

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 14 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560294

研究課題名(和文) 脳波を用いた動作精度の事前推定に基づく予測制御に関する研究

研究課題名(英文) A study about predictive control based on task performance estimation using information of EEG just before the onset of motion

研究代表者

鈴木 哲 (SUZUKI, Satoshi)

関西大学・システム理工学部・准教授

研究者番号：50306502

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円、(間接経費) 1,110,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、動作開始直前に発生する運動関連電位に関する情報を用い、動作精度の事前推定の可能性について調査・検討するとともに、Support Vector Machine (SVM) によりリアルタイムで動作精度を事前に推定を行うシステム構築を目指した。

新たに開発したベーストレス簡易脳波計とともに、試作したSVMを用いた動作推定システムの評価実験を行った結果、作業によってはある程度推定可能である結果を得た。この結果をもとに、動作精度の事前推定に基づく予測制御を組み込んだ機器操作支援について検討した。

研究成果の概要(英文)：In an attempt to facilitate the use of biological signals for prediction of accuracy of movement just before the onset of movement, we examined the relationships among MRCP parameters as physiological indices and accuracy of task performance. Additionally, we developed a prototype system to detect MRCP parameters using SVM (Support-vector machine) in real-time and to also predict accuracy just before onset of the motion. Based on this findings, the possibility is considered whether it is possible to predict accuracy just before the movement is executed using MRCPs intended to use as one of the assistive method for BMI.

研究分野：知能機械学・機械システム

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学・機械システム

キーワード：人間工学 生体信号処理 意図推定 予測制御

## 1. 研究開始当初の背景

機器操作に際し、作業者の動作・行動特性を考慮し支援していくことは、機器操作を円滑にするだけでなく、安全性を確保する上でも重要な事項の一つである。このようなユーザの意図理解に基づく支援は、ユーザビリティの向上だけでなく、さらなる安全性の向上が求められつつある機器操作上の課題を解決する一つの方策である。そのためには生体に関する情報を捉え、その情報と動作との関係性を調査することがまず必要となる。機器制御に利用される生体信号は、信号取得の容易さから筋電図や眼振などが一般的である。

一方で、近年脳機能に関しては多くの基礎的な知見や有用な成果が得られており、**Brain Machine Interface** (以下 **BMI**) に見られるように、脳波を電動車椅子や電動義手、**PC** などのインタフェースとして利用しようとする試みが数多くなされている。中枢神経系が良いか末梢神経系が良いかという点については議論が残るが、身体制御指令を行っているのは中枢神経系であることから、本来中枢神経系の情報を利用するのが望ましいと考えられ、今後も更なる発展が想定される。

他方、脳電位において動作に関連した特有のものとして、運動関連電位 (**Movement Related Cortical Potential** (以下 **MRCP**)) が一般的である。動作の開始前にすでに発現することから、動作の計画段階を反映していると解釈されている。この特徴を考慮すれば、動作特性を考慮した機器制御を検討する上で必要となる情報を有していると考えられ、有益な信号と成り得ると考えられる。しかし、個人差やアーチファクトに影響を受けやすいことから、加算平均により求められるのが一般的であり、安定性やリアルタイムでの処理に課題が残り、通常機器制御にはほとんど利用されていない。

本研究グループは、この運動関連電位、特に動作開始前の運動準備電位と動作の帰結である動作の精度との関係性を見出し、これにより動作開始時には動作の精度を推定できる可能性の示唆を得た。一般に、腕や指を目的とする場所まで伸ばす到達運動などの動作過程においては、弾道運動と修正運動があることが知られている。この弾道運動は **feed-forward** 運動であることから、動作開始前にその行動計画がなされていると考えられる。したがって、行動計画の良し悪しが弾道運動に結果として現れ、それが **MRCP** に反映されたと考えられる。その他にも、エラー関連陰性電位 (**Error Related Negativity** (以下 **ERN**)) といった、被験者が課題遂行中に誤反応に気付いた場合に前頭中心部優位に発生する特有の事象関連電位の報告が近年増えてきている。

このように、人間の動作精度に関連する脳電位の基礎的な知見が近年多く見られるようになってきていることから、脳波などの生体信号を用いて動作精度の推定を行い、この

推定結果をもとに機器操作支援に対し予測的に使用することができる可能性があると考えられる。**BMI** のような代替機器の制御だけでなく、自動車のハンドル操作など、いわゆる手動制御系を用いた作業における支援に活用すれば、より安全なシステム開発に寄与すると考えられ、今後の有用性が期待できる。

## 2. 研究の目的

そこで本研究では、脳波を用いた動作精度の事前推定に基づく予測制御を組み込んだ機器操作支援システムの構築を目的とする。そのために、本研究グループでの先行研究の成果である動作開始前の脳波中の **MRCP** に関する情報を用いるとともに、簡易脳波計の開発と学習機や判別機の機能を有する手法を用いた動作精度を事前に推定するシステムの構築を目指す。また、試作したシステムの評価実験を通して、動作の結果を予測してデバイスを制御するといった支援方法を検討する。

## 3. 研究の方法

本研究の遂行に際し、下記の3点に対し調査、検討を行った。

- (1)推定に利用するパラメータの選定と推定方法検討のための調査実験
  - (2)簡易脳波計の開発と推定システムの試作
  - (3)試作システムの評価実験
- (1)パラメータの選定と推定方法検討のための調査実験

推定システム開発の課題として、高精度、且つ安定して動作精度推定できる **MRCP** 中のパラメータを検討し、さらに、加算平均を行わずにリアルタイムで **MRCP** に関する情報を抽出すること、の2点が必要条件となる。そこで、パラメータの選定と推定方法検討のための調査実験を行った。

パラメータについては、手指による到達運動においては運動開始直前 **500msec** から発生する **NS** (**Negative Slope**) 成分の傾きとそれ以前の **BP** (**Breischaf Potential**) 成分の傾きとの比が指標として有効であることが先行研究により指摘されている。しかし、より現実的な作業においてはノイズが多く含まれることが予想されることから、より安定的である **RMS** などの値の方が適していると考え、これを一つの指標として検討した。また、推定システムについては、近年の先行研究ではリアルタイムで **MRCP** 自体を抽出しようとする試みが一部に見られるが、本研究の主な目的は動作精度の推定であり、安定した推定のためには、単純に **MRCP** を抽出するだけでは不十分であると考えられる。そこで、動作精度が高い場合に発現した **MRCP** を教示波形として、その波形に対して一致度の低い場合に精度が低いと判定し判別する、といった学習機能を有した解析システムが有効な方

法の一つであると考えられる。そこで、一般的に用いられる判別分析やニューラルネットワークを用いた学習方法、また、画像処理などで利用される Support-Vector Machine (以下 SVM) の適用を検討することとした。

調査実験には、被験者は健康な男子大学生 5 名を選択して行った。脳波は 128ch の脳波計(Geodesic EEG 128ch Electrical Geodesics, Inc)を用い、サンプリング周波数 1000Hz で記録した。特に、MRCP は正中線上に発生するとされることから、今回は国際 10-20 法による Fz の付近の電極を中心に主に観察することとした。

タスクについては、先行研究で行われている手指による到達運動でなく、より現実的な動作に近い自動車運転を模擬した作業を行わせることとした。まず、被験者が動かす十字マーク(以下マーカー)が画面中央に表示される。試行が開始されるとマーカーより左方向 300pixel の位置に目標となる赤い十字マーク(以下ターゲット)が現れる。被験者はターゲットを目視で確認したのち、ターゲットを注視したまま任意のタイミングでステアリングを左の方向へきる運動を行う。この試行は実験者がステアリングを動かし始めてから 2sec で終了し、終了と同時にホームポジションに戻る。この反復試行を 20 回 1 セットとして 4 セット、計 80 試行行わせた。また被験者には作業をできるだけ早くかつ正確にするように指示した。

解析方法については、まず、20 試行×4 セットの全 80 試行の脳波データを 1 試行ごとに運動開始前 2000msec ~ 運動開始後 1000msec の合計 3000msec で切り出した。その後、MRCP の発生時点とされる運動開始前 2000ms を基準として、1 試行ごとに NS 成分を抽出し、RMS 値などをパラメータとして算出した。この処理を全 80 試行の脳波データで行った。

次に、脳波データの前処理を行った後、全 80 試行のデータを運動精度が良い時(sufficient)と悪い時(poor)の 2 通りに分類した。この時の精度が良し悪しの閾値は、被験者の全試行における作業成績(運動終了時のマーカーとターゲットの距離(ズレ))の平均値とした。その後、この 2 つに分類した脳波をそれぞれ加算平均し、この 2 通りの脳波の特徴を比べた。また、これと同時に、線形判別分析、ニューラルネットワーク、SVM を用いた推定方法を併せて行い、MRCP と運動精度の関係性を調査することとした。

### (2)簡易脳波計の開発と推定システムの試作

簡易脳波計は、小型脳波アンプ(BA1104m)をベースとして試作した。また、電極は頭髪を避け頭皮に接するようにコイル型の電極を接点として利用することでペーストストレス化を図り、またアクティブ電極とすることにより S/N 向上を試みることにした。一方、推定システムについては、動作精度が高い場合に発現した MRCP 中の NS 成分をパラメータ

として教示情報とし、この情報に対して一致度の高い場合に精度が高いと判定し、逆に一致度が低い場合は精度が低いと判定する学習機能を有したリアルタイムでの解析システムを LabVIEW を用いて構築することとした。

### (3)試作システムの評価実験

第 2 段階で試作した動作開始直前の運動計画の反映とされる脳波である MRCP を利用した動作精度を SVM を利用して推定するシステムについて、その評価実験を行うこととした。実験は、第 1 段階の調査実験と同様、自動車運転を想定したコンピュータディスプレイの上に表示されたカーソルをハンドルを用いて操作する内容の実験とした(図 1)。10 名の被験者に対してこの実験を適用し、どの程度の確率で推定可能か調査することとした。

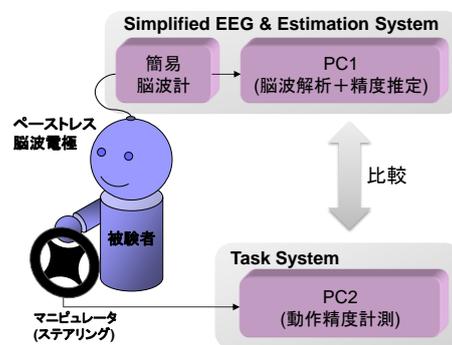


図 1 試作システムの評価実験

## 4. 研究成果

### (1)パラメータの選定と推定方法検討のための調査実験

まず、自動車のハンドル操作を想定した模擬実験を通して MRCP 内の情報を安定して抽出できるパラメータを検証した結果、過去には動作開始前 500msec から発生する NS と BP の傾きの比を用いていたが、RMS 値を用いる方が安定して抽出でき、且つ動作精度を推定できることが分かった(図 2)。

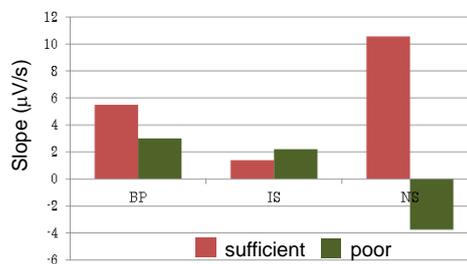


図 2 MRCP 内の各成分の傾き

また、リアルタイムでの情報抽出方法については、ある程度の学習をさせた上での検出方法が有効であると考え、一般的な線形判別分析、ニューラルネットワークを用いた方法、SVM マシンを利用した方法などを検討した。その結果、SVM による抽出方法が最も効果的であることを確認した。一方で、先行研究の手指

における単純な到達運動においては、動作精度と NS 成分の傾きについての関係性が 7 割程度であったが、今回の調査においては 6 割程度になったことから、高次の動作になれば推定精度が低下することが予想された。この原因については、高次の動作においては修正運動の関与が予想されることから、動作開始後の電位についても調査したところ、動作開始後 300msec 付近に動作精度との関係性が強い電位が確認された。したがって、より高次の動作においては修正運動を加味した支援が必要となると考えられる結果となった。

### (2)簡易脳波計の開発と推定システムの試作

まず、簡易脳波計の開発については、安静時においては脳波計として十分な性能を示すことを確認したが、動作中においてはアーチファクトの影響が大きく、ペーストレスの電極部分の S/N 比向上が課題となることが分かった。また、フィルタ処理によりある程度ノイズを低減できるものの、一方でフィルタの設定によっては MRCP の形状が変化し NS 成分の勾配も変化してしまうことが分かり、そこで電極をアクティブ電極とし S/N の向上を図った。

SVM による推定システムについては、調査実験の結果を受け、NS 成分の RMS 値を利用するようにした (図 3)。また、模擬データを利用して確認したところ、安定的な結果を得るためには教示情報の学習に 20 回程度の試行データが必要であることが分かった。そこで、20 回分のデータを基本として利用することとし、新たな試行を行った際はそのデータにより教示データを更新するようにした。また、NS 成分の RMS 値に算出から判定までの推定時間も短く、リアルタイム処理が可能であることを確認した。

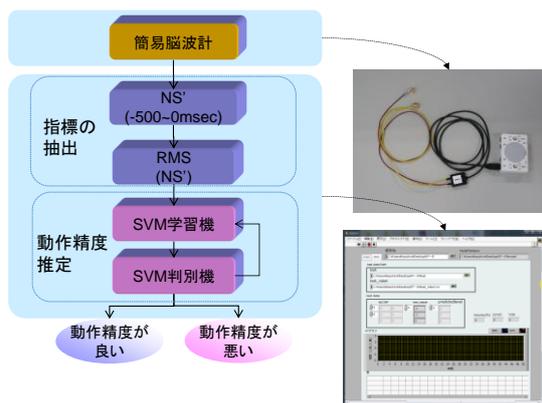


図 3 試作システム

### (3)試作システムの評価実験

(2)で試作したシステムを用いて、10 名の被験者に対して評価実験を行った。各被験者の判別結果と全被験者の平均値を表 1 に示す。この結果を見ると、多くの被験者が 5 割を超えており、平均値は約 6 割程度となった。また、1 名の被験者 (S<sub>4</sub>) だけが極端に低くなっており、その被験者以外で平均値は 6 割を超える判別結果が得られた。一般に、BMI の判別精度の基準は 6~7 割程度とされている

ことから、本実験での結果からある程度基準を超えることができることが示された。

一方で、より高次の運動に対しては修正運動の関与が示唆されたことから、動作の難易度などに依存することや、脳波計の S/N 向上などの技術的な課題も確認できたことから、予測制御のための支援について適用範囲の検討が必要である。

表 1 評価実験の結果

被験者	推定精度(%)
S <sub>1</sub>	65.4
S <sub>2</sub>	58.6
S <sub>3</sub>	63.0
S <sub>4</sub>	35.7
S <sub>5</sub>	55.6
S <sub>6</sub>	53.8
S <sub>7</sub>	72.0
S <sub>8</sub>	60.0
S <sub>9</sub>	68.4
S <sub>10</sub>	52.9
Ave.	58.5

### 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)

[学会発表] (計 1 件)

①山岡 善樹, 中松 祐介, 横関 厚, 鈴木 哲, 朝尾 隆文, 小谷 賢太郎, 運動関連電位と運動精度の関係性調査及びその応用に関する検討, 平成 24 年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, 2012, pp.85-88, 2012 年 12 月 8 日, 日本人間工学, 関西大学.

### 6. 研究組織

#### (1)研究代表者

鈴木 哲 (SUZUKI, Satoshi)

関西大学・システム理工学部・准教授

研究者番号: 50306502

#### (2)研究分担者

小谷 賢太郎 (KOTANI, Kentaro)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号: 80288795