

ユーザのエラー関連陰性電位による異常検出

Anomaly Detection using User’s EEG

ペナロサ・クリスチャン (阪大) 正 前泰志 (阪大) 小嶋勝 (阪大)
洞出光洋 (阪大) 神山和人 (阪大) 正 新井健生 (阪大)

Christian PENALOZA, Osaka University
Yasushi MAE, Osaka University, mae@sys.es.osaka-u.ac.jp
Masaru KOJIMA, Osaka University
Mitsuhiro HORADE, Osaka University
Kazuto Kamiyama, Osaka University
Tatsuo ARAI, Osaka University

The paper presents an approach for using cognitive EEG brain signals in order to activate safety measures of a tele-operated robot device when an error or unexpected event is perceived by the human operator. The approach detects a brain potential called error related negativity (ERN) that spontaneously occurs when an operator perceives an error made by the robot or when an unexpected event occurs. The operator is supposed to be wearing an EEG headset in the method. By detecting ERN of the operator, the method activates robot’s safety measures such as an emergency stop action for mobile navigation with unexpected events.

Key Words: BMI, Error Related Negativity, Anomaly detection

1 緒言

近年，BMI(brain machine interface) を用いて，運動麻痺患者の支援 [1] やロボット車椅子の操作 [2] など，人の生活の質を向上させることが期待されている．安全のために，あらかじめ予想される事が起きる場合には，例えば車椅子が障害物を検出した時に停止する場合など [3] のようにあらかじめプログラムされた行動で対処することができる．しかしながら，予想しない事が生じたときの安全確保が問題となる．
予想しないことが生じる場合には，音声やジェスチャ，その他操作インタフェースによって操作者が指示することが考えられるが，ここでは，操作者が異常を認知したことによって生じるエラー関連陰性電位 (ERN:error related negativity) 信号を用いることを考える．ERN は，人が異常や予期しない事を認知した後の 80-150ms 後に生じる前帯状皮質 (ACC:Anterior cingulate cortex) 近くの前頭中心部において生じる負の電位である [4]．ERN は，次のようなときに生じる．1) ユーザが誤りをしたと認知したとき，2) ユーザが他の人や機械が行った誤りを認知したとき [5]．ERN を使った研究はあるものの，ユーザ自身が行った誤りの後に生じる ERN を使っているものが多い．例えば，Iturrate I. ら [6] は，シミュレーションにおいて ERN を強化学習の報酬に用いており，Chavarriaga R. ら [5] は，ERN をエージェントの誤まった行動を最小化することに用いた．この研究では，正しい行動があらかじめ分かっているときにおいて，ERN を用いてフィードバックをかけられることを示している．
本稿では，操作者に誤りがなくロボット機器が正しく動作を実行している場合において，操作者が異常を認知したときに生じる ERN を用いて機器を操作する手法について述べる．提案手法では，操作者の EEG 信号をモニタリングすることによって，遠隔機器の誤動作や予期しない事態を認知することによって生じるエラー関連陰性電位 (ERN:error related negativity) を検出する．遠隔誘導するロボットのカメラ映像を通して異常を操作者が認知した時に生じる ERN によってロボットを停止させる例を示す．

2 エラー関連陰性電位 (ERN) の検出

ERN を検出するための EEG 信号を取得するために，複数チャンネルをもつヘッドセット Emotiv EPOC を用いた．Emotiv EPOC は，脳活動を計測し，EEG データを PC へ転送する．14 チャンネルをもち，その位置は，AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4 である．緩変動脳波や，アルファ波やベータ波の帯域や，P300 の反応を検出することができる．ERN を検出するために，ACC の近くに位置する F3, F4,

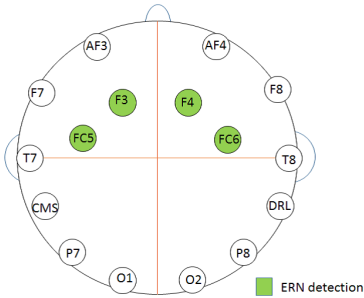


Fig.1 Electrode locations available in Emotiv EPOC headset. Electrodes marked in green were used to detect ERN.

Table 1 ERN Detection Performance

	P1	P2	P3	P4	P5	Avg
SVM	84.6%	82.4%	81.1%	84.5%	77.2%	82.0%
LDA	82.6%	78.2%	79.3%	82.6%	75.5%	79.6%

FC5,FC6 の電極から得られる EEG データを用いる (Fig. 1) .

2.0.1 EEG データ学習

ユーザが作業中に生じる ERN をオンラインで検出する方法があるが [6] ,分類器を訓練するためには，作業中における異常検知を含む EEG データを収集しなければならない．ユーザの ERN 信号を学習するための作業として，ユーザはランダムな順に提示される文字列を中央にある文字の向きに従ってマウスボタンの右か左を押す作業を用いた．使用した 2 つの文字列は，同じ向き ({{{{{{{{ and }}}}}}}}) と反対向き (}}}}}}) and {{{{{{}}}}}}) である．各試行において，各文字列は，スクリーンに 100ms 提示され，消された 2000ms 後に次の異なる文字列が提示される．参加者は，次の文字列が現れる前に，対応するマウスボタンをクリックしなければならない．
参加者は，男性 3 人，女性 2 人 (年齢 M=27.2, STD=2.68) であった．各参加者には，ヘッドセットを着けてスクリーンの前に座り，データ学習中は，ノイズを減らすためにまばたきをしないように依頼した．実験で用いた GUI を図 2 に示す．各参加者は，



Fig.2 Flanker Task GUI: the experiment consists in having the user to press one of two mouse buttons (left or right) to specify the direction of the central symbol that appears within the sequence of characters that are flashed in random order.

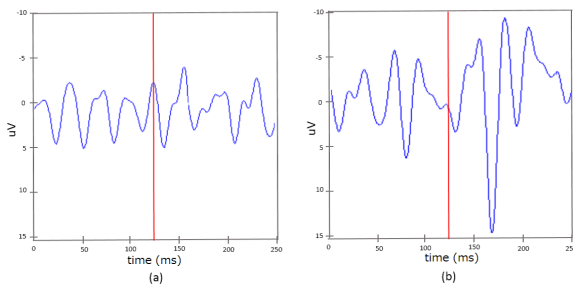


Fig.3 Examples of ERN during: a) correct and b) incorrect responses of the user. The red line indicates the moment when the user pressed the button.

100 試行を行う。クリック後の 1000ms の間に EEG 信号を記録する。図 3(b) は、参加者が誤って押したことを認知したときに EEG 信号に現れる ERN 信号を示す。一方、図 3(a) は、正しくボタンをおしたときに現れる EEG 信号を示している。赤い線は、ユーザがボタンを押した時を表している。

2.0.2 ERN の分類

ERN を検出するためには、電極 F3, F4, FC5 FC6 から得られた EEG データを用いる。他のチャンネルに大きな活動は見られるが、他の認知のプロセスに関わっているので、我々は考慮しなかった。特徴抽出と分類を次のように行った。

- 各試行において、参加者がクリックした後にデータを取得する時間幅を 200ms にした。
- 選択されたチャンネルを連結させて特徴ベクトルとした。
- 特徴を 0-1 の幅に正規化した。
- クラスのラベルを (non-ERN / ERN) を与えた。
- 線形分類器を学習させる。

負例 (non-ERN) として正しい反応の EEG データを用い、正例 (ERN) として、誤った反応のときの EEG データを用いる。サポートベクタマシン (SVM) と線形判別分析 (LDA) を用いた。各参加者の EEG データのうち 75 試行を訓練に用い、25 試行を評価に用いた。SVM と LDA の ERN の検出結果を図 ?? に示す。いずれの分類器もおおよそ平均して 80% の検出率であり、ERN 反応が参加者による異常の認知や予想しない結果の検出に利用可能であることを示している。最終の検出器としては、誤検出を減らすため両方の分類器が検出したときに、ERN を検出したとして実装した。

3 ロボットへの応用

ERN を用いた異常検出の適用可能性を示すために、ユーザが移動ロボットを遠隔操作するシステムを構築した。図 4 にシステムの構成を示す。1) ユーザの脳信号を計測する EEG ヘッドセット、2) EEG を信号を処理しロボットへ制御コマンドを送るサーバ、3) 制御コマンドを受けるノート PC を搭載した全方向車輪の移動ロボットヘッドセットは EEG データをサーバへ bluetooth で送り、サーバは制御コマンドを WIFI で送る。

図 5(a) にロボットのカメラ画像を表示する GUI を示す。ユーザはカメラ画像を観察しながらロボットを 3 から 5 m 前進させるように依頼される。実験補助者は、ランダムな時に障害物をロボットの前に落とす。図 5(b) は、障害物が現れたときの GUI の様子である。ユーザの ERN が検出されるときには、自動で停止コマンドがロボットへ送られ、ロボットが停止する。



Fig.4 Robotic System: a mobile robot with built in camera is connected to a server via Wifi. A human operator can send navigation commands to the robot while wearing a headset sends EEG signals to the server via bluetooth.

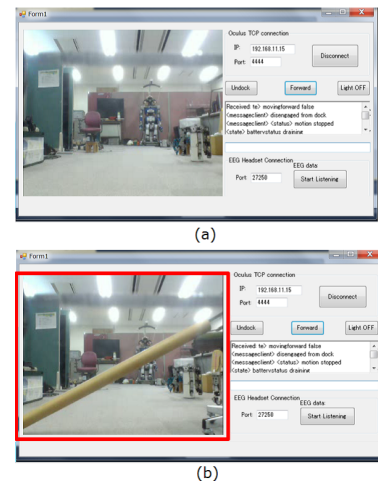


Fig.5 User graphic interface during (a) normal navigation, and (b) when an unexpected event occurs. The server monitors operator's EEG signals and automatically sends an emergency stop command to the robot when an ERN signal is detected.

4 結言

ユーザが異常を認知したときのユーザの ERN を検出することにより、ユーザが遠隔操作する機器を自動停止できるシステムを構築し、機能することを確認した。なお、本研究の一部は、公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団の助成を受けて行われた。

References

- [1] J.R. Wolpaw, et al. "Brain-computer interface technology: a review of the first international meeting", IEEE Trans. Rehabilitation Engineering, vol. 8, no. 2, pp. 164-173, 2000.
- [2] I. Iturrate, J. Antelis, and J. Minguez. 2009. Synchronous EEG brain-actuated wheelchair with automated navigation. In Proceedings of the 2009 IEEE international conference on Robotics and Automation (ICRA'09). IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 2530-2537.
- [3] I. Iturrate, J. Antelis, and J. Minguez. 2009. Synchronous EEG brain-actuated wheelchair with automated navigation. In Proceedings of the 2009 IEEE international conference on Robotics and Automation (ICRA'09). IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 2530-2537.
- [4] H.T. van Schie, R.B. Mars, M. G. H. Coles, H. Bekkering, "Modulation of activity in medial frontal and motor cortices during error observation," Nat. Neuroscie., vol. 7, pp. 549-554, 2004.
- [5] Chavarriaga, Ricardo; Millan, Jose del R., "Learning from EEG Error-related Potentials in Noninvasive Brain-Computer Interfaces," IEEE Trans on Neural Systems and Rehabilitation Engineering (ISSN: 1534-4320), vol. 18, num. 4, p. 381-388, 2010.
- [6] I. Iturrate, L. Montesano, and J. Minguez. "Robot reinforcement learning using EEG-based reward signals" IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2010), Anchorage, Alaska, May 3 - 8, 2010.