

平成 21年 6月10日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18700409
 研究課題名(和文) リアルタイム脳波波形処理法を利用した脳波インタフェースの基礎研究
 研究課題名(英文) Fundamental Research on Brain Computer Interface by waveform processing in real-time
 研究代表者
 船瀬 新王 (FUNASE ARAO)
 名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：60378239

研究成果の概要：

本研究は重度肢体不自由者用のインタフェースとして脳波インタフェースが近年注目を集めている。脳波インタフェース構築のためには、リアルタイムで脳波を計測し、その脳波を適切に信号処理する必要がある。この信号処理方法においては、一般的に α 波等の周波数に着目した信号処理方法が一般的であるが、本手法においては脳波波形そのものに着目した信号処理方法を提案した。その結果、眼球運動に関連する脳波波形の抽出を準オンライン処理で可能とすることができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	240,000	3,740,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目： 分化：医用生体工学・生体材料学，細目医用生体工学

キーワード：脳波，眼球運動，脳波インタフェース

1. 研究開始当初の背景

従来、ALS や筋ジストロフィーのような重度肢体不自由者のインタフェースは、瞬きや呼吸のような重度肢体不自由者が最終残存機能として持っている運動機能に着目したインタフェースが主であり、実際の運動を必要とするインタフェースしか存在しなかった。しかしながら近年、計算機の発達により従来の計算機では実装不可能であった信号処理方法が実装可能となってきた。そこで、ヒトの思考に関係ある生体信号を利用した

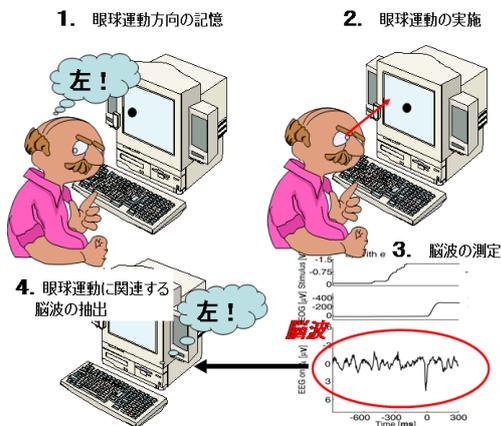
インタフェースの開発が行われている。その中でも脳波を利用したインタフェースである脳波インタフェースは、脳波計測の簡便性という面から全世界中で研究が進められている。

このような脳波インタフェースにおいては、一般的に、 α 波や β 波と呼ばれる脳波に含まれる周波数に着目した研究が大半である。これは、脳波の信号処理方法の中で実時間において脳波を解析できるのは周波数解析のみであったためである。しかし、脳波内の周波数成分と脳との関係は一対一対応を

取ることができないという問題点を抱えている。このことは、脳波インタフェースの安定性の問題に直結する。よって、脳波内の周波数成分に着目する脳波インタフェース以外の脳波インタフェースの開発が求められている現状がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、脳波波形をリアルタイムで処理する機構の開発と、実際に左右に眼球を動かした際の眼球運動前の脳波を使用した眼球運動を予測するインタフェースの基礎研究として眼球運動前の脳波変動をリアルタイムで解析することである。(下図参照)



実際には、

- (1)記憶誘導性眼球運動時の脳波測定
- (2)記録脳波の単一試行ごと処理方法の確立
- (3)リアルタイムでの脳波波形処理法の確立をおこなう。

従来の先行研究における脳波インタフェースにおいては3点の問題点がある。

- (1)使用する脳波と脳内情報処理との関連が不明瞭である

従来型の脳波インタフェースは脳内情報処理と一対一対応が取れない脳波の周波数成分に着目したものや、脳内情報処理については全く考慮しないものである。インタフェースとしての安定性を求めるには脳内情報処理過程を無視することはできない。

- (2)出力信号が二値である。

使用者や介護者からのヒアリングにより、従来型の二値のインタフェースではインタフェースが動いていないのかそれとも”No”を示しているのかが判別できないことがわかっている。

- (3)使用する脳波を発生させる意志や想起が観測することができない

提案する脳波インタフェースは、この問題を以下のように解決することを試みる。

- (1)運動の中でもっとも脳内情報処理の知見が豊富な眼球運動をターゲットとする。ま

た、脳波の周波数成分ではなく波形成分に着目する

- (2)眼球運動には、上下左右と動かないという5つの出力がある。本研究では、左右と動かないという3つの出力に着目する

- (3)実際に運動を用いることにより、定量的に動作と脳波の関連を調べることができる。本インタフェースの使用者はALSや筋ジストロフィーの患者さんである。これらの患者さんは、脳中枢から筋肉まで運動神経に問題があり、大脳皮質での情報処理は健常者と同様に行われていると考えられている。よって、健常者の眼球運動前の脳波と眼球運動の関係を定量的に明らかにすることにより、非健常者に対して容易に適用することができると考えられる。

3. 研究の方法

本研究の、「脳波波形をリアルタイムで処理する機構の開発と、眼球運動前の脳波と眼球運動の関係のリアルタイム解析」のためには、以下のようなことが必要となる。

- (1)眼球運動に関連した脳波波形の記録

これまで、申請者は視覚誘導性眼球運動に関連する脳波を記録解析してきた。しかしながら、本研究ではより能動的な運動である記憶誘導性の眼球運動を記録する。

- (2)単一試行時の眼球運動に関連した脳波を解析する。

本研究においては、単一試行時の脳波波形を解析するために、独立成分解析を使用する。申請者の従来研究において、リファレンス信号と呼ばれる信号に類似した独立な成分を抽出する”FastICA with Reference signal”と呼ばれる独立成分解析を使用してきた。しかしながら、このアルゴリズムはリファレンス信号を使用者が明示的に与える必要がある。ここでは、リファレンス信号を利用しないFastICAやNG-FICAを利用して解析を行う。

- (3)リアルタイムで脳波を解析する。

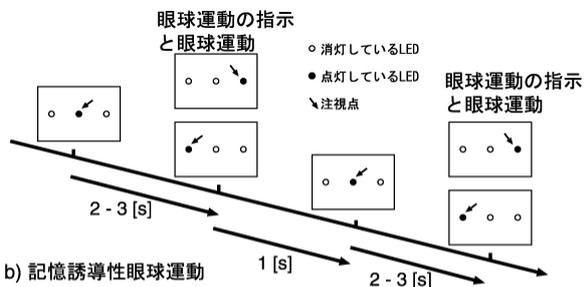
現時点の独立成分解析は、単一試行ごとに脳波を解析できる。しかしながらリアルタイムで解析を行うことは難しい。これは、独立成分解析を行うためには一定のデータ長が必要であるためである。そこで本研究では、短いデータ長でも効率的に動作する独立成分解析アルゴリズムの特定と脳波解析に適したデータ長とリアルタイム解析に向くデータ長の閾値的なものを明らかにする。

それぞれの詳細を以下に述べる。

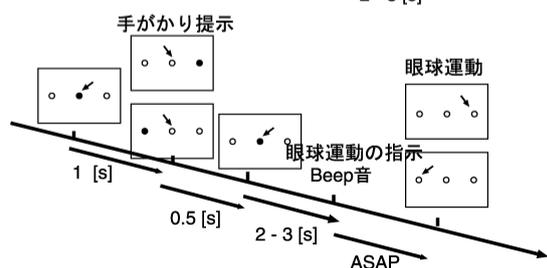
- (1)においては、記憶誘導性眼球運動時の脳波計測を行う。この実験は、眼球運動を行うための視覚指標を提示する前に手がかり刺激を提示することによって、眼球運動を行う

ための眼球運動位置決定の脳内情報処理と実際の運動の行うため脳内情報処理を時間的に分離することにより眼球運動に関連する脳波の性質を詳細に明らかにする。(下図参照)

a) 視覚誘導性眼球運動



b) 記憶誘導性眼球運動



(2)においては、単一試行時の脳波解析を行うために独立成分解析を使用する。独立成分解析とは、脳波発生に関わる脳内ダイポールから発生する信号がそれぞれ独立であると仮定して計測される脳波は脳内ダイポールから発生する信号の線形話であることを仮定した上で、その仮定を用いて信号を分離する方法である。この方法により、眼球運動に関連する脳波を他の脳波から分離することができる。

この独立成分解析は、従来の脳波波形解析法である加算平均法と違い同一条件下において複数回の脳波の記録を必要としないためにリアルタイムでの脳波波形解析を行うことが可能になる。

しかしながら問題は、独立成分解析は独立性の仮定をどのように定式化するかによって複数のアルゴリズムが存在していることである。

よって、アルゴリズムの中でどのアルゴリズムが脳波解析しいては眼球運動に関連する脳波解析に適しているかを明らかにする必要がある。

また、計測用電極位置と独立成分解析との関連性も明らかにする必要がある。これは、計測したすべての電極からの脳波を使用するよりも、必要な電極を選別してその選別された脳波のみを使用する方が独立成分解析により眼球運動に関連する成分が抽出される率が良くなるためである。

(3)においては、DSP を用いた信号処理方

法を提案することである。これは、通常の計算機を使用して脳波計測を行いさらに計測された信号を処理することを実時間で行うことは難しい。よって、ハードウェアインプリメントが必要となってくる。ハードウェアインプリメントにおいては、FPGA を使う方法と DSP を使う方法が存在するが、実装の容易さは DSP が、実際の計算スピードは FPGA が利点を持つ。本研究においては、実装の容易さを考えて、DSP を用いた独立成分解析処理装置を提案する。

4. 研究成果

本研究における成果は、(1)視覚誘発実験時の脳波と記憶誘発実験時の脳波との比較検討により眼球運動に関連する脳波の詳細な検討と(2)独立成分解析を使用した脳波解析法の提案において成果を大きく残すことができた。しかしながら、(3)の DSP を用いた実装においては、十分な結果を現時点においてあることができておらず、今後継続して研究を行っていく予定である。

(1)においては、従来研究でわかっていた眼球運動に関連する脳波は、記憶誘導性眼球運動時にも視覚誘導性眼球運動時においても発生するものであること。また、視覚誘導性眼球運動時に記録される眼球運動に関連する脳波より、記憶誘導性眼球運動時に記録される眼球運動に関連する脳波の方が振幅が小さいことがわかった。この結果より、従来観測していた信号は、運動指令直接に関連する脳波でもあったが、眼球運動位置決定にも関わっている脳波であることが明らかとなった。このことより、眼球運動に関連する脳波を使用したインタフェース構築におけるような眼球運動をインタフェースの入力の脳波に使用するべきかということを明らかにすることができた。

(2)においては、従来研究で使用していた FastICA with Reference signal 以外の独立成分解析のアルゴリズムである、Fast ICA, JADE, NG-FICA, MILCA, AMUSE, SOBI を使用して眼球運動に関連する脳波の抽出率を明らかにした。

この結果、FastICA と JADE が抽出率 95%以上を達成した(表 1 参照)。しかしながら、それ以外の独立成分解析方法においては低い抽出率となった。また、信号の解析対象幅と抽出率を解析すると、眼球運動後の信号を含んでいる解析信号の場合には、信号の抽出率が大幅に劣化することが明らかになった。このことは、大きな振幅を持つノイズに対しては独立成分解析が有効に働かないことを示していると考えられることができる。この結果は、脳波インタフェース構築時に実際に眼球運動が起こった後の脳波を一時的に解析し

ない等の処理が必要であるということを示している結果とも言える。
また、解析幅は短ければ短いほど抽出率が

TABLE I
EXTRACTED RATE BY FOUR ICA ALGORITHMS.

	AMUSE	FastICA	JADE	SOBI	MILCA
A	14%	98%	100%	70%	50%
B	18%	82%	94%	76%	46%
C	30%	94%	96%	80%	62%
D	30%	98%	98%	66%	50%
E	24%	94%	96%	70%	46%

TABLE II
EXTRACTED RATE BY SIX WINDOW SIZE.

Category	Window size	FastICA	JADE
A	-999 ~ 1000 [ms]	37.2%	38%
	-499 ~ 500 [ms]	29.6%	27.2%
	-349 ~ 350 [ms]	22.4%	26.4%
B	-999 ~ 0 [ms]	90%	93.6%
	-499 ~ 0 [ms]	93.2%	96.4%
	-349 ~ 0 [ms]	99.4%	99.2%
	-249 ~ 0 [ms]	93.2%	93.6%
	-99 ~ 0 [ms]	99.4%	99.2%

現
脳
ポ
解
ム

B	-999 ~ 0 [ms]	90%	93.6%
	-499 ~ 0 [ms]	93.2%	96.4%
	-349 ~ 0 [ms]	99.4%	99.2%
	-249 ~ 0 [ms]	93.2%	93.6%
	-99 ~ 0 [ms]	99.4%	99.2%

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. [査読あり] Saccade-related EEG signals by ICA algorithms, A. Funase, M. Mouri, T. Yagi, A. Cichocki, I. Takumi, Lecture Notes in Computer Science, in printing

[学会発表] (計 11 件)

1. [査読あり] Saccade-related EEG signals by ICA algorithms, A. Funase, M. Mouri, T. Yagi, et. al., Proc of 2008 international symposium on information theory and its applications, in printing, 2008

2. [査読あり] Analysis on saccade-related independent components by various ICA algorithm, A. Funase, M. Mouri, T. Yagi, et. al., Proc of 15th International Conference on Neural Information Processing of the Asia-Pacific Neural Network Assembly, in printing, 2008

3. [査読あり] Analysis on saccade-related independent components by various ICA algorithm, A. Funase, M. Mouri, T. Yagi, et. al., Proc of SCIS&ISIS 2008, pp.456-459,

2008

4. [査読なし] 眼球運動に関連した独立成分抽出に最適なアルゴリズムの検討, 船瀬新王, 毛利元昭, 八木透, 他, 日本神経回路学会第 18 回全国大会講演論文集, pp.48-49, 2008

5. [査読なし] 独立成分解析による単一試行時の脳波解析-最適なアルゴリズムとウィンドウサイズへの考察-, 船瀬新王, 毛利元昭, 八木透, 第 23 回生体・生理学シンポジウム論文集, pp91-92, 2008

6. [査読あり] Research for estimating direction of saccadic eye movements by single trial processing, A. Funase, T. Hahimoto, T. Yagi, et.al, Proc. Of 2007 IEEE Engineering in Medicine and Biology 29th Annual Conference, pp. 1231-1236, 2007

7. [査読あり] Single trial analysis on saccade-related EEG signal, A. Funase, T. Yagi, etl. al, Proc of 3rd International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, pp. 285 -290, 2007

8. [査読なし] 記憶誘導性眼球運動における眼球運動直前の脳波解析, 大野和行, 船瀬新王, A. Cichocki, 内匠逸, 第 21 回生体・生理学シンポジウム論文集, pp. 223-226, 2006

9. [査読なし] 眼球運動に関連する脳波の時間周波数解, 種井那奈保, 船瀬新王, 中谷裕教, Andrzej Cichocki, 内匠逸, 第 21 回生体・生理学シンポジウム論文集, pp. 227-230, 2006

10. [査読なし] サッケードに関連した脳波成分の左右差の比較検討, 橋本哲朗, 船瀬新王, Andrzej Cichocki, 内匠逸, 第 21 回生体・生理学シンポジウム論文集, pp. 175-178, 2006

6. 研究組織

(1) 研究代表者

船瀬 新王 (Arao Funase)

名古屋工業大学大学院工学研究科 助教

研究者番号: 60378239

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし