DE SÁ, A. M. F. L.; FELIX, L. B. Improving the detection of evoked responses to periodic stimulation by using multiple coherence – application during photic stimulation. **Med Eng Phys**, v. 24, n. 4, p. 245–252, 2002.

NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. 3.ed. Rio de Janeiro. LTC, 2013.

ZANOTELLI, T. et al. Improving the power of objective response detection of evoked responses in noise by using average and product of magnitude-squared coherence of two different signals. **Medical & Biological Engineering & Computing**, v. 57, n. 10, p. 2203–2214, 9 out. 2019.

ZANOTELLI, T. et al. Choosing multichannel objective response detectors for multichannel auditory steady-state responses. **Biomedical Signal Processing and Control**, v. 68, n.102599, jul. 2021.

ZUREK, P. M. Detectability of Transient and Sinusoidal Otoacoustic Emissions. **Ear and Hearing**, v. 13, n. 5, p. 307–310, oct. 1992.