

令和元年5月29日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00263

研究課題名(和文) 視覚刺激呈示タイミングの制御による脳波を用いた文字入力の高速化

研究課題名(英文) High-speed Character Input Using EEG by Control of Visual Stimulus Presentation Timing

研究代表者

深見 忠典 (Fukami, Tadanori)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：70333987

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、脳波を用いた文字入力において広く使用されているP300と定常視覚誘発電位(SSVEP)のそれぞれの長所を引き出し、互いの短所を補完するため、ハイブリッドタイプの入力システムの開発を目指している。本研究課題において、まず同時生成する刺激呈示方法を確認した。次にその呈示方法において、候補文字の呈示タイミングを制御することで、同時に異なる2種類の脳波を効率良く分離し、それが有効であることを確認した。また、この独自の技術による入力の高速化が実現可能であることを示した。しかしながら、その程度は被験者による差が大きく、今後の解決すべき課題として残された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、脳波を用いて高速にコンピュータへ情報を入力する手法を開発することである。ここでは、文字を対象とし、ユーザが入力したい文字が光った際に出現する脳波を検出することで、入力対象の文字を特定する。本研究課題では、候補となる文字とその背景を利用して、異なる2種類の脳波を生成し、それぞれから得られる情報を合わせて判断することで入力性能を向上させる。ここで、我々は文字やその背景が光るタイミングを制御することにより効率よく2つの脳波を分離する方法を開発した。これを用いることで、高速に文字が入力可能であることを確認したが、性能向上に個人差があり、その解決は今後の課題として残された。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aim to develop a hybrid type input system using P300 and steady state visual evoked potential (SSVEP) which are widely used in character input using EEG. This system brings out the advantages of P300 and SSVEP and compensates for each other's shortcomings.

First of all, we established a simultaneous generation method by visual stimulus presentation. Next, using the presentation method, we confirmed that two different EEGs can be efficiently separated by controlling the presentation timing of candidate characters. We have shown that high speed-input can be realized by our original method. However, the degree of difference varies depending on the subject. It is a challenge to be addressed in the future.

研究分野：生体情報処理，医用画像処理

キーワード：脳波 ブレインコンピュータインターフェイス 視覚刺激 文字入力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脳波を用い、考えるだけでコンピュータ入力可能な brain-computer interface (BCI)の研究において、ディスプレイ上に呈示された多数の候補文字から被験者の意図する1文字(標的文字)を選択する技術は、入力対象を特定するという観点から、様々な用途に利用可能なBCIの基盤技術の一つである。本研究課題である脳波による計算機への文字入力、筋萎縮性側索硬化症など患者との意思疎通のみならず、すべての人を対象とした未来のユーザインターフェイスとして注目されている。しかしながら、現在世界最高性能のシステムであっても、入力速度の点において、十分快適で実用的であるとは言い難い状況にある。こうしたことから、高速に入力を行う手法の開発が必要とされている。

2. 研究の目的

本研究では、候補文字の呈示タイミングを制御することで、同時に異なる2種類の脳波であるP300と定常視覚誘発電位(steady state visual evoked potentials: SSVEP)を発生させ、それらを効率良く分離する独自の技術により標的文字の特定を短時間でを行い、文字入力の高速度を試みる。

3. 研究の方法

- (1) P300およびSSVEPの2種類の異なる脳波を同時に生成する方法について検討する。さらに、刺激呈示のタイミングを制御することにより、P300とSSVEPを高速に分類抽出する手法を確立する。
- (2) 様々な条件下で脳波計測を実施し、P300とSSVEPの分離度の高いパラメータを取得する。P300は文字呈示後300ms周辺に出現するという時間的な局在性があるため、複数文字の同時点灯を避け、P300の生成がどの文字の点灯によるものか識別しやすくする。また、SSVEPの生成に使用する背景の点滅は、異なる文字間の識別精度を向上させるため、できるだけ点滅周波数の差が大きくなるように割り当てる。
- (3) 標的文字の判定処理を行い、システムの性能評価を行う。P300は被験者の状態にも依存するため、その出現状況に応じて、SSVEPの周波数情報をどの程度考慮するか調整を行う。また、P300を安定して出現させるための方策について検討を行う。

4. 研究成果

脳波による文字入力に用いられる代表的な脳波にはP300とSSVEPがある。P300を用いた方法としては、P300スペラが最も知られている(引用文献)。ディスプレイ上に配置された候補文字を行/列の単位でランダムに点灯させ、標的文字が点灯した際、ユーザにその点灯回数を数えるなどのタスクを課すことで、点灯後300ms前後に出現する一過性の陽性電位P300を利用する。一方、SSVEPは一定時間間隔での文字点滅により、それに応じた周波数成分を有する脳波が顕著に出現する特性を利用する。しかし、両者には一長一短があり、P300は能動的なタスク実行によるユーザの意思を反映した反応であるが、その出現はユーザの状態に左右され、振幅や出現までの時間(潜時)に揺らぎを生ずる。一方、SSVEPはユーザの状態に対して安定的に取得可能で、比較的簡単な周波数解析により標的文字を特定できるが、視覚刺激を受ける(視線を向ける)だけで出現する受動的な反応であるため、ユーザの入力意思が必ずしも反映されるとは限らないという特性を持つ。

そこで、本研究では、両者の短所を補完し合うハイブリッド型の標的文字特定手法を採用することで、高速文字入力実現に向けた研究を行う。

(1) P300とSSVEPの同時生成する刺激呈示

ここでは、我々が提案する独自の文字呈示手法について述べる。本手法は、図1のように背景をSSVEPの周波数に応じて常時白黒反転させ、その上に文字をある時刻において呈示する。すなわち、背景の点滅によりSSVEPを標的文字点灯時のユーザのタスク実行によりP300を同時に生成させる。

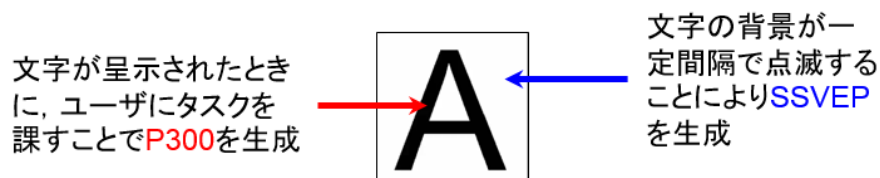


図1. P300とSSVEPを同時に生成する刺激呈示法

(2) 刺激呈示タイミングの制御による P300 と SSVEP の高速分離手法

本研究では、文字呈示のタイミングに工夫を施す。つまり、同一文字の連続する 2 回の呈示は、互いに背景が反転色となるタイミングで呈示する。これにより、図 2 に示すように 2 回目の文字呈示は、1 回目の SSVEP に対し (rad) ずれたタイミングで行われるため (図 2 (b)), 2 応答 (図 2 (c)) の和と差により、P300 と SSVEP が分離できる (図 2 (d))。本方法は、2 倍の応答数を必要とするが、2 回の加減算で分離でき高速に実行できる。また SSVEP の周波数が P300 の周波数帯域と重なっていた場合でも分離できる。しかし、本方法は体動、瞬目等に起因するアーチファクトを一切無視し、P300 や SSVEP の波形形状について脳波の揺らぎがなく、時間に対して一定であると仮定している。よって実際は、理想的な分離波形に歪みが生じ、標的文字正答率の低下を招く。ここでは、実際の脳波により、本波形分離手法の有効性を試みた。

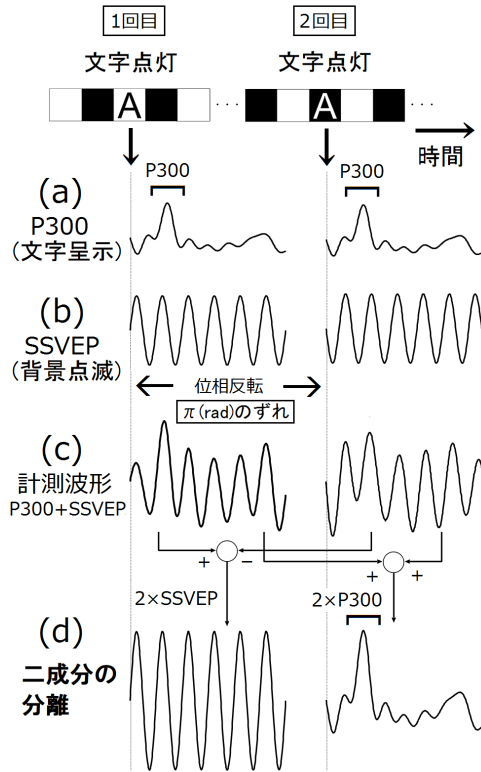


図 2 . P300 と SSVEP の高速分離手法

(3) 経験的モード分解法(empirical mode decomposition: EMD)による P300 と SSVEP の推定

前節の高速分離法により推定した P300 と SSVEP 波形の一例を図 3 上段に示す。しかしながら、推定された P300 成分には SSVEP と考えられる周期性を有する波が確認できる。すなわち、脳波の時間に伴う変化や揺らぎにより、分離できなかった成分が残存しているものと推察される。そこで、我々は経験的モード分解法により、残存した成分を推定し、SSVEP 成分に移動させることにより再推定を行った (図 3 下段)。波形を見ると、EMD を適用することにより、P300 がより顕著に表れていることが分かる。また、SSVEP についても周波数解析を行った結果 EMD 適用前と後で、基本波(5Hz)と第 2 高調波のピーク値が増加していることが確認できる。

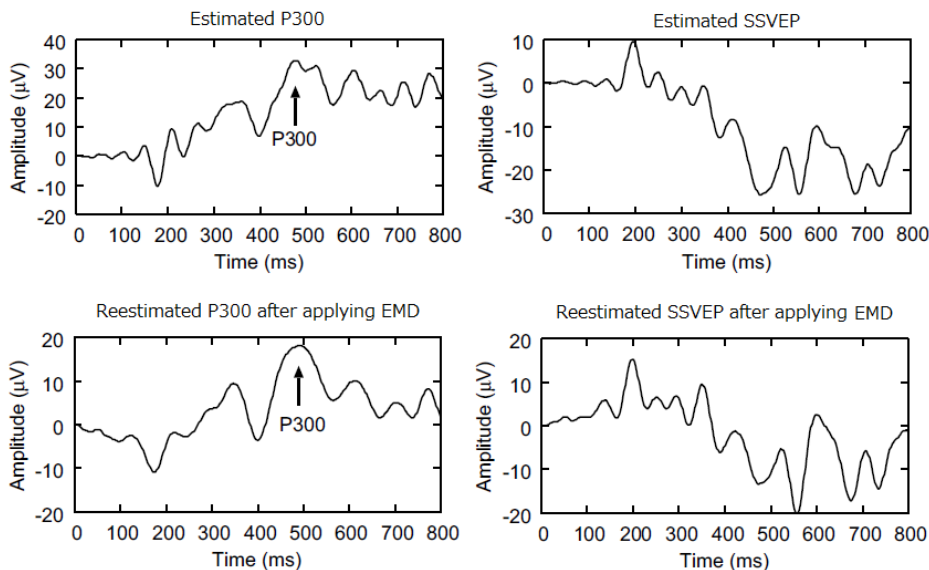


図 3 . EMD 適用前後の P300 および SSVEP の推定波形
(上段: EMD 適用前の P300 (左) と SSVEP (右),
下段: EMD 適用後の P300 (左) と SSVEP (右))

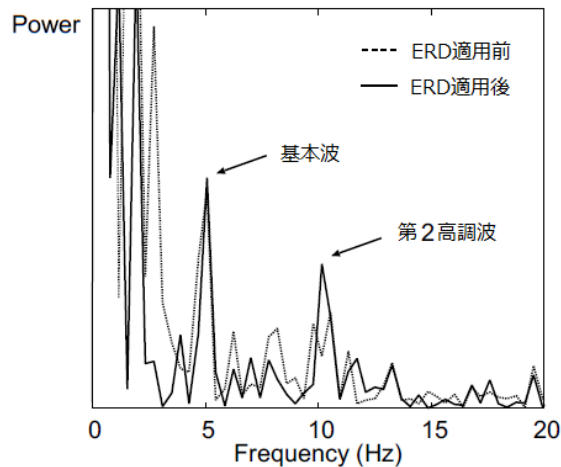


図4 . EMD 適用前後における SSVEP の周波数パワースペクトラム

(4) ユーザに P300 増強を働きかける方策

P300 は、疲労等によるユーザの入力意欲や集中力の低下により振幅が減少するため、文字入力性能を低下させる。そこで、ユーザ自らが意識してそれらを抑制する方策として、入力中のユーザに標的文字特定の際に用いる計算機内部の各文字の評価値情報を常時フィードバックする候補文字の呈示を着想した。通常は、計算機が標的文字特定後にその文字を表示し、ユーザは正しい入力となされたか否かを知ることができる。一方本方法は、特定に至るまでの途中段階の評価値情報をユーザに常時呈示し、それを基に現状の自身のタスク実行を評価することで、入力意欲や集中力等に対して改善の機会を与える点で従来法と異なる。つまり、標的文字が高評価値であれば現状を維持すればよいということになる。ここでは、評価値フィードバックの有無による正答率の比較を行った。

(1) 正答率に関する評価

図5に示すように、刺激回数（1セットは、図2における2回の刺激呈示に相当）の増加に伴い、評価値のフィードバックの有無に関わらず増加した。しかし、フィードバックを与えることで、無い時に比べ、高い増加率を示した。

(2) P300 および SSVEP の振幅

図6に示すように、刺激回数の増加に伴い、P300 振幅は減少する傾向が見られた。これは、ユーザの疲労等による影響が考えられる。しかしながら、フィードバックを与えることで、無い時に比べ、P300 の振幅値は大きく、3セット以降ではその差が顕著に見られた。一方、SSVEP は、刺激回数に対し、変動は小さく、フィードバックの有無による統計的な差は見られなかった。

これらの結果より、評価値のフィードバックは、ユーザの入力意欲や集中力を高め、入力性能を高める効果があると考えられる。今後は、本研究課題において得られた手法を用いて、さらなる精度向上を目指したい。

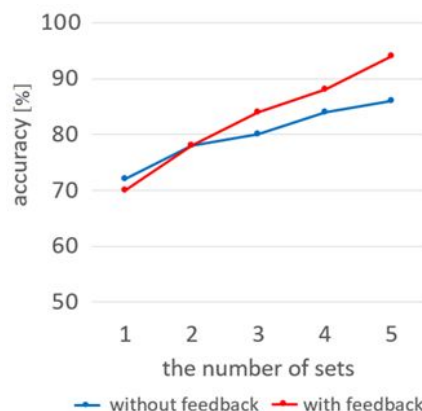


図5 . 視覚刺激回数と正答率の関係
(赤：フィードバック有，青：フィードバック無)

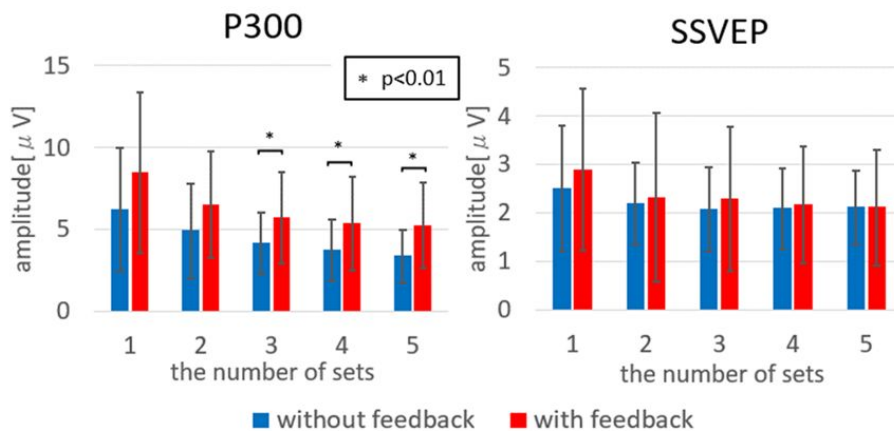


図6 . 定評価値フィードバックの有無と SSVEP および P300 振幅の関係
(赤：フィードバック有，青：フィードバック無)

< 引用文献 >

L.A.Farwell, E.Donchin, "Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials.", *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.*, vol. 70, no.6, pp.510-523, 1988.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- (1) T.Fukami, Y.Abe, T.Shimada, B.Ishikawa, "Authentication system preventing unauthorized access of a third person based on steady state visual evoked potentials", *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 査読有, vol.14, no.6, pp.2091-2100, 2018.
- (2) 島田 尊正, 深見 忠典, 今野 紀子, 宮保 憲治, "色彩の効果による BCI における意思判読能力の改善", *電気学会論文誌*, 査読有, vol.137-C, no.11, pp.1472-1478, 2017.
- (3) R.Mihira, R.Sawaki, T.Suzuki, T.Fukami, F.Ishikawa, "Effective estimation method of P300 and SSVEP in hybrid BCI", *Proc. of SCIS-ISIS 2016*, 査読有, pp.983-988, 2016.
- (4) Y.Abe, T.Fukami, T.Shimada, F.Ishikawa, "Analysis of fundamental and harmonic frequency components in photic driving response", *Proc. of SCIS-ISIS 2016*, 査読有, pp.962-965, 2016.
- (5) T.Fukami, J.Watanabe, F.Ishikawa, "Robust estimation of event-related potentials via particle filter", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 査読有, vol.125, pp.26-36, 2016.

〔学会発表〕(計 6 件)

- (1) T.Fukami, T.Shimada, "Enhancement of P300 amplitude by feedback stimulus presentation reflecting evaluation value in BCI", *Proc. of 40th Annual International Conference of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2018.
- (2) 五十嵐 史也, 深見 忠典, "視覚刺激呈示タイミングの制御による SSVEP/P300 高速文字入力法の検討", 第 51 回日本生体医工学会東北支部大会, ME4-3, 2017.
- (3) 阿部 裕人, 秋山 翔平, 深見 忠典, "定常状態視覚誘発電位による個人認証", 第 51 回日本生体医工学会東北支部大会, ME4-4, 2017.
- (4) 柴田 拓実, 福江 生将, 島田 尊正, 深見 忠典, 阪田 治, "認知負荷課題に伴う触覚刺激へのゲーティング効果", 第 46 回日本臨床神経生理学会学術大会, O3-6-08, 2016.
- (5) 森 啓祐, 島田 尊正, 深見 忠典, 阪田 治, "色彩の効果を用いた BCI における意思判読正答率の向上", 第 46 回日本臨床神経生理学会学術大会, O1-8-07, 2016.
- (6) 高田 駿, 島田 尊正, 深見 忠典, 阪田 治, "SSVEP 型 BCI における視覚刺激の色相特性の影響", 第 46 回日本臨床神経生理学会学術大会, O1-8-06, 2016.

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。