

脳波を用いた運動部位予測システムの提案

Proposal of an EEG-based Motor Movement Prediction System

木村 龍二†
Ryuji Kimura土屋 誠司‡
Seiji Tsuchiya渡部 広一‡
Hirokazu Watabe

1. はじめに

近年、脳とコンピュータとのインターフェースにあたる機器の総称である、Brain-Computer Interface(以下 BCI)や Brain-Machine Interface(以下 BMI)が注目されている。本機器は、身体障害や怪我などによってマウスやキーボードなどの手で操作するインターフェースを使うことができない状況でも、コンピュータの操作や入力を行うことが出来る手段の1つとなっている。

本研究では、4 動作(右手の掌握運動(以下右手)・左手の掌握運動(以下左手)・右肘の屈曲運動(以下右肘)・左肘の屈曲運動(以下左肘))の脳波から4 種類クラス分類を行うシステムを構築し、構築した予測システムが学習を行えているかを検証する。本検証により、脳波そのものに運動に関する特徴が含まれているのかも同時に検証する。

本研究を行うことで、BCI/BMI の開発だけでなく、手の代わりとなる義手の開発に繋がると考えている。

2. 脳波

脳波(Electroencephalogram)とは、脳が働いている際に生じる電気活動を頭皮上などに置いた2つの電極から計測される電位差のことである。

脳波は一般的にその周波数帯域によって、それぞれ異なる脳の活動を示すことが知られている。周波数帯域の分類を表1に示す。

表1 脳波の種類

名称	周波数帯域	雑音の原因
δ波	1.00~4.00Hz	筋肉・心電
θ波	4.00~8.00Hz	なし
α波	8.00~13.00Hz	なし
β波	13.00~30.00Hz	なし
γ波	30.00~64.00Hz	周辺の電子機器

3. 提案手法

本研究では、FFNN を用いた4クラス(右手・左手・右肘・左肘)分類を行う。

3.1. FFNN

以下に本研究で用いるFFNNについて述べる。

FFNN(FeedForward Neural Network, 日本語訳: 順伝播型ニューラルネットワーク)とは、入力層、中間層、出力層を組み込んだニューラルネットワークである。逆方向への情報の伝播は行わず、入力層から出力層に向けて流れる。

3.2. 提案手法の脳波データセット

システム構築に使用した脳波データセットは、脳波測定実験で測定した4動作(右手・左手・右肘・左肘)を1人につき各50個ずつ、被験者2人分のデータである。

脳波測定実験では、脳波測定機器を用いて測定を行っており、測定後に付属のソフトウェアを用いて交流電流の雑音が含まれる60Hzを除くノッチフィルタをかけている。脳波測定機器のサンプリング周波数は1000Hzであり、解析対象区間は運動開始からの1000msである。

脳波測定機器の電極数は32極である。測定した32極の脳波データから測定不良を生じた電極や運動野から遠い位置にある電極を除いた25極の脳波データをデータセットとして使用する。

電極の配置図を図1に示す。円内部のCzやCPzなどの文字がそれぞれの電極名を示す。また、使用する25極の電極の位置を図2に示す。

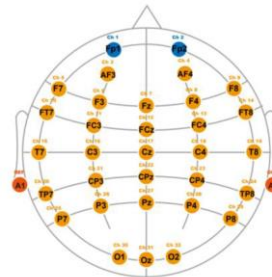


図1 電極配置図

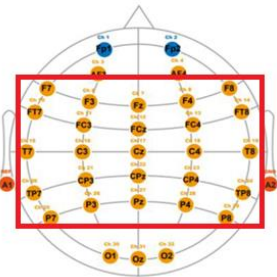


図2 25極の電極

また、データセットの前処理として、高速フーリエ変換(FFT)を行い、脳波のθ波・α波・β波・γ波に値する周波数(4.00~64.00Hz, 交流電流の雑音が含まれる60Hzを除いている)を抽出している。

3.3. 提案手法のシステム設計

本研究で構築したシステムの流れを図3に示す。

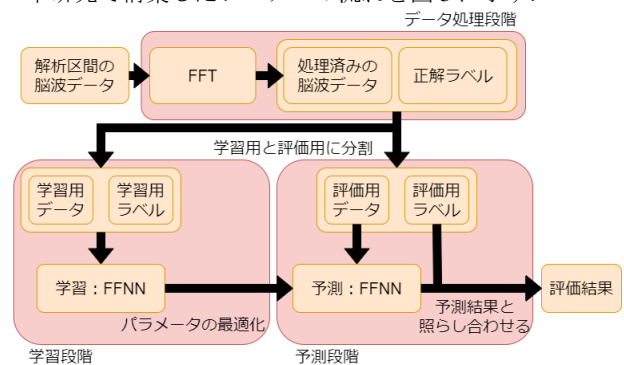


図3 システムの流れ

システムは前節で説明したデータセットの前処理にあたるデータ処理段階、学習データとテストデータに分け、学習用データからFFNNの学習を行う学習段階、評価用データからFFNNによる予測を行う予測段階がある。

3.4. 提案手法のFFNNの構造

本研究で用いるFFNNの構造を図4に示す。

FFNNの入力データサイズは25(電極数)×60(周波数(4~59,61~64Hz))=1500である。出力サイズは予測した運動部位であるため1である。

学習方法については、損失関数に交差エントロピー誤差、最適化手法に確率勾配降下法を用いている。

† 同志社大学大学院理工学研究科

‡ 同志社大学理工学部インテリジェント情報工学科

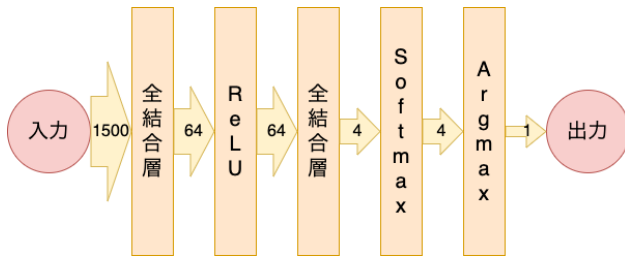


図 4 FFNN の構造

3.5. 提案手法の評価実験

構築したシステムにおいて、 k 分割交差検証($k=10$)を 100 回行った結果が図 5 に示す。平均精度は、被験者 1 は 25.2%、被験者 2 は 28.5%、標準偏差は、被験者 1 は 0.00880、被験者 2 は 0.0127 となっている。

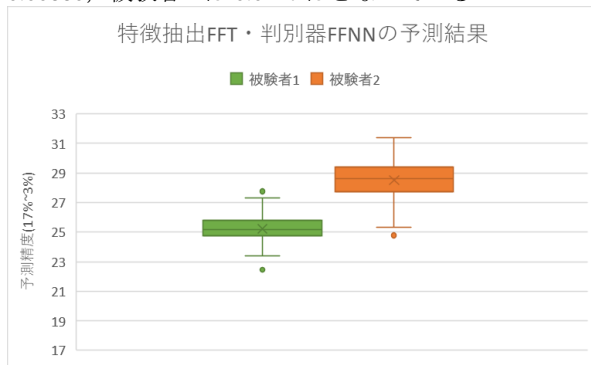


図 5 予測結果

ここで、帰無仮説が「予測精度が 25%である」、対立仮説を「予測精度が 25%より高い」として有意水準 0.05 で片側 t 検定を行った。検定の結果、被験者 1 の t 値=2.60、被験者 2 の t 値=27.70、 $t > 1.660$ (自由度 99)により、帰無仮説は棄却され、被験者 1,2 とともに予測精度が 25%より有意に大きいと言えた。

4. 予測システムの妥当性の検証

被験者 1,2 とともに、予測精度が 25%より有意に大きいと言えたが、脳波データが少なく、また正しく測定されているか不明であるため、予測システムが妥当であるかは言い切れない。そこで、前章とは異なる脳波データセットを用いて予測を行う。FFNN の構造は前章と同じである。検証予測結果が 25%より有意に大きいと言えれば、予測システムが妥当であると考えられる。

4.1. 検証用の脳波データセット

検証に使用した脳波データセットは、BCI2000 という汎用 BCI プラットフォームの作成^[1]にて検証に用いた脳波データセット^[8]である。参考文献の研究では 109 人分のデータ、1 人当たり右手・左手合わせて 45 個が使用されていた。しかし、本検証ではデータの偏りを考慮し、データ数が少なかった 3 人分のデータを使用せず、残りの 106 人の 1 人当たり 3 個分の脳波データを使用していない。

脳波測定機器の電極数は 64 極である。測定した 64 極から前章の脳波データセットと同じ位置にある電極 25 極の脳波データをデータセットとして使用する。サンプリング周波数は 160Hz である。

また、データセットの前処理として、前章と同じく高速フーリエ変換(FFT)を行い、60Hz を除いた 4.00~64.00Hz を抽出している。また、最後に全てのデータにて正規化を行なっている。

4.2. 検証用のシステム設計

検証に用いたシステムは、前章のシステムの k 分割交差検証から LOPOCV(Leave-One-Patient-Out Cross Validation)に変更したものである。LOPOCV に変更した理由としては、 k 分割交差検証を行うには、被験者 1 人当たりのデータ数が少なく、機械学習による学習が行えないと予想されるためである。

4.3. 検証実験

LOPOCV による結果が図 6 のように得られた。平均が 58.0%、標準偏差が 0.0838 となっている。

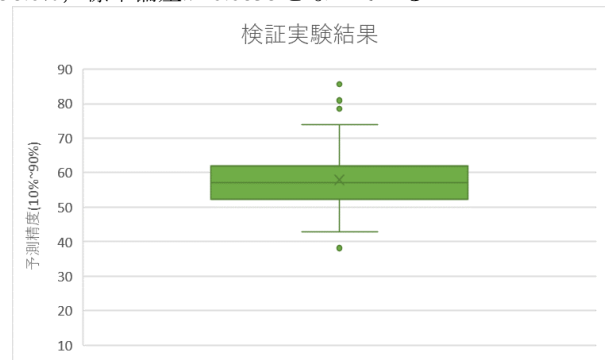


図 6 検証実行結果

ここで帰無仮説が「予測精度が 50%である」とし、対立仮説を「予測精度が 50%より高い」として有意水準 0.05 で片側 t 検定を行った。検定の結果、 t 値= 9.80、 $t > 1.659$ (自由度 105)により、帰無仮説は棄却され、予測精度が 50%より有意に大きいと言えた。

5. 考察

4 分類である提案手法の予測精度が 25%より有意に大きいと言え、2 分類である検証の予測精度が 50%より有意に大きいと言えた。したがって予測システムが妥当であることが予想される。また、本予測システムが妥当であることが予想されることにより、脳波には運動に関する特徴が含まれていることも検証することができた。

6. おわりに

本研究では、4 動作に関する脳波から FFT と FFNN を組み合わせたクラス分類手法を提案した。評価実験や検証によって本予測システムは有意差のある手法であることが分かった。しかし、本予測システムは実用的な予測精度ではない。実用的な予測精度というのは、BCI/BMI である限り、絶対的な安全、すなわち限りなく 100%に近い精度のことである。本テーマの最終目標は予測システムを実用的な予測精度に達することである。

将来の研究の方針としては、特徴抽出方法の変更や FFNN 以外の判別器で学習を行うこと、そしてシステム構造の見直しである。具体的に述べると、FFT で抽出する周波数の見直しや、周波数解析に有効な判別器での学習、ハイパーパラメータの調整などを行う必要がある。

これからも BCI/BMI 開発に向け、脳波を用いた研究はまだ必要だと考えられる。

参考文献

- [1] Schalk, G., McFarland, D.J., Hinterberger, T., Birbaumer, N., Wolpaw, J.R. BCI2000: A General-Purpose Brain-Computer Interface (BCI) System. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 51(6):1034-1043, 2004.

§ EEG Motor Movement/Imagery Dataset
<https://www.physionet.org/content/eegmmidb/1.0.0/>