

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300051

研究課題名(和文)聴覚からマルチモーダルに展開する脳情報インターフェース技術

研究課題名(英文)Brain Computer Interface based on virtual sound image with other modal information

## 研究代表者

和田 安弘(Wada, Yasuhiro)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70293248

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文):現在,ヒトの脳神経活動を利用し様々なインターフェースの制御を行うBrain-Computer Interfaceの研究が盛んに行われており,重度の運動障害を持つ患者の支援として期待されている.本研究では,先行研究を進展させ,水平方向での仮想音源数を13に増加させたときの意図方向推定が可能であるか検討を行った.測定された脳波からサポートベクターマシン(SVM)を用いて被験者の意図する方向(target)とそれ以外の方向(non-target)を分類したところ,被験者の脳波を10回加算平均した際の識別率が約80.1%となり,仮想音源数を増加させた場合での意図方向推定の可能性が示唆された.

研究成果の概要(英文):Brain-computer interface (BCI) is actively researched to control various interfaces by using human brain activity. Many BCI studies utilized an electroencephalogram (EEG), and visual stimulation paradigm. However, in patients with vision loss, visual BCI is not the preferred choice. Thus, auditory BCI has been focused attention. However, many auditory BCI are necessary to arrange the speaker for listening. We focused on auditory BCI paradigm using a virtual sound source by earphones.

We extended to 13 virtual sound sources and examined its performance. Eight subjects participated in the oddball experiments and their brain activity was measured using EEG. The measured EEG signal was used for estimating the intended direction by support vector machine (SVM). As a result, average classification rate across subjects in 10-trial signal averaging was 80.1%. This suggests a possibility to estimate intended direction of the virtual sound source from 13 directions.

研究分野:ブレイン・コンピュータ・インターフェース

キーワード:BCI 頭外音像定位技術 脳波 機能的近赤外分光法

### 1. 研究開始当初の背景

BMI システムを大別すると「問い合わせ型」と「直接要求型」に分けることが可能だと考えられる。我々の定義では、「**問い合わせ型**」は、いわゆる P300 speller に代表されるようにユーザーの意図とシステム側から提示した意図が一致した際の脳波の事象関連電位(ERP)を判断して、ユーザーの意図を実現するタイプのものである。一方、「**直接要求型**」は、BMI システムに対して、直接、ユーザーの意図を伝えて、システム側がそれを読み取ってユーザー意図を実現するタイプである。非侵襲計測法を前提にしたとき、「問い合わせ型」は脳波(EEG)によるシステムで構成し、「直接要求型」は機能的近赤外分光法(fNIRS)、EEG によるシステムでの実現が現状では適当である。

理想的な BMI の実現方式は、「直接要求型」が望ましいと考えられる。例えば、腕を上下左右に動かすためにヒト脳が、どのように情報をコードしているかを理解し、センシングできればロボットを自分の手のように動かすことが可能となる。これが最も自然な BMI であると考えられる。しかし、こういった脳の表現を完全に理解し、センシングすることは非常に困難である。つまり、「直接要求型」の実現には、ユーザー意図が、脳内つまり計測された信号上にどのように表されるかを明らかにしておく必要がある。しかしながら、限定された意図の数であっても、EEG や fNIRS 信号としてどのように意図が表出されるかを判断することは非常に難しい課題であると言わざるをえない。

### 2. 研究の目的

本申請課題では、頭外音像定位技術を用いた聴覚刺激を主とした刺激及び想起による Brain-Machine Interface(BMI)技術の研究を目的とした。BMI には、外部からの刺激に対する応答を判断することで、ユーザーの意図を推定するBMIと、直接脳から発信される意図を読み取るBMIの2種類がある。本申請課題では、前者のBMIを聴覚刺激を用いた脳波(EEG)を主とした研究を実施する。

### 3. 研究の方法

現実的な研究開発方向として、第1段階として、問い合わせ型システムを EEG によって構成するアプローチを本研究では目指した。

我々は、聴覚刺激による方向推定の問い合わせ型BMIから直接要求型BMIによる方向推定の研究開発を将来に向けて推進する。本研究における「問い合わせ型BMI」においては、

音像定位技術(仮想音源)を応用した聴覚刺激を用いる。この聴覚刺激は、視覚刺激のようにモニターを準備せずに、イヤホンだけで刺激を提示でき、比較的コンパクトなシステムを構築できる。また、視覚障がい者の利用が容易である。「問い合わせ型BMI」においては、我々は、音像を頭の周りに順番に定位させ、ユーザーが意図する方向で発生するERPを識別し、機器を制御する。

本研究では、聴覚刺激を応用し、聴覚脳情報推定を利用したロボット・機器制御の実現を目指した基礎研究を実施した。

### 4. 研究成果

#### 1) 13方向音像識別技術の確立

事前実験で計測した被験者のデータは、60度間隔によるものであったが、より分解能をあげた30度あるいは、これ以下の間隔による意図方向の推定が可能かどうかの検討を実施し30度間隔の分解能を達成することは頭外音像定位のための伝達関数の計測精度を向上させることが必要であることが明らかになった。そのため伝達関数計測時の音響の広がりを抑制するために指向性の高いスピーカーを用いることによって、分解能の高精度化を検討した。空間分解能の向上については、伝達関数計測時の音響の広がりを抑制するために指向性の高いスピーカーを用いることによって分解能の高精度化を検討したが、必ずしも十分な精度を得ることができなかった。

また、刺激音をホワイトノイズ以外にトーンを変えたものを空間位置によって変更する等の試みを実施した。しかしながら前後に関してはご認識する傾向が高く、必ずしも十分な精度を得られなかった。

次に、前方向の音源だけに絞って、15度間隔の音源の識別を検討した。これに関しては、事前に被験者が学習を行うことで、十分な精度を得る可能性があることを示唆するデータを得た。音源識別方向の拡張はBCIの選択数を簡易的に向上させることができ、さらなる実用的なBCIシステムの運用が期待できる。そこで水平方向での仮想音源数を被験者正面の15度間隔13方向に増加させ、空間分解能を向上させたときの意図方向推定が可能であるか検討を行った。実験には8名の被験者が水平方向のオドボール課題に参加した。測定された脳波からサポートベクターマシン(SVM)を用いて被験者の意図する方向(Target)とそれ以外の方向(no-target)を分類したところ、被験者の脳波を10回加算平均した際の識別率が約80.1%となった。これにより仮想音源を増加さ

せた場合での意図方向推定の可能性が示唆された。しかし、先行研究での6方向の平均識別率と比較すると、本研究では音源の空間分解能を向上させた際に識別率の低下が見られた。そのため空間分解能向上に伴い仮想音源の定位精度の低下がSVMの識別率に影響している可能性を検討するため、仮想音源の定位精度の向上を促すトレーニング実験を行い、新たに脳波を測定した。その結果、トレーニングの初日と最終日において定位精度に有意な差が見られる被験者存在し、音源の定位精度を向上させる可能性を示唆した。しかし、トレーニング実験の前後では脳波測定によるSVM識別率に有意差が見られなかった。このことからさらなる定位精度の向上を目的としたタスクを検討する必要がある。

また、時間当たりの情報量向上に関しては、刺激間隔を短くすることで短時間当たりの方向推定の情報量を上げることが可能か被験者実験によって検討し個人差はあるが、試行間隔(刺激間隔)を短くすることで情報量を上げることが可能であることを示唆する結果を得た。図1は、刺激時間間隔を変化させた際の識別精度(加算平均回数毎)を示しており、図2は、刺激時間間隔を変化させた際の情報量(加算平均回数毎)を示している。結果、試行間隔400ms、加算平均2回で14.72 bits/minとなり、先行研究[M. Scheuder, et al. ,(2010) PLoS ONE

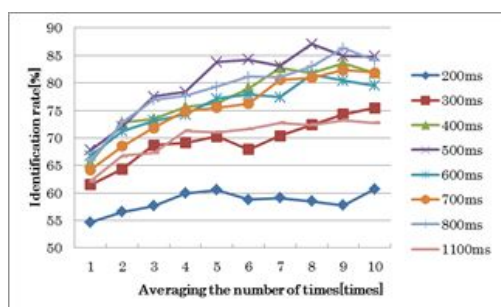


図1

5, e9813.]での45°間隔8方向にラウドスピーカによる実音源を配置した場合の情報量9.60 bits/minに比較して大幅に向上した。

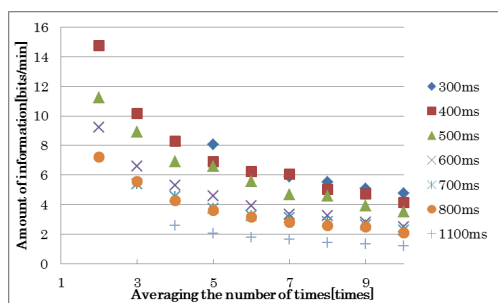


図2

## 2) ERP 識別器の特徴選択及び適応学習

リアルタイムで ERP(意図方向)を判定するためのアルゴリズムの検討を実施した。粒子群最適化手法と Support Vector Machine による方法で単試行での方向推定の可能性を検討した。また、比較的安価で高速な GPU を利用したリアルタイムシステムの可能性を検討した。特徴抽出に離散ウェーブレット変換(DWT)を用いて、サポートベクターマシン(SVM)で分類を行い、それらのパラメータを粒子群最適化(PSO)で調整するアルゴリズム(WASP)を提案し、その有効性を検証した。

さらに粒子群最適化手法とFDAによる方法で単試行での方向推定の可能性を検討し、精度向上の可能性を示した。

## 3) 機能的近赤外分光計測法 (functional near-infrared spectroscopy; fNIRS)のアーティファクト除去

fNIRS 計測信号のアーティファクト除去の検討を行った。本研究では、通常よりも短い距離間隔のプロープを配置することで、通常のfNIRS 信号から頭皮血流と脳機能信号とを分離する手法を提案し、その性能評価を行った。

## 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 2 件)

1. Nambu I., Ebisawa M., Kogure M., Yano S., Hokari H., Wada Y., Estimating the Intended Sound Direction of the User: Toward an Auditory Brain-Computer Interface Using Out-of-Head Sound Localization. PLoS ONE, 8(2), 2013.

2. Gonzalez A., Nambu I., Hokari H., Wada Y., EEG channel selection using particle swarm optimization for the classification of auditory event-related potentials. The Scientific World Journal, 2014.

[学会発表](計 15 件)

1. 小澤 拓也, 相原 孝次, 藤原 祐介, 大高洋平, 和田 安弘, 大須 理英子, 井澤 淳, 事象関連 NIRS による素早い把持動作に関連する脳活動の計測に必要な諸条件の検討. 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティクス, 111(482): p. 225-228. 2012.

2. 今井 貴弘, 佐藤 貴紀, 南部 功夫, 和田 安弘, fNIRS-GLM 解析を用いた回転変換運動タスクにおける学習の考察. 電子情報通信

学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティックス, 112(220): p. 9-14. 2012.

3.Sato T., Muto Y., Nambu I., Wada Y., Estimation of force direction from functional near-infrared spectroscopy signals using sparse logistic regression. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. p. 4639-4642.2012.

4.Imai T., Sato T., Nambu I., Wada Y., Estimating brain activity of motor learning by using fNIRS-GLM analysis, in 19th International Conference on Neural Information Processing, ICONIP 2012. p. 401-408.2012.

5.ゴンザレス アレハンドロ, 南部 功夫, 穂刈 治英,和田 安弘, サポートベクターマシンと粒子群最適化を用いた聴覚事象関連電位の分類に関する検討. 電子情報通信学会技術研究報告.ニューロコンピューティング, 112(480): p. 227-232.2013.

6.Saito S., Imai T., Sato T., Nambu I., Wada Y. Evaluation of motor learning by fNIRS signal analysis using a general linear model. 6th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, NER 2013. 2013.

7.Ozawa T., Aihara T., Fujiwara Y., Otaka Y., Nambu I., Osu R., Izawa J., Wada Y. Detecting event-related motor activity using functional near-infrared spectroscopy. 6th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, NER 2013. 2013.

8.Gonzalez A., Nambu I., Hokari H., Iwahashi M., Wada Y. Towards the classification of single-trial event-related potentials using adapted wavelets and particle swarm optimization. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2013. 2013.

9.横山 寛, 南部 功夫, 井澤 淳,和田 安弘, タスク切り替え時の事象関連脱同期の時系列的な変化に関する検討. 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティックス, 113(499): p. 151-156. 2014.

10.山根 彰太, 南部 功夫和田 安弘, EEG 信号による運動抑制反応エラーの事前予測についての検討. 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティックス,

113(499): p. 157-162. 2014.

11.佐藤 貴紀, 菅井 杏子, 南部 功夫和田 安弘, fNIRS 信号を用いた運動タスク判別における頭皮血流除去の効果. 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティックス, 113(499): p. 145-150. 2014.

12.Yokoyama H., Nambu I., Izawa J., Wada Y. Temporal changes of beta rhythms and rotation-related negativity reflect switches in motor imagery. 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2014. 2014.

13.Yamane S., Nambu I., Wada Y. Predicting occurrence of errors during a Go/No-Go task from EEG signals using Support Vector Machine.36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2014. 2014.

14.Sato T., Sugai K., Nambu I., Wada Y. Classification of functional near-infrared spectroscopy signals applying reduction of scalp hemodynamic artifact. 10th UKACC International Conference on Control, CONTROL 2014. 2014.

15.Sugi M., Gonzalez A., Hagimoto Y., Hasegawa Y., Nambu I., Yano S., Haruhide H., Wada Y. Examination of the time interval shorting in auditory brain-computer interface using virtual sound source (Life Engineering Symposium LE. 2014.

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:

番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

和田 安弘 (WADA YASUHIRO)  
長岡技術科学大学・工学部・教授  
研究者番号：70293248

##### (2) 研究分担者

大石 潔 (OHISHI KIYOSHI)  
長岡技術科学大学・工学部・教授  
研究者番号：40185187

##### (3) 研究分担者

矢野 昌平 (YANO SHOHEI)  
長岡工業高等専門学校・電気電子システム  
工学科・准教授  
研究者番号：5310199927

##### (4) 研究分担者

南部 功夫 (NAMBU ISAO)  
長岡技術科学大学・工学部・助教  
研究者番号：1310240428