

SVM を用いた記憶想起時の脳波からの認知状態判別

坂元佑弥† 高井英明† 中内茂樹† 関洋平† 青野雅樹†

豊橋技術科学大学†

1. はじめに

脳活動を計測し、その活動から人の主観的な意識などを読み取る技術はブレインマシンインターフェース実現や脳機能解明のための重要な道具となる [1], [3]. 一方、ある事柄の記憶を想起しようとしたとき、その事柄に対する認知状態は「思い出せた (Recall)」、 「知らない (Don't Know)」、 「知っている感じがするが、思い出せない (Feeling-Of-Knowing: FOK)」の 3 つに大別でき、それぞれの状態に応じて脳活動は異なることが fMRI を用いた研究により明らかになっている [2].

本研究では、この認知状態の違いが脳波の事象関連電位 (ERP) の違いとして現れると考え、この違いからいずれの認知状態であるかを判別することを目的とする。これを実現するために、時間帯別に SVM を用意し、それぞれの SVM に信頼度というものを定義する 2 値判別モデルを提案する。この判別モデルを検証するために、英単語の和訳想起時タスクを考え、脳波計測 (EEG) を行い、提案手法の有効性の実証実験したところ、 FOK と Don't Know の判別に関しては約 6 割の精度が得られた。

2. 事象関連電位と潜時

脳波とは、脳神経細胞の電気的活動を頭皮上の複数個所から、時系列データとして計測されたものである。

脳波は人間が生きている限り絶え間なく自発的に出現する。これを自発脳波という。

一方、光や音などの事象に関連して一時的に生じる電位変化は事象関連電位 (ERP) と呼ばれ、自発脳波に重畳して現れる。ERP 波形はいくつかのピークで構成され、事象に対する認知状態の違いが、ピークの極性・潜時・頭皮上分布 (これらを ERP 成分という) の違いとして現れることがある。なお、潜時とは、事象が起こってから、ピークが発生するまでの時間であり、事象に対する認知状態が同じ場合は、この潜時では一定であることが多い。

3. 認知状態の判別

3.1 脳波からの認知状態判別

本研究は、記憶想起時の異なる認知状態は、特有の ERP 成分を持つと考え、その違いからいずれの認知状態であるかを判別する。しかし、ピークが発生していない時間帯の波形においては、認知状態とは無関係で不規則となっている可能性があるため、記憶想起中の全時間帯を特徴量として、判別することは困難である。そこで、

想起を開始してからほぼ一定の潜時でピークが発生すると仮定し、ピークの時間帯を重視した判別モデルを提案する。

3.2 SVM (Support Vector Machine)

本研究では、判別のために SVM (Support Vector Machine) を利用する。SVM は教師あり学習を用いてパターン識別を行う手法の 1 つであり、高い汎化性能を示すことで知られている。また、SVM は分離超平面を構築し、2 値判別を行う手法である。本研究では、Recall/FOK, Recall/Don't Know, FOK/Don't Know の 2 値判別を行う 3 つの判別モデルを作成した。

3.3 判別モデル

3.1 節の仮定に基づくと、図 1 に示すように時間帯を区切って SVM を構成すると、それぞれのピークが発生している時間帯の SVM は高い精度で認知状態の判別できることが期待される。そこで、本稿が提案する判別モデルは時間帯別に SVM を構成し、それぞれの SVM の判別の結果をどれほど信用してよいかという信頼度 r_i を定義する。訓練後のテストデータは、信頼度が高い時間帯の SVM に判別させ、クラス別にそのクラスと判別した SVM の信頼度の平均を計算し、その平均値を比較して判別を行う。

以下に提案手法の具体的な手続きについて述べる。

3.3.1 前処理

まず、前処理として、1 試行の脳波を Δt ごとに区間を分割し、それぞれ計測した全部位のパワースペクトル推定を行い、推定した全部位のパワースペクトルを結合して、1 つの特徴ベクトルとする。これを全ての区間に適用する。これにより、パワースペクトルを特徴量とする特徴ベクトルを時間帯別に得る。

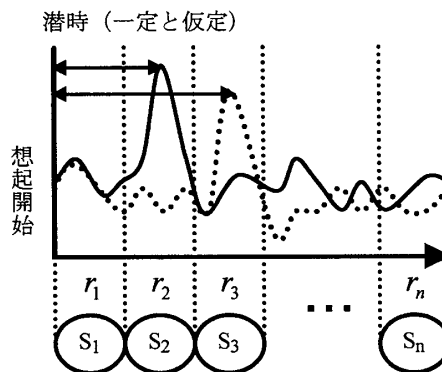


図 1 時間帯別 SVM

実線と点線の波形は、それぞれ別の認知状態の脳波を表し、 S_i はそれぞれ SVM を表す。

Classifying Cognitive States using SVM from EEG during the Attempt to Recall

† Yuya Sakamoto, Hideaki Takai, Shigeki Nakauchi, Yohei Seki and Masaki Aono

† Toyohashi University of Technology

3.3.2 信頼度の計算

まず、訓練データを SVM 構成用のデータと信頼度計算用のデータに分け、SVM 構成用のデータで、時間帯別に SVM を構成する。次に、信頼度計算用のデータを時間帯別に構成した SVM それぞれに判別させ、その結果から判別精度を求め、この判別精度を信頼度とする。

3.3.3 テストデータの判別

テストデータにも 3.3.1 項で示した処理を適用し、時間帯別に特徴ベクトルを得て、それを信頼度が閾値 θ (4 章の実験では $\theta=0.5$) よりも大きい時間帯のみ SVM に判別させ、判別結果を得る。その判別結果より、認知状態が A であると判別した SVM の信頼度の平均 μ_A と、認知状態が B であると判別した SVM の信頼度の平均 μ_B を計算する。これを式で表すと以下のようになる。

$$\mu_A = \frac{1}{n_A} \sum_{i=1}^{n_A} r_{Ai} \quad (1)$$

$$\mu_B = \frac{1}{n_B} \sum_{i=1}^{n_B} r_{Bi} \quad (2)$$

ただし、 r_{Ai} 及び r_{Bi} は、クラスが A 及び B であると判別し、かつ、信頼度が閾値 θ よりも大きい SVM それぞれの信頼度を表す。また、 n_A 及び n_B は、クラスが A 及び B であると判別し、かつ、信頼度が閾値 θ よりも大きい SVM の個数を表す。

これより、 $\mu_A \geq \mu_B$ ならば、テストデータのクラスは A、 $\mu_A < \mu_B$ ならば、テストデータのクラスは B であると判別する。なお、平均値を比較する理由は、信頼度が閾値 θ を超えていても、実際にはその時間帯にピークは発生していない可能性があり、その影響を小さくするためである。

4. 英単語想起時の脳波による評価実験

4.1 比較手法

判別モデルの有効性を検証するために、時間帯別に SVM を用意し、それぞれの信頼度を計算する本手法と、1 試行の全時間の脳波からパワースペクトルを推定し、1 つの SVM のみで判別する手法とで比較を行った。

4.2 使用データ

判別に使用するデータは、被験者は 20 代男性 1 名を対象として、以下の手順で作成した。①ある英単語を提示し、その和訳を 5500[ms]間で考えてもらうという課題を被験者に与えた。②その 5500[ms]間の脳波を計測した。脳波の測定は暗室にて、エレクトロキャップ (日本光電製) を用いて被験者の頭皮上に電極を装着し、生体アンプ Polymate (TEAC 製) によって行った。計測チャンネルは国際 10-20 法による 19 点、サンプリング周波数は 200[Hz]である。③その後、被験者自身に提示された英単語に対する認知状態を判定してもらうというタスクを 300 回繰り返して、データを得た。

4.3 結果

表 1 に比較手法と本稿で提案する判別モデル ($\Delta t = 500[\text{ms}]$) で判別した結果を示す。表 1 の精度とは、以下の式で定義される。

$$\text{精度} = \frac{\text{判別結果が被験者の判断と一致した数}}{\text{テストデータ数}} \times 100 \quad (3)$$

表 1 比較手法と提案判別モデルの精度

	比較手法 [%]	提案判別モデル [%]
FOK/Don't Know	47.47	61.62
Recall/Don't Know	59.60	54.55
Recall/FOK	58.67	52.00

FOK と Don't Know の判別では、提案手法により、比較手法から 15%程度精度を向上させることができた。この判別では、500~1000[ms]の時間帯に構成した SVM の信頼度が高くなることが多く、また、この時間帯の SVM の信頼度が高いときに判別精度が高くなる傾向があった。このことより、FOK か Don't Know の ERP に関しては、「想起を開始してからほぼ一定の潜時でピークが発生する」という仮定が正しいことが示唆され、そのピークは想起を開始してから 500~1000[ms]後に発生すると考えられる。

それに対し、Recall と他の 2 つとの判別では、提案する判別モデルでの精度が比較手法をやや下回っている。この原因について考察すると、Recall はしばらく考えてから思い出す場合がある。このとき、認知状態として、一旦 FOK 状態になってから Recall 状態になるということが考えられる。もし、これが事実ならば、Recall と他の 2 つの判別を行う判別モデルの信頼度は正しく計算されない。今後、思い出すのに要する時間も考慮して検証する必要があると思われる。

5. おわりに

本研究は、時間帯別に SVM を用意し、それぞれの SVM に信頼度を定義する判別モデルにより、記憶想起時の脳波から認知状態の 2 値判別を行った。

この手法により、FOK と Don't Know の判別で、全時間帯を特徴量にして、1 つの SVM のみで判別させる手法よりも高い精度を得ることができた。

今後の課題としては、4.3 節で述べた Recall に関する検討、他の被験者での検討、精度の向上、3 値判別への拡張などが挙げられる。

参考文献

- [1] 神谷之康, “初期視覚野機能の fMRI 画像からのデコーディング” 映像情報メディア学会誌 Vol.60, No.11, pp.1731-1734 (2006)
- [2] Hideyuki Kikyo, Kenichi Ohki, and Yasushi Miyashita, “Neural Correlates for Feeling-of-Knowing : An fMRI Parametric Analysis” Neuron, Vol.36, pp.177-186 (2002)
- [3] 高井 英明, 打尾 健太, 北崎 充晃, 中内 茂樹, “課題遂行中の自発脳波からの SVM による認知状態判別” 電子情報通信学会技術研究報告. NC, ニューロコンピューティング Vol.106, No.407, pp. 25-30 (2006)