

O1-2

Brain-Computer Interface のための脳血流量変化からの意図推測法の開発

Development of intention inference method from cerebral blood flow response for

Brain-Computer Interface

○ 島本博史 (高知工科大学) 王碩玉 (高知工科大学) 姜銀来 (高知工科大学)

三浦直樹 (東北工業大学)

Hirohumi SHIMAMOTO, Kochi University of Technology

Shuoyu WANG, Kochi University of Technology

Yinlai JIANG, Kochi University of Technology

Naoki MIURA, Tohoku Institute of Technology

Abstract: In recent years, Brain-Computer Interface (BCI) has been developed for supporting bedridden persons. It is an important subject for robots to understand the person who can not express themselves by character and language. We are developing intention inference method based on the cerebral blood flow response measured using NIRS. So far, we have proposed to analyze the cerebral blood flow response by the distance-type fuzzy reasoning method. However, the fuzzy rules did not reflect characteristic of NIRS of NIRS data. We report the solution to this problem in this paper.

Key Words: Brain-Computer Interface, NIRS, fuzzy, the distance-type fuzzy reasoning method

1. 諸言

Brain-Computer Interface(BCI)とは非侵襲的に計測した脳活動信号を用いて機器を操作するインターフェイスであり、我々は近赤外線分光法 (NIRS) を用いて計測した脳血流量変化を利用して BCI の開発を行っている⁽¹⁾。これまでに黙読時の脳血流量変化を距離型ファジィ推論法⁽²⁾によって BCI の制御信号とする手法を提案してきたが NIRS 信号の持つ信号特性が知識としてファジィルールに十分に反映されていないという問題点が残されていた。そこで本研究では、より適切なファジィルール決定のために、黙読時の脳血流量変化を NIRS により計測し信号特性の解析を行う。計測実験として黙読課題時の両側前頭前野の脳血流量変化の計測を行い、計測結果から課題特異的な脳血流量変化パターンを抽出し、手法の有効性を検証した。

2. 脳血流量測定装置および測定部位

本研究では、NIRS 測定装置光トポグラフィ ETG-7100(日立メディコ(株))(Fig.1)を使用し大脳皮質表面における局所的な総ヘモグロビン(Hb)濃度変化の計測を行った。



Fig. 1 ETG-7100

実験時には、被験者の頭部にプローブを装着し、その上から送信用(射光部)・受信用(受光部)のオプトードを取り付け測定する(Fig.2)。計測前のキャリブレーション状態を基準とし総 Hb 濃度変化を測定する。



Fig.2 probe and optode

測定部位は脳波電極の位置決定に用いられる国際 10-20 法を用い、左側前頭前野のブローカ野に近接する F7 周辺が測定用プローブの中央に位置するよう装着し測定を行った。プローブ装着部位およびプローブ上の計測チャンネルの配置を Fig.3 に示す。Fig.3 の右図において、円形・三角形の点は射光・受光用のオプトードの位置を示し、オプトード間のチャンネル(ch1~ch22)が測定領域である。

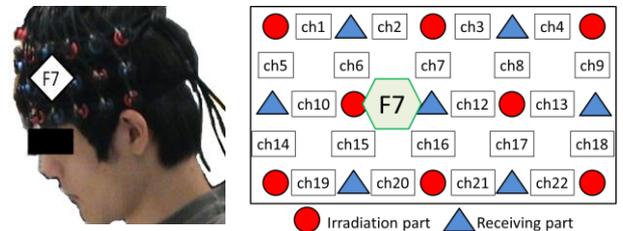


Fig. 3 probe setting and measuring point

3. 実験内容

実験では、安静状態 (REST) 30 秒、本の黙読課題 (TASK) 15 秒とし交互に 10 回繰り返す間の総 Hb 濃度変化を計測した。サンプリングレートは 10Hz である。

TASK 時には、被験者に文字のみで構成されている本を渡し、実験者が任意に選んだ文章の黙読を行うよう指示、REST 時には、視覚情報を統制のため眼前に固視点を注視し何も考えないように指示した。測定は 10 回の繰り返し実験を一日一回、測定日を固定せず週 4 回 4 週間の全 16 回を成人男性 3 名で行った。

4. 距離型ファジィ推論法に基づく BCI

本研究で用いる距離型ファジィ推論法は、自然言語で表現された曖昧な知識をメンバシップ関数によってファジィルール集合に変換し、入力される事実とルールとの距離情報に基づき推論を行う方法である。本手法では、BCI で用いられる総 Hb 濃度変化が相対信号であるから、その信号の増減量を基にファジィルールを設定し計測時間毎に推論を行い、その推論結果を BCI におけるスイッチの切り替え

の制御信号として用いる。

4-1 ファジィルール

本手法でのルールの前件部は推論を行う現時刻とその時刻の 2.0 秒前とデータの比較を行い、増減量の度合いにより設定する。後件部では出力をスイッチング信号とするため、増減量の度合いが増加傾向ならば出力信号を 1 としてスイッチを ON に、変化がなければ出力信号を 0 として現状を維持、減少傾向ならば -1 とし OFF にする。これらのルールを下記にファジィ集合で表す。Aⁱ, Bⁱ はそれぞれ前件部、後件部である。

$$\begin{cases} R^1 : x_N(kT) = A^1 \Rightarrow y_1(kT) = B^1 \\ R^2 : x_N(kT) = A^2 \Rightarrow y_2(kT) = B^2 \\ R^3 : x_N(kT) = A^3 \Rightarrow y_3(kT) = B^3 \quad (k = 0, 1, \dots) \end{cases}$$

本研究では、前件部に三角型ファジィ集合、後件部にシングルトンを用いる。三角型ファジィ集合の区間は各被験者における増減量の度合いにより設定する。下記に前件部・後件部のファジィ集合を表したグラフを示す。

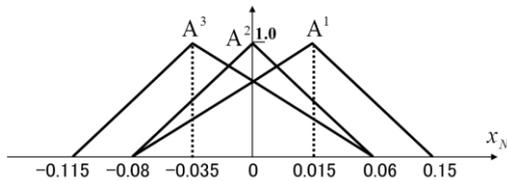


Fig.5 Membership Function of IF parts

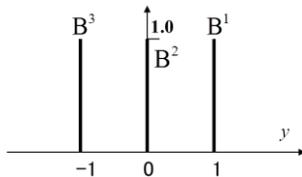


Fig.6 Membership Function of THEN parts

4-2 距離型ファジィ推論アルゴリズム

距離型ファジィ推論では、距離関数に基づき入力信号 X_n(t) と前件部との距離を計算する⁽²⁾。前件部、実は三角型ファジィ集合、シングルトンなので式(1)となる。a_{m4} は 1.0 とした(Fig.7 参照)

$$d_m(A^m, A) = \frac{1}{\sqrt{3}} \sum_{i=1}^2 \left[\sum_{j=i}^{i+1} (a_{mj} - x_N(kT))^2 + \prod_{j=i}^{i+1} (a_{mj} - x_N(kT)) \right]^{1/2} + \frac{1}{\sqrt{3}} \left[(1 - a_{m4})(a_{m3} - a_1)^{1/2} \right] \quad (1)$$

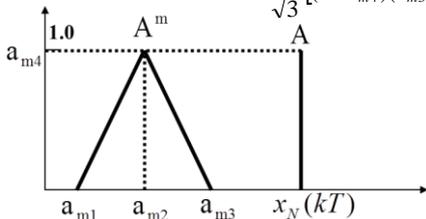


Fig.7 fuzzy sets of IF parts and fact

また入力された事実と入力信号から距離の近い前件部を比較するルール (知識半径 n : ここでは 3 とする) により出力される推論結果 Y(t) を式(2),(3)により算出する。

$$d_m = \sum_{j=1}^n d_m(A^m, A) \quad (m = 1 \sim 3; n = 3) \quad (2)$$

$$Y(t) = \frac{\sum_{i=1}^n [B^i \prod_{j=1, j \neq i}^n d_j]}{\sum_{i=1}^n \prod_{j=1, j \neq i}^n d_j} \quad (n = 3) \quad (3)$$

5. 実験結果

入力信号では、被験者に安静状態 (REST) 30 秒、本の黙読課題 (TASK) 15 秒とし交互に 10 回繰り返す間の総 Hb 濃度変化を計測したデータを用いた。ここでは、10 回行ったうち 5 回分を抜粋した。出力信号である推論結果が 1 なら ON, -1 なら OFF とする。

推論結果から入力信号の TASK 時の増加、TASK 終了時の減少を認識して出力信号が算出されたことが確認された。

REST 時の推論結果はマイナスの値を算出している。これはファジィルールで減少傾向ならば出力信号を -1 とする推論がされているためだと考察される。また、入力信号の REST 時での変化幅が少ない場合、推論結果は 0 に近い値となっている。これはファジィルールで変化がなければ出力信号を 0 とする推論が行われていると考えられる。したがって、距離型ファジィ推論法を用いた本手法の有効性が示唆された。

Fig.8 に検証に用いた入力信号, Fig.9 に推論結果を示す。

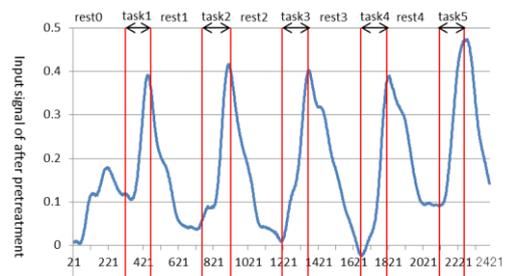


Fig.8 Result from passive selection

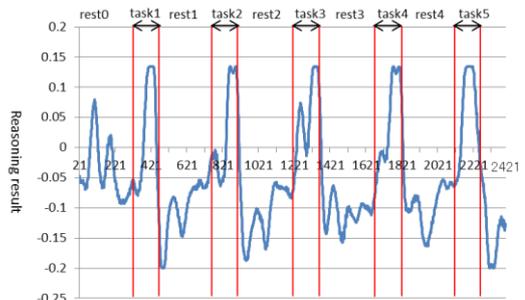


Fig.9 Result from active selection

6. 結言

本研究では、信号特性に着目し距離型ファジィ推論法を用いた意図推測法を開発した。実験結果より、NIRS の課題特異的な信号特性として傾きを用いることは有効だと考えられる。今後は、手法のアルゴリズム構成を課題として BCI の開発を行う。

参考文献

- (1) 雑賀 広記, 三浦 直樹, 王 碩玉: 黙読を用いた Brain-Computer Interface の開発, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol.11 No.1, pp61-66, 2009
- (2) 王 碩玉, 土谷 武士, 水本 雅晴: 距離型ファジィ推論法, バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol.1.No.1, pp61-78, 1999