

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：17104

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650353

研究課題名(和文)脳波を用いたロボット制御の実用化に向けてのシステム開発

研究課題名(英文)The development of the practical robot control system using electroencephalogram

研究代表者

夏目 季代久(Natsume, Kiyohisa)

九州工業大学・生命体工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：30231492

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文):個人毎の時間的に変わりやすい脳波をdefault脳波と呼ぶ。本研究では、脳波を用いたロボット制御における、人の負担軽減のために、新たに「Robots Move As You Think System」(Rメイツ)を提案し、そのシステム開発を行う。

本研究では、左前頭、左側頭・開眼平静時脳波がdefault脳波としてふさわしいと考えられ、より少ないデータ数でも判別器が学習可能なように、オーバーラップ法を提案し、その有効性を実証した。また、視覚誘発性脳波を測定しながらラジコンカーを制御するシステムを開発し、そのシステムの動作確認し問題点を考察した。本結果を元に、Rメイツシステムの開発を続ける。

研究成果の概要(英文): Individual and variable brain waves are called default brain waves. In this study, "Robots Move As You Think System" (R MAYTS) is proposed and the system was developed newly to reduce the person's burdened when the persons would like to control robots using their brain waves. From the results, it was found that (1) brain waves at the left temporal and left frontal region with the eyes open are suitable for the default brain waves. (2) An overlap method in which the ensemble classifiers trained with a small number of brain wave data was proposed for the practical use of R MAYTS and its validity was proved so that even the number of a small number of data could train an ensemble classifiers. (3) We have developed the system to control a radio control car while measuring steady-state visual evoked potential (SSVEP) brain waves. It was confirmed that the system worked well, but I found that the system had the false positive problems. I'll keep developing the R MAYTS system from now on.

研究分野：脳情報工学

キーワード：脳波 ブレインコンピュータインターフェース ロボット制御 線形判別分析 フーリエ解析

1. 研究開始当初の背景

今後、サービスロボットが家庭内に入ってくる。その時、人間の意志をロボットに伝えるために人の脳波を用いてロボットを制御する研究が本田技研・ATR やトヨタを中心に行われている。実際には被験者にロボットを動かす方向、例えば左右をイメージさせ、その時の脳波を測定する。複数箇所の脳波測定部位から左右イメージ差の大きな場所を選び、その箇所の脳波特徴から判別プログラムを機械学習させる。その後、学習した判別プログラムを使って被験者が左右どちらかをイメージしているかを出力しロボットを制御する。この時、判別プログラムだけでなく人間も学習している。例えば左方向イメージとテニス運動の動作、右方向イメージとサッカー動作、のように左右動作イメージとは直接関係の無い運動イメージと左右動作イメージを結びつける学習を行う。また判別プログラムの成績を上げる脳波を出せるように人が学習する必要がある。このような学習に2、3ヶ月かかり人に負担がかかる。また脳波は、個人毎に、また時間によって変わり、刺激直前の脳波によって同じ刺激でも結果の反応脳波が変わる事が分かっている。このように個人毎、時間的に変わりやすい脳波を default 脳波と呼ぶ。本研究では、脳波を用いたロボット制御における、人の負担軽減のために、新たに「**Robots Move As You Think System**」(RMAYTS; R メイツ)を提案し、そのシステム開発を行う。R メイツとは、あらかじめ複数種類の左右動作イメージに対する脳波を測定すると共に、そのタスク直前の default 脳波も測定し、各 default 脳波に対して、判別に最適な動作イメージ及び脳波測定部位の組をデータベース化しておく。そうすれば実際のロボット制御の際、default 脳波に応じて、使用者にどの左右動作イメージをして貰えば良いかが分かり、またその時どの脳波測定部位から得られた脳波を解析したら良いかが分かる。既存の方法に比べ、人の負担軽減に繋がり、さらに判別が安定し脳波によるロボット制御がより実用化に近くなる。研究代表者は以前より、装着したのみで脳波測定が出来るシステム開発に取り組んでおり、上記脳波判別データベースシステムと組み合わせ、脳波を用いたロボット制御の実用化・製品化を目指す。

2. 研究の目的

左右に関する動作イメージを頭に思い描くだけでサービスロボットを制御する、そのような研究が現在進んでいる。動作イメージを浮かべている時の脳波を判別プログラムが判別し制御する。しかし従来法では動作イメージが直感的で無く、また判別プログラムが結果を出しやすいような脳波を人間が学習しなくてははいけない。従って使用者にとって

負担であり実用的から遠い。本課題提案した R メイツを用いれば、ユーザーのある時の脳波を測定すると、その時どのような左右動作イメージが一番効率良く左右どちらかをイメージしているか判定可能になる。使用者への負担が少なく安定した判別が可能なので脳波判別ロボット制御に使い、今後の人間とサービスロボットとのコミュニケーションツールとして威力を発揮するものと予想される。

3. 研究の方法

「開眼安静時」、「閉眼安静時」の脳波データが default EEG として使用可能かどうか検討する」

被験者毎の「開眼安静時」、「閉眼安静時」の脳波を測定し、default 脳波として採用できるかどうかを検討する。default 脳波としては、次の3点を下に検討した。1) 他人と異なり、個々人固有の脳波である。2) 個々人でも時間的に変動する脳波である。3) フィーチャー選択と関係がある脳波である。

国際 10 - 20 法に従い、前頭部(F3, Fz, F4)、頭頂部(C3, Cz, C4)、側頭部(T3, T4)の6カ所より脳波測定する。参照電極は乳様体としアースは Fpz とする。脳波計に関しては現行所有の装置を用いる。

5種の動作タスクイメージ(グーパー、親指回し、手首振り、つま先上下、踵上下)時に得られた脳波を用いて以下の解析を行う。

各測定脳波部位で、時間窓1秒、オーバーラップ0.5秒で短時間高速フーリエ変換し時間周波数解析を行う。スペクトルパワー値の時間平均を取り対数化を行う。それらの組から、線形分離を行い脳波判別左右分類器を作成する。その後、この左右分類器を用いて、交差検定により、テスト動作イメージ時の脳波を判別し、判別正解率を計算し、分類器の性能を評価する。

以上の解析により、1被験者内の「開眼安静時」、「閉眼安静時」の脳波比較、被験者間のそれらの脳波の比較、また高速フーリエ変換し、脳波スペクトルパワーを波(1-3Hz)、波(4-8Hz)、波(9-13Hz)、波(14-29Hz)、μ波(7-13Hz)に分け、それらのパワーと交差検定による判別正解率との相関を計算した。「開眼安静時」、「閉眼安静時」の脳波のどちらに相関する脳波が存在するか検討した。

「R メイツのためのデータ解析手法の開発」

少ないデータ数でも判別器が学習可能なように、オーバーラップ法を開発した。これはアンサンブル法による判別手法をより少ない脳波チャンネルデータを用いて実現させるものである。これは複数の判別器からなる集合判別器法による判別手法における手法である。通常は、用意したデータを判別器分割し、各データを判別器に学習させる。しかしこの手法だと、データが少ないと判別器

が十分に学習出来ない。そこで1 判別器に学習させるデータを、オーバーラップさせる事で見かけ上少ない学習データを多くさせる工夫を行った(図1)。

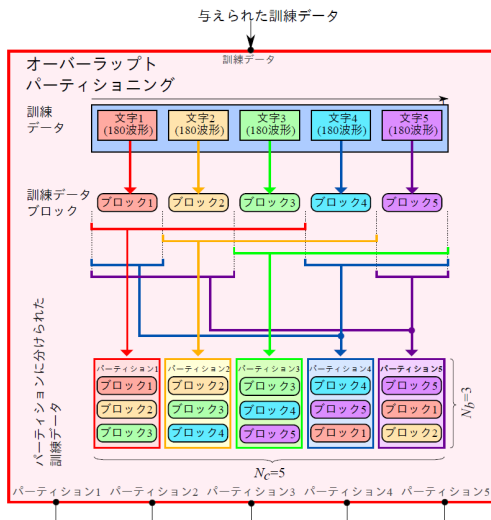


図1: 開発したオーバーラップ・パーティショニング方法

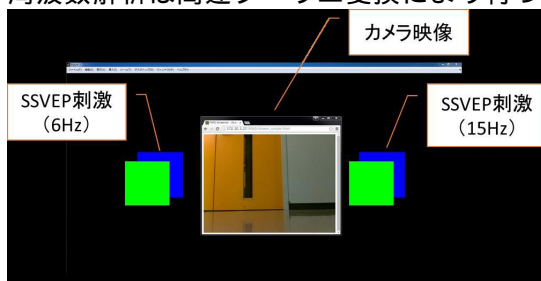
「脳波を用いたラジコンカー及びロボット制御実験」

「Robots Move As You Think System」(RMAyTS)の可能性として、定常性視覚誘発電位(SSVEP)のロボット制御の可能性に関して調べた。SSVEPとは、周期的に点滅する刺激により生じる誘発電位である。今回、まず図2のラジコンカーを作成し、SSVEP 脳波を測定しながらラジコンカーを制御するシステム



図2: 製作したラジコンカー

を開発した。SSVEP 刺激としては青緑の正方形を6,15Hzで点滅させた2クラス制御(図3)4,5,6,15Hzを用いた4クラス制御の2種類の脳波実験を行った。また刺激の大きさを大小の2種で行った。脳波測定部位は、国際10/20法を元に8チャンネルを選択した。周波数解析は高速フーリエ変換により行っ



た。
図3: 刺激画面

さらに、同大、石井教授・森江隆教授・田向准教授が開発したサービスロボットの制御を行い、ロボカップ@ホーム2015へ参加した。上位3位入賞を果たした。

4. 研究成果

「判別脳波に対する default 脳波の影響」

開眼平静時、閉眼平静時共に個人間で脳波が異なった。個人間でも脳波は時間的に変動した。個人内の変動は個人間のものより小さかった(図4)。

開眼平静時は左右判別脳波の判別正解率との相関が左前頭部および左側頭部の波、μ波であった。

以上より、左前頭部及び左側頭部の開眼平静時の脳波が default 脳波としてふさわしいと考えられる。

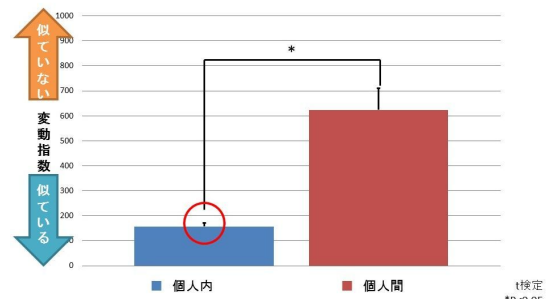


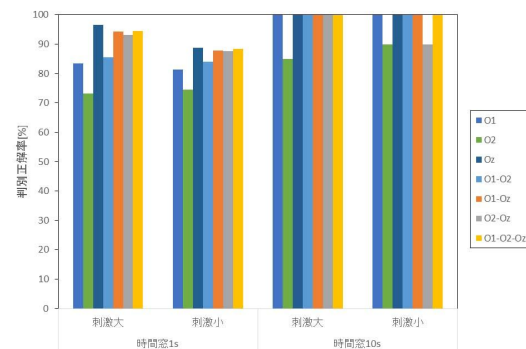
図4: 個人内/間の開眼平静時脳波比較

「R Metricsのためのデータ解析手法の開発」

方法に示した提案手法を計算した所、その結果、今までに無い程少ないデータを用いて、判別器の繰り返し学習15回で判別正解率90%以上に達した(図5)。オーバーラップ手法を用いないと正解率は90%に満たなかった。これらの結果は、PLOS One(雑誌論文)に発表した。

もう一つの脳波特徴の視覚的表示法については、判別空間・自己組織化マップ(ds-SOM)を開発した。自己組織化マップを作成する前に、判別器を用いて判別した結果をベクトルデータとして、ds-SOMに入力しマップ作成を行った。

その結果、判別結果を反映したマップ作成が可能になり、判別に使用できる脳波特徴のマップ化に成功した。このds-SOMを用いた自己組織化マップ表示についての結果はIEEE EMBC'14(学会発表)に発表した。



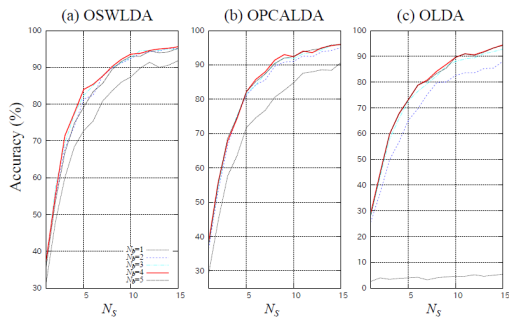


図5：データセットを1/10 交差確認法で評価した際の平均識別精度（OSWLDA、OPCLDA、OLDA、全てオーバーラップ法を含み、判別プログラムはLDA、LDA にかける前処理がステップワイズ法、PCA 法、前処理無し、と異なる）。

「脳波を用いたラジコンカー及びロボット制御実験」

実験を行った結果、1) 点滅する色正方形を注視した場合、後頭部 (O1, O2, Oz) にて各クラス実験で刺激周波数ピークが観察された (図6)。

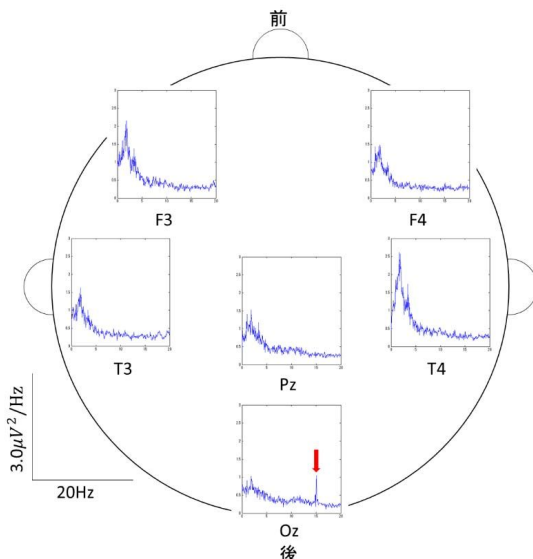


図6：15Hz で視覚刺激した時の SSVEP

2) 2 クラスの場合、15Hz の方がより大きなピークが見られた。6Hz のピークは15Hz に比べて小さかったが、倍調波である12、18Hz に顕著な周波数ピークが観察された。その周波数スペクトルパワー値をベクトルデータとして、線形判別分析により判別正解率を計算した。その結果、小さな正方形の場合、2、4 クラスで各80%程、60%程の値が得られた。また大正方形の場合、2、4 クラスで各95%程、70%程が得られた (図7)。以上の事から、SSVEP によりロボット制御が可能であると思われる。

しかし、3) 刺激注視間常に周波数ピークが現れているわけではない (図8) 従って、SSVEP を操作として用いる場合、コマンド発

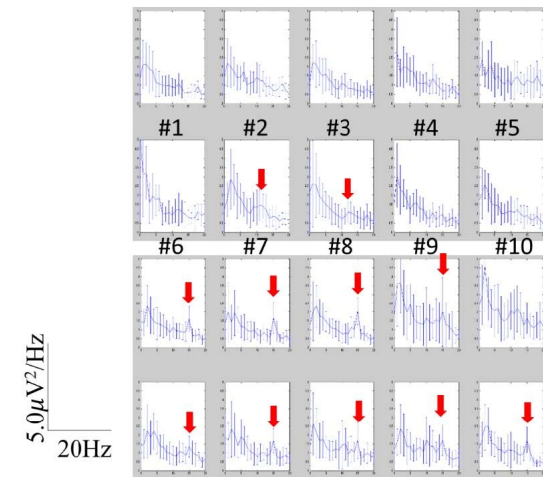
図7：ある被験者の2クラスときの判別

正解率

行のアルゴリズムを考える必要がある。今回、5 回刺激が選択されたら、ロボットを制御するコマンドを発行するようにした。その結果、**図8：大きい正方形刺激のときのOzの時間平均スペクトル(上2段6Hz 刺激の結果、下2段15Hz 刺激の結果)**

動作はうまく行った。しかし false positive なコマンド発行があったので、今後その点を修正していきたい。

今後は、今回得られた結果を元に、「Robots Move As You Think System」(RMAYTS) システムを完成させる。



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)

Onishi A, Natsume K, "Overlapped Partitioning for Ensemble Classifiers of P300-Based Brain-Computer Interfaces", PLoS ONE 9(4): e93045 (2014). doi:10.1371/journal.pone.0093045 (査読有)。

Touma Katayama and Kiyohisa Natsume, "The change in EEG when you are bored", J. Signal Processing, Vol. 16 (6) pp. 637-641 (2012) (査読有)。

[学会発表](計15件)

湯澤慶太、長澤佑紀、夏目季代久、"SSVEP を用いたラジコンカー及びビデオゲーム制御の研究"、NLP 研究会(大分、大分)(2015.1.26)(口演)

A. Onishi, and K. Natsume, "Introduction to brain-computer interfaces and the discriminant space self-organizing map." 19th World Congress on Advances in Oncology and 17th International Symposium on Molecular

Medicine”, (2014) (Oct. 9-11, 2014, Athens, Greece).

Akinari Onishi, and Kiyohisa Natsume, “ Multi-Class ERP-Based BCI Data Analysis Using a Discriminant Space Self-Organizing Map ”, EMBC2014 (2014. Aug. 26-30) (Chicago, USA) 341 (Poster) .

Noboru Kojima, and Kiyohisa Natsume, ” The electroencephalogram in music preference ”, Neuro2014 (2014.Sep.11-13) (Yokohama) P2-284 (Poster) .

Kiyohisa Natsume, "The proposal for the music therapy system using electroencephalography", The Second BMIRC International Symposium on Advances in Bioinformatics and Medical Engineering (BMIRC 2014), (2014. Jan. 29-30) (Fukuoka) (Oral) .

Akinari Onishi and Kiyohisa Natsume ,” A New Online Event Related Potential Based Brain-Computer Interfaces Using an Ensemble Classifier ”, 6th International IEEE EMBS Conference on Neural Engineering (NER2013) (2013. Nov. 6-8) (San Diego, USA) (Accepted, Poster) .

Akinari Onishi, and Kiyohisa Natsume, “ Ensemble Regularized Linear Discriminant Analysis Classifier For P300-based Brain-Computer Interface ” EMBC2013 (2013. July. 3-7) (Osaka) (Accepted, Poster) .

Touma Katayama, and Kiyohisa Natsume, "The differences of regional EEG coherence when you are bored", Neuro2013 (2013. Jun. 20-23) (Kyoto) (accept, poster) .

Ryousuke Koyanagi, Noboru Kojima and Kiyohisa Natsume, "Music preference distinction by EEG", Neuro2013 (2013. Jun. 20-23) (Kyoto) (accept, poster) .

Kiyohisa Natsume, "Brain computer interface using human brain waves", The First BMIRC International Symposium on Frontiers in Computational Systems Biology and Bioengineering (2013. Feb. 28-Mar. 1) (Fukuoka) (Oral) .

Tetsuo Furukawa, Takashi Ohkubo, Kiyohisa Natsume, “ Research on multi-system learning theory: a case study of brain-inspired system research ”, The

proceedings of SCIS-ISIS2012 (2012. Nov. 20-24) (Kobe) .

Touma Katayama, and Kiyohisa Natsume, “ The temporal change in EEG coherence when you are bored ”, Neuro2012 (Nagoya, Japan) (accept; poster) (2012. Sep. 18-21) .

Kiyohisa Natsume and Shingo Iiyama, “ The electroencephalogram measurement of temporal visuomotor adaptation in the game ”, Neuro2012 (Nagoya, Japan) (accept; poster) (2012. Sep. 18-21) .

Akinari Onishi and Kiyohisa Natsume “ Analysis of Dominance by the Self-Organizing Map for Event Related Potential based Brain-Computer Interfaces ”, Abstract of Postech-Kyutech Workshop (2012. Aug. 21) (Best Presentation Award 受賞) .

Touma Katayama, Kiyohisa Natsume ,” The Change in EEG When You Are Bored ”, The proceedings of NCSP'12 (Hawaii, USA) (CD-ROM), pp. 499-502 (2012. Mar. 4-6) .

〔図書〕(計 1 件)
夏目季代久、米澤将、藤瀬雅大、岡本達也、
"第8節 ブレイン・コンピュータ・インタ
フェースを用いたゲームの実用化に向けた
研究" 『次世代インターフェース開発の最前
線』、NTS 出版、(2013) .

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

夏目 季代久 (NATSUME, Kiyohisa)

九州工業大学・生命体工学研究科・教授
研究者番号：30231492