

藤森法を用いた P300 の単一試行検出に関する一検討

A study for Single-Trial Detection of P300 Based on Fujimori Method

大場 匡[†] 吉田 嵩[†] 相川 直幸[‡]
 Masashi Ohba Takashi Yoshida Naoyuki Aikawa

1. まえがき

脳波(Electroencephalogram : EEG)の中には、何らかの事象生起によって発生する事象関連電位(Event Related Potential : ERP)が存在する[1]. ERP の中でも P300 は刺激後約 300ms に陽性頂点を持つ電位であり、刺激の認知や期待、判断に関連する電位である. P300 は脳の認知機能障害の評価や心理学分野への応用が期待されている[2]. P300 は他の EEG に埋もれて測定されるため、一般に、加算平均法を用いてランダム性の高い他の EEG を除去することで検出を行っていた. しかし、この手法では瞬時の P300 の波形が検出できない.

本報告では、P300 を単一試行で検出するための基礎研究として、EEG の波形から、被験者に提示した刺激を推定する方法を提案する. 提案法では、まず EEG の 0-2Hz の成分から、P300 の大まかな潜時推定を行う. 次に、推定した潜時付近の EEG を藤森法を用いて、1,2,3 次波に分解する. その中から P300 由来の波(P300 推定波)を 1 つ定める. その後、得られた P300 推定波の振幅から、提示された刺激を推定する.

2. 藤森法

1958 年に藤森らは、複数の波が重畳している脳波波形の計測法を提案した[3]. これが藤森法と呼ばれ、臨床脳波専門医が脳波診断を行う際に用いる方法を再現している.

3. ERP の誘発パラダイム

高頻度刺激(標準刺激)と低頻度刺激(逸脱刺激)を等間隔で被験者に提示する. この時、加算平均法を用いて P300 の振幅を求めると、両刺激間に差が出るのが従来研究により明らかになっている[4]. 以降、それぞれの刺激を加えた時刻を、トリガ時刻とする.

4. 方法

4.1 大まかな P300 潜時の推定

まず P300 の特徴を明らかにする. トリガ時刻から 500ms 間の EEG から、その平均電位を引く. この信号を各トリガ時刻から 500ms 分加算平均することで ERP を強調する(図 1(a)). また、図 1(b)に加算平均波形の周波数スペクトルを示す. 図 1(b)より、約 2Hz の付近が、最も振幅の大きい成分であることがわかる. そこで、図 1(a)の加算平均波形とその 2Hz 以下の成分を時間領域において比較すると、加算平均波形の 0-2Hz 成分が最大電圧となる時刻とほぼ同時刻に P300 が発生することが分かる.

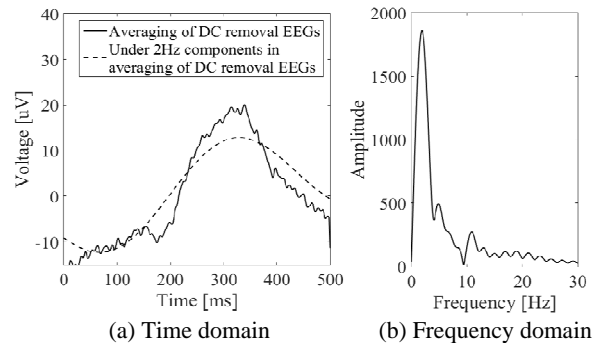


図 1 EEG の加算平均波形の解析

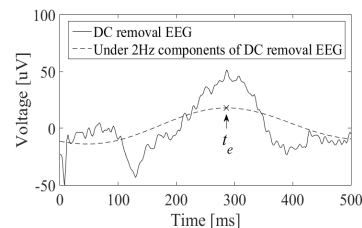


図 2 フィルタリング波形から t_e を求める

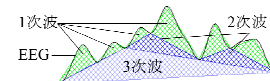


図 3 藤森法を用いた EEG の分解

このことを利用して、提案法では以下の手順で P300 の大まかな潜時を推定する. まず、各試行で測定された EEG から、トリガ時刻から 500ms 間の平均電位を引く. 次に、ローパスフィルタを用いて、平均電位を引いた EEG の 0-2Hz 成分を抽出する. 図 2 に、平均電位を引いた EEG と、その 0-2Hz 成分の例を示す. 最後に、0-2Hz 成分が最大電圧となる時刻を求め、その試行の大まかな推定潜時 t_e とする. ただし、文献[4]から P300 は 300ms 前後で発生するため、 $t_e < 200$, $420 < t_e$ となった試行は評価から除外する.

4.2 P300 推定波決定と刺激の推定

一般に、逸脱刺激によって生じる P300 の振幅は標準刺激による振幅より大きい[2]. そこで提案法では、各試行で P300 推定波を決定し、その振幅が閾値より大きければ逸脱刺激、閾値以下であれば標準刺激と推定する. P300 推定波の決定手順は以下の通りである. 図 1(b)より、ERP は 0-20Hz の成分から構成されていることがわかる. 従って、0-20Hz を通過域とするローパスフィルタを用いて EEG に含まれるノイズを除去する. 次に、図 3 のように、藤森法を用いて、ノイズ除去後の EEG を 3 次までの波に分解する. その後、4.1 で求めた t_e に頂点時間が最も近い 1 次波、2 次波、3 次波を検出する. パターン分けのために、 t_e に 2 番目に近い 1 次波(以後;参照波)も検出する. 最後に、検出した

[†] 東京理科大学大学院 基礎工学研究科

[‡] 東京理科大学 基礎工学部

4つの波の連なり方によって各試行から得られた EEG を以下の5つのパターンに分類し、パターンごとに P300 推定波を決定する。

1 次波の頂点時間が最も t_e に近い場合、次の 4 パターンに分類する。

- ・パターン 1 : 1 次波の下に波が重畳していない(図 4(1)).
1 次波を P300 推定波とする。また、閾値を δ_1 とする。
- ・パターン 2 : 1 次波、参照波が 2 次波の両辺に 1 つずつ重畳している(図 4(2)). このとき、1 次波と参照波の周波数差に着目し、これらが P300 由来の波か、ノイズかを判別する。以下の f は周波数差の閾値である。
(2-A) 周波数差が f よりも大きい場合 : 1 次波が P300 由来であると判別し、1 次波を P300 推定波とする。また、閾値を δ_{2A} とする。
(2-B) 周波数差が f 以下であった場合 : 1 次波と参照波がノイズであると判別し、2 次波を P300 推定波とする。また、閾値を δ_{2B} とする。
- ・パターン 3 : 1 次波、参照波が 2 次波の 1 辺に 2 つ重畳している(図 4(3)). パターン 2 と同様 1 次波と参照波の周波数差に着目する。
(3-A) 周波数差が f よりも大きい場合 : 1 次波を P300 推定波とする。また、閾値を δ_{3A} とする。
(3-B) 周波数差が f 以下であった場合 : 2 次波を P300 推定波とする。また、閾値を δ_{3B} とする。
- ・パターン 4 : 上記以外の場合(図 4(4))に、パターン 2 と同様 1 次波と参照波の周波数差に着目する。
(4-A) 周波数差が f よりも大きい場合 : 1 次波を P300 推定波とする。また、閾値を δ_{4A} とする。
(4-B) 周波数差が f 以下であった場合 : 2 次波と 3 次波の、より t_e に近い方を P300 推定波とする。2 次波が P300 推定波の場合、閾値を δ_{4B} とする。3 次波が P300 推定波の場合、閾値を δ_{4C} とする。

2 次波の頂点時間が最も t_e に近い場合、次のパターンに分類される。

- ・パターン 5 : 2 次波を P300 推定波とする(図 4(5)). また、閾値を δ_5 とする。

5. シミュレーション

ここでは、文献[5]で測定された EEG を用いて、提案法の有効性を検証する。文献[5]では、左肩に 80%(標準刺激)、右肩に 20%(逸脱刺激)の確率で電気刺激を提示した時の EEG を測定した。測定した EEG は 500Hz でサンプリングした後、前処理として、0.1-100Hz のバンドパスフィルタでノイズ除去を行った。文献[5]では、拡張 10-20 法に準拠して 32ch の EEG を測定したが、本章では Pz に対してのみシミュレーションを行う。また、逸脱刺激時により大きな ERP を励起するため、逸脱刺激に対して反応を要求する Active 条件の EEG を使用する。更に、提案法におけるパラメータは実験値より、以下のように設定した。 $f = 6\text{Hz}$, $\delta_1 = 20\mu\text{V}$, $\delta_{2A} = 20\mu\text{V}$, $\delta_{2B} = 20\mu\text{V}$, $\delta_{3A} = 20\mu\text{V}$, $\delta_{3B} = 25\mu\text{V}$, $\delta_{4A} = 20\mu\text{V}$, $\delta_{4B} = 17\mu\text{V}$, $\delta_{4C} = 19\mu\text{V}$, $\delta_5 = 17\mu\text{V}$ 。

まず、大まかな潜時推定により評価から除外された試行は逸脱刺激 5 回、標準刺激 17 回であった。従って、逸脱刺激 96 回、標準刺激 84 回の試行に対し、提案法を用いて刺激の推定を行う。表 1 に提示された刺激の推定結果を示す。

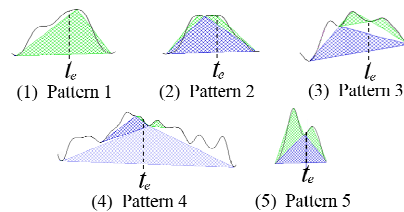


図 4 波と推定潜時 t_e による分類

表 1 刺激の推定結果

提示刺激	試行数[回]	逸脱[回]	標準[回]
逸脱刺激	96	75	21
標準刺激	84	38	46

表 1 より、逸脱刺激に対する推定精度は 78.1%、標準刺激に対する推定精度は 54.8%であった。

6. むすび

本報告では、藤森法を用いて EEG から P300 推定波を決定し、提示された刺激の種類を推定する方法を提案した。まず、P300 の潜時と、加算平均波形の 0-2Hz 成分が最大電圧となる時刻がほぼ等しいことを示した。次に、ローパスフィルタを用いて EEG の 0-2Hz 成分を抽出し、その頂点時刻から大まかな潜時を推定する方法を提案した。また、藤森法を用いて EEG を分解し、波の連なり方から 5 パターンに場合分けした。更に、それぞれのパターンについて P300 推定波を決定する方法を示した。提案法では、P300 推定波の振幅が閾値より大きくなるか否かで、提示された刺激を推定する。最後にシミュレーションを通じて提案法の推定精度を検証したところ、逸脱刺激 78.1%、標準刺激 54.8%となった。

謝辞

本研究にあたり、資料、ご指導を賜りました、関西学院大学文学部教授・片山順一教授、国立研究開発法人 産業技術総合研究所 人間情報研究部門 情報数理研究グループ 産総研特別研究員・杉本史恵様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1]J.L Parada, C.A Serrano, and J.M. Gutierrez-Salgado, "Analysis of P300 containing EEG through three Non-Linear Methods," Computing Science and Automatic Control, Vol.11, No.2, pp.1-5, Sep. 2014. DOI:10.1109/ICSEE.2014.6978280
- [2]鶴紀子, 臨床脳波と脳波解析, 株式会社新興医学出版社, 東京, 2000.
- [3]B.Fujimori, T.Yokota, Y.Ishibashi, T.Takei, "Analysis of Electroencephalogram of Children by Histogram Method", EEG Clin Neurophysiol, Vol.10, No.2, pp.241-252, May 1958. DOI:10.1016/0013-4694(58)90031-2
- [4]入野野宏, 心理学のための事象関連電位ガイドブック, 株式会社北大路書房, 東京, 2005.
- [5]Fumie Sugimoto, Jun'ichi Katayama, "Somatosensory P2 reflects resource allocation in a game task : Assessment with an irrelevant probe technique using electrical probe stimuli to shoulders," International Journal of Psychophysiology, Vol.87, No.2, pp.200-204, Feb. 2013. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2013.01.007