519 視覚刺激に対する頭皮上および脳波事象関連電位パターン解析

Scalp Potential and ERP Pattern Analysis which Respond to Visual Stimuli

中尾友希 (大崎電気)

Yuki NAKAO, Osakidenki

○ 邊見佳輝 (茨大工)

Yoshiki HENMI, Ibaraki University

正 住谷秀保 (茨大工)

Hideyasu SUMIYA, Ibaraki University

EEG contains a lot of information for activities such as human behavior and mental factors. Therefore, many studies about EEG have been made and many reported cases about this. However, measuring brain inside has many problems: the machines are large, expensive, and it takes time to process. Here, in this study, for EEG pattern discrimination interface construct with reproducibility, responsiveness, and verification by the closed-eye state for discrimination mechanism to focus on eye movement event-related potential, using Mahalanobis distance and a three-layer neural network. In addition, attempts to ICA of findings obtained by the scalp potential analysis by eye behavior.

Key Words: Eyeball, EOG, EEG, Mahalanobis distance, a three-layer neural network

1. はじめに

脳波は人の行動や精神活動などに対し多くの情報を含んでいる。そのため、EEG に始まる脳機能野解析は基礎研究のみならずその応用についての開発例も数多く報告されている。しかし、脳内部を測定するためには大掛かりで、高価であり、処理時間に時間を要するという問題がある。そこで本研究では、再現性、即応性を有する脳波パターン判別インターフェイス構築のために眼球運動事象関連電位に着目し、マハラノビス汎距離判定や3層ニューラルネットワークを用いた判別機構について閉眼状態で検証を行った。また、眼球動作による頭皮上電位解析により得られた知見から独立成分分析を試み、同手法を用いた脳波抽出手法を提案した。

2. システム概要

Figure 1: System Overview

脳波測定条件として被験者に閉眼状態で5秒ごとに送られる「上、左上、左、左下、下、右下、右、右上」の単音指示に従い、眼球を動かしその状態を2s間保つよう指示し、その後正面へ戻す指示を行った。

Figure 2: Reference Pattern

眼球動作による頭皮上電位により、ピーク発生時間660msが確認された。また、解析より特徴パターンが指示後500ms後から約1s間同じパターンを保持した後、ゆるやかに減衰し通

常の揺らぎパターンへ戻る変化を観測した。すべての被験者の各方向に対し500msから1500msまで7.8ms毎の類似パターンの加算平均基準パターンを求め判定機構を作成する。Figure 2に頭皮上電位基準パターンを示す。

3. ERPパターン利用眼球動作方向判定機構

脳波パターンから眼球動作に伴うERPパターンを求め、眼球動作方向を判別する判定機構について検討する。本報告で扱う眼球動作関連頭皮上電位パターンは基本的に静的なベクトルのパターン判別手法としており、(1)式で定義する。

$$P_n = [p_1, p_2, \dots, p_n] \\ = [ch_1, ch_2, \dots, ch_n] \quad (1)$$

$$n = [u, ul, l, ll, d, lr, r, ur]$$

3.1. マハラノビス汎距離判定

解析対象データ P_i と各参照パターンとの距離を σ で除した誤差値 $D_n(n: u, ul, l, ll, d, lr, r, ur)$ を式(2)で定義する(m : channel data, j : subject).

$$D_n = \|P - P_n / \sigma_n\|_2$$

$$= \sqrt{\left(\frac{p_1 - \bar{p}_{n1}}{\sigma_{n1j}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{p_m - \bar{p}_{nm}}{\sigma_{nmj}}\right)^2} \quad (2)$$

判定対象に対し、最も小さくなる D_n よりパターン判定を行う。

3.2. ニューラルネットワーク判定

誤差逆伝搬法を利用し入力層14、中間層14、出力層3ユニットのニューラルネットワークをFigure 3のモデルのように構築する。

Figure 3: Neural Network Model

基準パターン14chを入力した際、出力が(1,0,0):上、(1,0,1):左上、(1,1,0):左、(1,1,1):左下、(0,1,0):下、(0,1,1):右下、(0,0,0):右、(0,0,1):右上となるようネットワークに学習させる。学習

が終わったネットワークに各被験者の脳波パターンを入力し、出力値によって判定する。

4. 判定結果

判定手法による頭皮上電位変動点におけるパターン判別比較結果を Figure 4 と Table 1 に示す。マハラノビス汎距離判定法では判定制度 80%を示し、ニューラルネットワークを用いた判定は 69%の判定制度を示した。BMI 操作性向上のため頭皮上電位変動時点の一瞬ではなく、時間幅を有する場合の判定率を検証する必要がある。マハラノビス汎距離判定法では、頭皮上電位変動点から 1s 間、3 層ニューラルネットワーク判定では電位変動が安定する 700ms からの 1s 間で判定を行った。パターン判別精度はマハラノビス汎距離判定法では 73%、3 層ニューラルネットワーク判定では 62%となり、ともに減少した。

判定の際、指示方向の隣接方向への誤判定が多く、隣接する方向を同方向グループとみなし判定した結果を Table 1 に示す。判定精度がともに 90%程度と向上した。

これより、新たな方向判別処理や手法の導入により、判別精度と空間分解能向上の可能性がある。

Figure 4: Result of the determination with MGD2

Table 1: Comparison of Discrimination Accuracy

Accuracy	Peak Point		Same Direction Group, 1s	
	MGD2	M.N.N	MGD2	M.N.N
Subject A	81%	68%	94%	92%
Subject B	77%	64%	87%	85%
Subject C	78%	68%	88%	85%
Subject D	83%	78%	93%	98%
Average	80%	69%	90%	89%

5. 事象関連電位抽出手法検討

眼球動作事象関連電位抽出にはブラインド信号処理手法の 1 つである独立成分分析(ICA)を用いた。ICA は原信号 $s(t)$ と観測信号 $x(t)$ は(3)式で定義され、復元信号 $y(t)$ は(4)式で定義される。また、今回用いた fastICA 関数の更新則は(5)式で定義される。

$$x(t) = As(t) \quad (3)$$

$$y = Wx(t) \quad (4)$$

$$\tilde{\omega} = \omega - \eta \frac{E\{xg(\omega^T x)\} - B\omega}{Eg'(\omega^T x) - B} \quad (5)$$

$$\frac{\tilde{\omega}}{\|\tilde{\omega}\|} \rightarrow \omega$$

変数はそれぞれ ω : 復元方向の正射影方向成分, $g(\omega^T x)$: 確率密度関数, B : 対角行列, $E\{xg(\omega^T x)\}$: エントロピーである。

Subject A の上方向指示区間 2s 間に対する ICA 実行例を Figure 5 に示す。示していることから、眼球動作関連電位である可能性がある。

fastICA は観測データ長が短いと独立成分の分解が困難なため 2s 間の同一データを連続させて分析を行った。

Figure 5: ICA Components and Montage (Subject A)

また、ICA は初期値に乱数を用いるため、試行回数によって結果が変動する。この試行の場合 2 つの独立成分に分離でき、一方にピークが出現している。眼球事象関連電位の抽出のため、ピークの出現時間が頭皮上電位変動時点の近傍である独立成分に着目した。Figure 5 では独立成分のピークが 780ms に出現しているのに対して、頭皮上電位変動点は 870ms であり、上方向駆動時の頭皮上電位パターンと異なる電位パターンを EOG, EMG が線形性を持つと仮定し、頭皮上電位参照パターンを用いた事象関連電位抽出手法を提案する。

Figure 6 に提案手法の流れを示す。各指示方向に対応する参照パターンの最大値を示すチャンネルを算出し、そのチャンネルを基準に元の波形との残差を取る。残差に対して ICA を行った。しかし、EOG, EMG 減衰部で残差が増加しており、EOG, EMG は線形性を持たず、近似させる必要があることが本解析によって明らかになった。

Figure 6: System Flow

6. おわりに

本報告では眼球運動事象関連電位を利用した脳波パターン判別インターフェイスの判別手法について述べた。8 方向の眼球運動により誘発される頭皮電位パターンについて検討し、それぞれの方向の基準パターンを算出した。判定精度はマハラノビス汎距離判定法で 80%、3 層ニューラルネットワーク判定で 69%となり、8 方向を判定可能であることを示した。また、ICA を用いた脳波事象関連電位抽出手法を提案した。

参考文献

- (1) Kamitani, Y. Shimojo, S. Manifestation of scotomas created by transcranial magnetic stimulation of human visual cortex. *Nature Neuroscience* 2, 767-771 (1999)
- (2) 伊藤拓真, "実時間ロボット制御のための眼球駆動事象関連電位パターン認識", 計測自動制御学会 (2009)
- (3) Kai J. Millner, Marcel den Nijs, Pradeep Shenoy, John W. Miller, Rajesh P. N. Rao and Jeremy G. Ojemann, Real-time functional brain mapping using electrocorticography, (1997)
- (4) Yukiya Kamitani, Frank Tong: "Decoding seen and attended motion directions from activity in the human visual cortex", *Current Biology*, 16, 1096-1102 (2006).
- (5) Yukiya Kamitani, Frank Tong: "Decoding the visual and subjective contents of the human brain", *Nature Neuroscience* 8, 679-685 (2005)