

平成22年 4月 15日現在

研究種目： 基盤研究（C）

研究期間： 2006～2008

課題番号： 18500353

研究課題名（和文） 疑似ランダム刺激による視覚性事象関連電位を利用した
コンピュータ入力装置の開発研究課題名（英文） Development of brain computer interface using visually evoked
potential elicited by pseudorandom stimulation

研究代表者

百瀬 桂子 (MOMOSE, Keiko)

早稲田大学・人間科学学術院・准教授

研究者番号： 60247210

研究成果の概要：

メニュー選択型の脳コンピュータインタフェースとして、より検出精度の高い方法論の開発を目指して、視覚性事象関連電位から P300 と注視点情報を同時検出する方法を提案し、健常者を対象とした実測により提案法の妥当性を示した。注視点検出のための疑似ランダム刺激と P300 検出のためのフラッシュ刺激とを同時提示したときの脳波を記録し、疑似ランダム刺激と脳波の相互相関関数から注視点を推定するとともに、線形判別分析から P300 を同定することを試みた。健常者対象の評価実験から検出エラー率を低減できることが確認された。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	3,100,000	0	3,100,000
2007 年度	400,000	120,000	520,000
2008 年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	3,900,000	240,000	4,140,000

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 人間医工学 医用生体工学・生体材料学

キーワード： 脳コンピュータインタフェース, BCI, 事象関連電位 P300, 視覚誘発電位,
疑似ランダム刺激, 注視点検出

1. 研究開始当初の背景

コンピュータシステムが日常生活に欠かせなくなりつつある現在、その入力インタフェースとして現在主流のキーボードやマウスおよび音声以外の手段を用いた操作方法を実現することは、ユーザ層やコンピュータの活用場面の拡大につながる重要な課題である。特に、何らかの障害により四肢動作や発声が困難なユーザにおいては、キーボード・マウス・マイクの利用は難しい。しかしながら、そういったユーザにおいてこそ、コ

ンピュータシステムが日常生活の支援や周囲の人々とのコミュニケーションに役立つ場面が大変多い。また、四肢動作以外の入力装置が実現されれば、手足を使った何らかの作業中にコンピュータシステム操作が可能となり、作業効率を向上できる可能性がある。実際に、様々な作業下で利用できるウェアラブルコンピュータの開発と導入が試みられており、そういったシステムへの期待や要求の高まりを示すものといえる。

このような状況において、既に様々な入力

手段が提案され、実用化が試みられている。例えば、ユーザの四肢以外の身体動作を利用するもの（例えば、注視点 [Sutter, 1992] [拓殖 他, 2005], 唇 [Chen et al., 2004]）が提案され、一部実用化がなされている。特に最近では、特にユーザの動作意図や意志を脳活動情報により検出して、直接コンピュータシステムへの入力信号とする brain computer interface (BCI) の研究開発が急速に進められている。マウス操作の代用として、ユーザの運動意図を反映する運動関連電位（例えば [Ide et al., 2004]）や、ポインティング操作イメージ時の脳波パターンを学習させた入力システムを利用する方法（例えば [Kalcher et al., 1993]）が開発されている。いずれも精度の高い入力装置との報告がなされているが、ユーザの訓練や学習が必要であり、場合によっては長時間に及ぶ訓練が必要な場合もある。さらに、コンピュータシステムを利用するユーザは通常、目前のタスク遂行のための認知・思考活動をおこなっており、それと並行して入力操作のための固有の精神負荷作業を遂行させることは、ユーザにさらなる負担を強いることになるとともに、作業効率の低下につながると考えられる。したがって、ユーザの思考活動を妨げることなく、その操作意図を検出できるような入力システムが望ましい。

多くの場合、ユーザはコンピュータシステム出力である表示画面を見ながらタスクを遂行するため、ユーザが注視する対象やその視点停留時間がユーザの思考過程と連動すると考えられる。したがって、注視点検出を活用することで、ユーザの思考活動を妨げることなく、操作意図を検出できる可能性がある。実際に、様々な眼球運動計測法による注視点検出は人間の情報処理特性の研究に活用されており、先に述べた通り、コンピュータ入力システムとしても研究されている。BCI 研究においても、コンピュータの出力表示画面内のメニューの表示輝度を時間的に制御し、その変化に対する脳波変化から注視点を検出する方法が提案され、有効性が示されている（例えば [荒井 他, 1998]）。本研究代表者らも、疑似ランダム系列にしたがって複数のメニューの色を時間的に変化させた刺激を使い、ユーザが選択して注視したメニュー（回答）を従来よりも短時間（3~5 秒）で検出（平均正答率 85.3%）できることを示した。

一方、ユーザの意思検出として、認知特性を反映する事象関連電位 (ERP) の利用が注目され、BCI に活用した報告も多い。ERP の P300 成分は、認知情報処理特性の解明に利用され、また虚偽検出などにも応用されており、ユーザの認知活動を把握するには有効な手段である。この P300 成分を、約 0.5 秒間隔

で逐次提示したメニューに対して測定し、ユーザの選択した回答を検出するシステムが報告されている（例えば [Allison & Pineda, 2003]）。しかしながら、回答の検出は可能であるものの、メニューの逐次提示のために測定時間が長くなるという欠点が指摘されている。

2. 研究の目的

コンピュータシステムへの入力手段として、ユーザの注視点と事象関連電位 P300 を同時に計測する新たな方法を提案し、実用に耐えうる入力装置の開発を目的とする。具体的には、研究代表者らが検討してきた従来の疑似ランダム刺激による注視点検出において、被験者の認知特性を反映した事象関連電位計測を組み込み、同時計測を行うことで、従来よりも検出精度の高い入力手段を実現する。最終的には、ディスプレイ上に提示された複数のメニュー（選択肢）から、ユーザの選択した回答を、2チャンネルの脳波信号を使って検出できるようなシステムの実現を目指している。

3. 研究の方法

(1) ユーザの注視点と事象関連電位 P300 を同時計測する方法の提案

光刺激提示中の脳波（視覚性事象関連電位）から P300 成分とユーザの注視点情報を同時検出する方法として、疑似ランダム系列刺激とフラッシュ刺激を組み合わせ提示する方法を提案した。コンピュータモニタ上に配置された文字刺激において、文字部分は P300 成分を得るための刺激として明滅させ、文字周辺部は注視点情報を得るために疑似ランダム系列に基づいて輝度変調させて刺激とする。

P300 成分を得るためのフラッシュ刺激は、刺激の行および列をひとまとまりとして明滅させる従来法 (Farwell & Donchin, 1988) を採用した。被験者には、刺激提示中に選択対象の明滅数を数えるように指示をし、各フラッシュ刺激提示後 0~600 ms の脳波（頭部 Oz, Pz より検出）波形の線形判別分析（例えば Sellers & Donchin, 2006）により、被験者の選択肢を推定する。この推定には、フラッシュ刺激のみ提示する条件であらかじめ記録しておいた参照用波形から得た線形判別関数を用いた。全ての文字刺激について、1 回の刺激で選択対象と判別された割合をヒット率として算出し、この値が最大の文字刺激を、被験者が選択した対象と判断する。

被験者の注視点対象の検出は、研究代表者らが先に提案した方法 (Hanagata & Momose, 2002) を用いた。文字周辺部をそれぞれ互いに異なる 9 種類の疑似ランダム 2 値系列 (Pseudorandom binary sequence, PRBS)

に基づく輝度変調刺激とした。刺激中の脳波（頭部 Oz より検出）を記録し、PRBS との相互相関関数を求め、各文字刺激に対する応答を分離抽出した。これらの応答波形と、事前に PRBS 刺激のみを提示する条件で測定した参照用波形との相関係数が最大の刺激を、被験者の注視対象と判断する。

以上により得られるヒット率（P300 による）と相関係数（注視対象と判断）を組み合わせることで、より精度の高い対象検出が可能と考えられる。

(2) 評価実験方法

男子大学生 3 名を対象として ERP 測定を実施し、提案法の評価を行った。本実験は、早稲田大学・人を対象とする研究等倫理委員会の承認を得ており、被験者には実験目的・内容を事前に説明して書面にて承諾を得た後、測定を行った。

視覚刺激は、Fig.1 に示すような 9 種類の文字列を配置した刺激画面とした。また、フラッシュ刺激および PRBS の刺激の構成を Fig.2 に示す。文字のフラッシュ刺激は、1 回の提示時間 100 ms、提示間隔 80 ms で、6 種類（3 行 + 3 列）をランダムな順序で明滅させ、明滅後は刺激のない区間（700 ms）を設けた。これらを 1 ブロック（1.7 s）として、6 ブロックの刺激を、以下に述べる PRBS 刺激と平行して連続提示した。

各 PRBS は系列長が 511（刺激時間長 5.11 秒）のものを用いた。この系列の後半 3 秒分をダミー刺激として提示した後、5.11 秒の刺激を 2 回繰り返して提示した。したがって、全体の刺激時間は 13.22 秒であった。

視覚刺激の表示制御は視覚刺激作成装置（ViSaGe, Cambridge Research Systems 社製）により行った。脳波は増幅・フィルタリング後、サンプリング周波数 500 Hz でパソコンに記録し、解析はオフラインで行った。

入力すべき選択肢を 2 種類設定し、それぞれ 6~7 回の測定を行った。参照用波形の記録もそれぞれ 3 回ずつ実施した。

各回の P300 によるヒット率および注視対象と判断するための相関係数をそれぞれ求めて注視対象を特定し、正しく検出できなかった割合（エラー率）を求めた。また、P300 と注視情報を組み合わせた方法として、判別率と相関係数の積の最大であったものを選択対象と判断する方法を試みた。この組合せ法についても、エラー率を求めた。このエラー率により、本手法の妥当性を評価した。

(3) 評価実験結果

同時刺激における選択対象の検出エラー率を Table.1 に示す。P300 および注視点のエラー検出は、22~90%と大きくばらついた。2 つの指標を組み合わせると、被験者 N1、

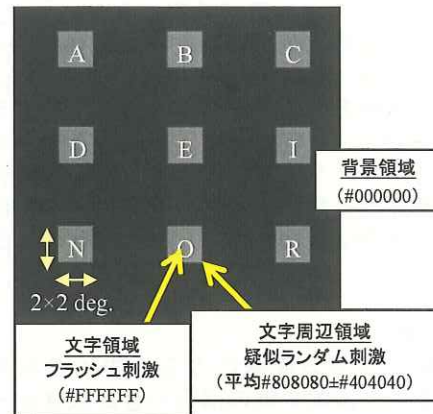


Fig.1. A 3x3 matrix of visual stimuli.

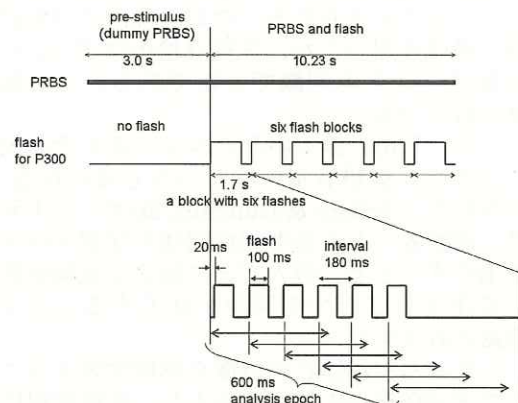


Fig. 2. a time course example of stimulation with a 3 × 3 visual target matrix and PRBS of 10.23 s duration.

Table. 1 Error rate of detection

Subject	P300	eye gazed point	P300 + eye gazed point
N1	61.1%	33.3%	22.2%
N2	44.4%	88.9%	50.0%
N3	33.3%	22.2%	11.1%

N3では検出エラー率が小さくなり、P300および注視情報が同時検出でき、それらを組み合わせることの効果を確認できた。ただし、エラー率が最も低い場合でも11.1%であり、実用に向けてはこれらの低減が必要である。一方、被験者N2では注視情報によるエラー率が88.9%と非常に高く、P300と組み合わせることでエラー率が、P300単独の場合よりも高くなった。被験者の特質によっては組合せが有効に機能しない場合があることが示された。

(2) 考察

疑似ランダム刺激による注視点のみのエラー率は、被験者毎のばらつきが大きかった。今回は、疑似ランダム刺激を文字刺激の背景として提示するため、フラッシュ刺激の輝度が80cd/m²に対し、平均輝度が40cd/m²でコントラストが50%の刺激を使用した。研究代表者らの先行研究(Hanagata & Momose, 2002)によれば、これらの刺激条件を調整することで、より安定した注視点検出は可能になる。それでも、被験者によってはエラー率が大きい場合があり、今回もその傾向が見られたものと考えられる。なお、今回は13.22秒の刺激を用いたが、注視点検出は6~7秒の疑似ランダム刺激で可能であることも確認されている。

一方、P300検出のみのエラー率も全般的に大きく、被験者毎のばらつきも見られる。先行研究(Sellers & Donchin, 2006)によれば、被験者ごとの線形判別関数の学習データを増やすことと、個人ごとに適切な電極配置に設定することで判別率が向上することが確認されている。

したがって、ERPの特徴を継続学習することでP300検出の精度を向上し、注視情報はより短時間の刺激で補助的に使用していくことで、正確でより効率のよい入力システムが可能になる。この点は具体的な入力システムを構築して検証する必要がある。

ところで、今回注視点検出に用いた疑似ランダム刺激は継続した光のちらつきとなるため、刺激としての不快感や脳波応答の感度低下などを招く可能性がある。今回の刺激は無彩色でコントラスト50%であり、フラッシュ刺激に比べて平均輝度も暗く、周期的な点滅ではないため影響は少ないものと考えて設定した。実験に参加した被験者にも実験前後に不快感の有無を確認したが、特に問題があるとの回答はみられなかった。

4. 研究成果

メニュー選択型システムにおいて、ユーザの思考活動を妨げることのない、使いやすいシステムを実現するには、測定の短時間化とメニュー選択における選択肢の増加が必要

となる。本研究では、複数の視覚応答を利用することでより精度の高い方法論を確立することを目指して、視覚性事象関連電位からP300と注視点情報を同時検出する方法を提案し、健常者を対象とした実測により提案法の評価を行った。その結果、以下の知見を得た。

- ・ 提案法により、提示された複数の視覚刺激から、被験者の意図する選択肢の検出が可能であること。
- ・ P300と注視情報の両者を組み合わせると検出エラー率が低減し、より効率のよい検出が可能となる傾向があること。
- ・ 注視情報による検出エラー率は、被験者間のばらつきが大きく、利用しない方がよいケースがあること。

以上より、メニュー選択型の入力装置のために、より精度の高い意図検出方法の提案とその可能性の確認はできた。しかし、実用に耐えうる精度をもった方法論の確定には至らず、以下の課題が残された。

- ・ 入力効率(単位時間あたりの意図検出数)に関する提案法の評価。
- ・ メニュー選択において可能な選択肢数の範囲の検討
- ・ 安定した注視点検出を行える刺激条件の検討
- ・ P300の検出エラー率をさらに低減できる方法論の適用と評価

研究期間終了後も引き続き、これらの課題を検討し、提案法の最適化を目指す予定である。

本研究期間中に、BCI研究はめざましく拡がり、多数の実用システムが提案された。本研究で利用した脳波以外にも、fMRIや光トポグラフィなどを利用して、ユーザの運動意図や意思を特定する試みがなされている。しかし、被験者の負担感や手軽さの面では本研究で利用した脳波が最も有効である。特に、本提案手法では、2チャンネルの脳波信号で検出が可能であった。また、日常的に使用するBCIを実現するうえで、検出の短時間化は必須である。したがって、本研究は実用面で有効な方法論の可能性を一端を示せたといえる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 5 件)

- ① Momose K, Simultaneous detection method of P300 event-related potentials and eye gaze point using multi-pseudorandom and flash stimulation for brain computer interface, 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vancouver, Canada, 2008.8., Proceedings of

the 30th Annual International Conference of the IEEE EMBS (CD-ROM), 666-669.

- ② Momose K, Evaluation of an eye gaze point detection method using VEP elicited by multi-pseudorandom stimulation for brain computer interface. 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Lyon, France, 2007.8., Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS (CD-ROM), 5063-5066.
- ③ 百瀬桂子, 視覚性事象関連電位による P300 と注視点の同時計測ー脳コンピュータインタフェースへの応用ー, 第 10 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp. 1541-1542, 東京, 2009. 12. 26.
- ④ 百瀬桂子, 視覚性事象関連電位から P300 成分と注視領域を同時検出する方法の提案と評価, 第 3 回ブレインコミュニケーション研究会, 大阪, 2009. 11. 6.
- ⑤ 百瀬桂子, 疑似ランダム刺激による視覚誘発電位を利用した注視点検出と脳コンピュータインタフェースへの応用, 第 47 回日本生体医工学会大会, 神戸, 2008. 5. 8.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

百瀬 桂子 (MOMOSE KEIKO)
早稲田大学・人間科学学術院・准教授,
研究者番号: 60247210

(2) 研究分担者

該当者なし

(3) 連携研究者

該当者なし