

BCI の応用に向けた視覚情報の認知状態の検出

Detection of human cognitive state with visual stimuli for brain-computer interface

唐山英明 (特任助教)

東京大学 IRT 研究機構

Hideaki Touyama (Project Assistant Professor)

Information and Robot Technology Initiative, The University of Tokyo

和文アブストラクト - 現在, 人間の認知や思考などを検出し, 工学的に応用する脳とコンピュータを直結するインタフェース, ブレインコンピュータインタフェースの研究が注目されている. 申請者は, 視覚的な注意の検出について, その可能性を研究・調査する. 特に, 高臨場仮想空間において脳波計測を行い, 機械学習などの高度な信号処理技術を利用して人間の注意がどこに向けられているか推定するという課題に取り組むものである. このような研究は, 医療・福祉や家電, ロボットのインテリジェントな制御にも応用可能と考えられる.

Abstract - Brain computer interface is an excellent technology which would enable us to communicate with external world only via brain activities. The electroencephalography is one of the non-invasive approaches and has been widely studied for the brain computer interfacing. The computer keyboard and cursor control were demonstrated by using the electroencephalographic activities such as P300, mu and beta rhythm. The visual evoked potential, in particular steady-state one, is also one of candidates for the innovative interface. However, it has not been realized to detect human cognitive state with visual attention by using single trial data.

In this research, the visual attention will be investigated using non-invasive electroencephalographic method, which is very challenging. Aiming to extract human cognitive state, the researcher is planning to do: (1) measurements on visual evoked potentials with control of subject's visual attention, (2) analyzing the brain signals using averaging method, and (3) pattern recognition, that is, classification of human cognitive states via machine learning technique using single trial data.

This technology would be applied for extraction of car-driver's cognitive state, and enable us to interact with computer only by controlling visual attention without eye movements.

1. 研究目的

人間が機械等を操作する際には、多くの場合、手指を活用する。しかしながら、近年、脳活動のみでコンピュータ等を操作する技術が注目されている。このような機械操作手法は脳 - コンピュータインタフェース[1] (Brain-computer interface, 以下 BCI と記す.) と呼ばれている。

本助成研究では、これまでに著者が実施した「視覚誘発電位」[2] と呼ばれる脳波を利用した BCI の研究に基づき、続いて実現されるべきひとつのアプリケーションの提案と、その基礎的な研究結果について報告する。

著者は、先行研究において脳波のみで仮想空間内の立体映像の制御を行うために、人間の「注視」方向の推定に関する実験を実施してきた(図 1) [3]。ここで、注視においては「視線」と「注意」の方向が一致するものであった。視覚誘発電位を利用した 3 クラスの注視方向推定の問題において、線形判別分析手法により、1.0 (2.0) 秒間の脳波データで平均約 74 (78) % の正答率を実現した。これより、将来的に脳波だけで仮想都市移動やロボットカメラの遠隔制御が可能と考えられる。しかしながら、これまでの視覚誘発電位の研究においては、あくまで注視方向、すなわち視線と注意の方向が一致する場合を扱うに過ぎなかった。

先に述べたように、視覚誘発電位を利用した注視方向の推定はある程度可能であり、これが BCI を実現する一つの原理であるが [4, 5]、注意方向の推定はどうか。視線は固定されたまま、注意の方向を制御することによる「注意制御型入力インタフェース」は実現可能であろうか。今回著者は、ひとつの画期的なアプリケーションとして、視覚的注意(以下、「注意」と略記する.) を検出するインタフェースの概念を提唱し、この実現を長期的な研究の目標に設定した。これが実現すれば、眼球を動かす必要がなく、興味対象を観察しながら様々な入



図 1 立体映像と被験者

力、操作が可能となるであろう。もちろん、これは他の入力デバイスには実現できない BCI のみが可能な入力手法である。つまり、被験者が注意を向けた時、向けない時における脳活動パターンに相違が生じるかどうかについて調べたい。

従来の研究においては脳波データを加算して信号雑音比を改善しているが、今回著者が計画した研究においては、この研究を一步進め、加算なしの一回計測データから被験者の注意の所在を推定可能かどうかについて調査する。仮に、高い正答率で推定可能であった場合は、リアルタイムでの注意制御型入力インタフェースが実現できると考えられる。

2. 研究経過

今回の実験に用いた視覚刺激のパターンを図 2 に示す。刺激は黒色背景の左または右半側視野内に 1 つあり、形状は正方形で、一定の周期で白黒明滅する。明滅周波数は 4Hz とした。明滅正方形の大きさは、縦 30 cm × 横 30 cm であり、被験者の両眼から正面スクリーンまでの距離は 1.5 m であった。このような視覚刺激は被験者の後方に設置した標準的なプロジェクタにより実現した。実験環境は暗室内にあり、被験者はこの環境に没入することにより視覚刺激を受けるものであった。ただし、両眼立体視は行わなかった。

本実験において、被験者はリラックスした状態で椅子に座り、視覚刺激を受けた。視覚野を中心として、被験者の頭部



(Fig.2a)



(Fig.2b)

図 2 視覚刺激

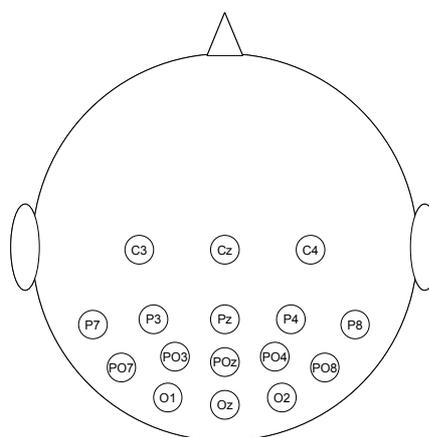


図 3 電極位置

16 か所(拡張国際 10-20 法の C₃, C_z, C₄, P₇, P₃, P_z, P₄, P₈, PO₇, PO₃, PO_z, PO₄, PO₈, O₁, O_z, O₂) に信号電極を装着した(図 3)。高感度増幅器(日本光電製 MEG-6116)により増幅された被験者の脳波信号データを、0.5~30 Hz のバンドパスフィルタを經由させ、標準的な A/D 変換装置において 100Hz でサンプリングした。

被験者への課題として、(1) 図 2a において左刺激への注意、(2) 図 2a において中央の視線固定点への注意、(3) 図 2b において右刺激への注意、(4) 図 2b において中央の視線固定点への注意、の 4 パターンを調査した(以降、それぞれ課題 1~4 と呼ぶ)。それぞれの課題について、順番に各計 150 秒間のデータを記録した。いずれにおいても、被験者は中央の視線固定点に視線を合わせ、実験中にはこれを動かさないよう指示されていた。

得られた 16 チャンネルの時系列脳波データを左半球と右半球の電極群に分け、各半球内の電位値の線形結合により左右 2 チャンネルの脳波データに削減した。その後、各課題計 150 秒間のデータを 1.0 秒間ずつに分割し、パワースペクトル推定を行った。

全電極の 3 Hz から 25 Hz 以下のパワースペクトル密度分布から特徴ベクトル

を構成し、刺激への注意の有無の判別の正答率を算出することとした。判別の対象としては、(a) 課題 1 と課題 2 の判別、(b) 課題 3 と課題 4 の判別、(c) 課題 1 と課題 3 の判別、とした。本報告においては、判別手法において最近傍法を用いた場合を示す。

3. 研究成果

今回試験的に採用した最近傍法では、特に、課題 1 と課題 2 の判別において約 75% と高い判別正答率が得られた。課題 3 と課題 4 の判別では約 59% であった。左刺激の場合に約 75% という比較的高い正答結果が得られたものの、課題 1 と課題 3 の判別、つまり「左刺激注意」と「右刺激注意」の判別においては正答率が約 52% 程度であった。

また、特筆すべきことに、3 から 25Hz の周波数帯のスペクトル密度値については、注意課題時の方がその値が低減する傾向が見られた。

4. 今後の課題と発展

本助成研究報告では、従来にない注意制御型入力インタフェースの概念の提案を行い、これを実現することを長期的な目

標として、視覚誘発電位を利用した人間の視覚的注意の方向検出に関する実験を試みた。一部の課題において、75%の精度で被験者の注意の所在を推定することができた。

一方で、「左刺激注意」と「右刺激注意」の判別率が著しく低い。著者は当初、この判別においては比較的高い正答率が得られると考えていた。また、「中央注意」と「左（あるいは右）刺激注意」の判別における非対称性（右刺激の場合の約59%）も検討事項として挙げられよう。

将来的なアプリケーションの構築のためには、より高い精度で判別を行う必要がある。今後の研究において検討していく方針である。特に、電極数を増やした脳波計測、また、視覚刺激の工夫（刺激周波数やその他視角、視野内の配置等の条件を網羅的に変える等）、特徴抽出手法や信号処理アルゴリズムの修正といった3つの点について考慮し（発表論文リスト[2]）、引き続きデータを蓄積し、解析を行っている段階である。

5. 発表論文リスト

- [1] 唐山英明, 藤澤順也, 青塚真秀, 廣瀬通孝, 「脳波による視覚的注意の検出に関する研究」, 第44回ヒューマンインタフェース学会研究会「人工現実感および一般」, 東京大学山上会館, 2007年6月.
- [2] J.Fujisawa, H.Touyama, M.Hirose, 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2008, submitted.

謝辞

本研究は、財団法人日産科学振興財団の認知科学研究助成の援助を受けて実施されたものであり、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] J.R.Wolpaw, et al., Brain-computer interfaces for communication and control, *Clinical Neurophysiology* 113, pp. 767-791 (2002)
- [2] 黒岩ら: 視覚誘発電位 その正常波形と臨床応用 (初版), 西村書店 (1989)
- [3] 唐山ら: 仮想都市の移動探索に向けた脳波の多クラス分類, 映像情報メディア学会論文誌, Vol.61, No.6, pp.822-824 (2007)
- [4] M.Middendorf et al., Brain-Computer Interfaces Based on the Steady-State Visual-Evoked Response, *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering* Vol.8 No.2, pp. 211-214 (2000)
- [5] L.J.Trejo et al., Brain-computer interfaces for 1-D and 2-D cursor control: designs using volitional control of the EEG spectrum or steady-state visual evoked potentials, *IEEE Trans. Neural. Syst. Rehabil. Eng.* 2006 Jun;14(2):225-9