

主成分分析を用いた脳波感情判断システムの構築 Brain Wave Emotion Judge System Using a Principal Component Analysis

森 智洋†
Tomohiro Mori

芋野 美紗子†
Misako Imono

土屋 誠司‡
Tsuchiya Seiji

渡部 広一‡
Hirokazu Watabe

1 はじめに

近年、高齢者や自発的な意思疎通が困難な方にとって、特別な操作を必要としない脳波を利用したシステム開発が望まれている。また医療・介護の現場では看護師が患者の意図を読み取れず、齟齬が生じるという現状がある。患者の感情を読み取り判断することにより、意思疎通を円滑に行えるのではないかと考える。これらを踏まえて、脳波を利用し感情判断を行うシステム^[1]が存在する。このシステムでは、脳波の波形の類似度のみを用いて感情判断を行っている。そのため、感情により異なる脳波の構成要素や、感情によって電圧値が強く出力される周波数帯域、脳の部位が異なるなどといった脳波の性質を考慮していない。脳波の性質を考慮することで、システムの精度向上につながるのではないかと考える。そこで本稿では、脳波を感情ごとにグループ分けし、主成分分析により脳波の感情ごとの特徴抽出を行う。これにより、感情による脳波の性質を考慮した感情判断が可能になる。

2 脳波感情判断手法

既存研究で使用されている感情判断手法は、大量の脳波データが蓄積された脳波知識ベースを用いる。脳波知識ベース内の複数の脳波データをまとめることで感情が付与されたクラスタを作成し、その重心と、入力する脳波データの合計誤差を計算し感情判断を行う。入力脳波は合計誤差が最小のクラスタと類似度が最も高いことから、同じ感情を持つと判断できる。

3 感情・脳波取得実験

感情・脳波取得実験は、脳波と感情の対応付けを行うため実施した。男性 10 名、女性 8 名、計 18 名の被験者にペーストレス電極ヘルメット^[2]を被らせ、邦画 1 作品を視聴してもらい、映画内の登場人物の発話 315 回に対する被験者の感情と脳波を取得した。感情は喜び、怒り、悲しみ、感情なしの 4 感情の脳波データを使用する。その理由として、人間が持っている代表的な 4 感情として喜怒哀楽があるが、「喜」と「楽」が類似している点と、「哀」は「悲」と同一と判断できる点を考慮したためである。また、正規化を行うため映画を視聴する前後の開眼状態と閉眼状態の脳波をそれぞれ約 1 分間測定する。

4 源脳波・脳波特徴量

感情・脳波取得実験により、取得した脳波を源脳波と呼ぶ。また源脳波をスペクトル解析したものを脳波特徴量と呼ぶ。スペクトル解析とは、周波数毎の電圧 (μV) の強さを取得する手法である。

脳波は周波数特性によっておよそ $\delta \cdot \theta \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ 波の 5 つの成分に分類される。 δ 波と γ 波はそれぞれ筋電や心電、電気の周波数による影響を受けやすいため、本稿

では θ 、 α 、 β 波の 3 周波数帯域を用いる。周波数帯域 4.00 ~ 30.00Hz をスペクトル解析により、0.39Hz ごとに 66 個の電圧値に分割する。 $\theta \cdot \alpha \cdot \beta$ 波の 3 周波数帯域の電圧値とするため、 θ 波・ α 波・ β 波に対応する周波数帯域の電圧値の絶対値を平均化した値を脳波特徴量とする。また、ペーストレス電極ヘルメットには 14 本の電極が存在し、各電極から得られた源脳波に対してスペクトル解析を行う。14 本の源脳波は上記で述べた 3 つの成分に分割するため、 $14 \times 3 = 42$ の合計 42 個の脳波特徴量となる。この 42 個の脳波特徴量から構成されるデータを脳波データとする。

5 正規化

被験者の脳波の電圧の強さは、実験の時間が経つにつれて増加していく。また被験者によって脳波が強く出たり、弱く出たりといった個人差が存在する。脳波データは 42 個の電圧値から構成されており、本稿では主成分分析により脳波データの特徴抽出を行うため、電圧の強さが異なると、正確な特徴が抽出されない可能性がある。その問題を解決するため、線形正規化と非線形正規化を行う。

5.1 線形正規化

実験時間が経つにつれて変化する被験者の脳波の電圧の強さを補正する。映画視聴中は眼を開けているため、開眼時の脳波特徴量を基本に線形正規化を行う。実験前後の開眼時 1 分間の脳波特徴量を用いて、実験前後の脳波特徴量の電圧値の強弱を求める。実験開始から l 番目の脳波特徴量 a_{ijl} を線形正規化した脳波特徴量 $Liner_a_{ijl}$ は式(1)で表される。実験前後の時間を p_1 、 p_2 、平均電圧値を q_1 、 q_2 とする。

$$Liner_a_{ijl} = a_{ijl} * \left\{ \frac{q_1 - q_2}{p_2 - p_1} * l + q_2 \right\} - \left(\frac{q_2 - q_1}{p_2 - p_1} * l + q_1 \right) \quad (1)$$

5.2 非線形正規化

被験者同士の電圧の個人差を補正する。求める際には式(2)を用いる。 $f(x)$ は非線形正規化を行った後の脳波特徴量、 x は非線形正規化を行う脳波特徴量 x_{\min} と x_{\max} は、被験者の脳波特徴量の最小値と最大値である。これにより、値が大きい脳波特徴量は圧縮され値が小さい脳波特徴量は伸縮されるため被験者ごとに異なる脳波の電圧を補正することができる。

$$f(x) = \frac{\log(x - x_{\min})}{\log(x_{\max} - x_{\min})} \quad (2)$$

6 主成分分析による特徴量抽出

主成分分析^[2]とは多変量データが得られたとき、多変量データを総合的に表現した主成分と呼ばれる合成関数を新たに作成する手法である。また主成分分析を行うことにより寄与率が求まる。この寄与率は主成分が元の変量データにどれだけ寄与しているかを示している。

この主成分分析を脳波に応用し、多変量データである脳波データから感情の主成分を新たな合成関数として作成する。作成した主成分を用いることで、脳波の感情ごとの性質の違いを考慮した感情判断を行うシステムを実現する。

† 同志社大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Doshisha University

‡ 同志社大学 理工学部
Faculty of Science and Engineering, Doshisha University

6.1 脳波データの主成分分析

感情・脳波取得実験により取得した被験者18名の脳波データ2512個を、喜び・怒り・悲しみ・感情なしの4グループに分ける。グループ分けを行った脳波データ群から、各感情グループのデータ行列 X を作成する。データ行列 X の式を式(3)に示す。例えば、データ行列 X の要素 β_{37} は脳波データ3個目の電極7番目の β 波における電圧値を示す。また列は42個の脳波データの要素、行は各感情の M 個の総データとなる。

$$X = \begin{bmatrix} a_{11} \beta_{11} \theta_{11} & a_{12} \beta_{12} \theta_{12} & \cdots & a_{14} \beta_{14} \theta_{14} \\ a_{21} \beta_{21} \theta_{21} & \cdots & \cdots & a_{24} \beta_{24} \theta_{24} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ a_{M1} \beta_{M1} \theta_{M1} & \cdots & \cdots & a_{M4} \beta_{M4} \theta_{M4} \end{bmatrix} \quad (3)$$

作成した4つデータ行列に対し主成分分析を行い、各感情の特徴量を抽出する。ここでの特徴量とは主成分分析での主成分を指し、主成分から多変量データに対する主成分得点を求めることが可能である。例えば、喜びのデータ行列から抽出をした主成分は喜びの感情の指標となり、その主成分に脳波データを入力した際、求めた主成分得点が高いということは、その脳波は喜びの感情であるといえる。本稿では、累計寄与率が80%に達するところまでの主成分を採用する。

6.2 主成分分析を用いた感情判断手法

感情判断を行う際、6.1節で作成した感情ごとのデータ行列から求めた主成分を用いる。求めた感情ごとの各主成分に、感情判断を行う脳波データを入力する。出力される各主成分の主成分得点と、それに対応する寄与率を掛け合わせる。主成分得点と寄与率を掛け合わせたものの総和を求め、感情の得点とする。これを喜び・怒り・悲しみ・感情なしの4感情に対して行う。求めた4感情の得点の大小を比較し、最も得点の高い感情を入力脳波データの感情として出力した。

主成分得点に対応する主成分において、元の多変量データの中で相対的にどの順位に位置するかを示しているものである。そのため、例えば怒りのデータ行列から求めた主成分得点と喜びのデータ行列から求めた主成分得点とを比較することはできない。本稿では異なる主成分同士の主成分得点の比較を行うために非線形正規化を行う。主成分得点の非線形正規化は式(4)を用いる

$$f(x) = \frac{\text{Component Scores}_x - \text{Component Scores}_{\min}}{\text{Component Scores}_{\max} - \text{Component Scores}_{\min}} \quad (4)$$

なお式(4)のComponent Scoresとは得点のことを指す。得点の最大値であるComponent Scores_{max}および、最小値であるComponent Scores_{min}は入力する脳波データの脳波特徴量の最大値と最小値を用いて求める。

各感情の得点を求める式を式(5)に示す。 n は採用した主成分の数、 z は各得点、proportionは各主成分に対応する寄与率を指す。寄与率の異なる主成分は保持する情報量が異なる。したがって、寄与率の異なる主成分を同等に扱うため、重みとして主成分に対応した寄与率を掛け合わせている。

$$\text{Score} = \sum_{i=1}^n z_i \times \text{proportion}_i \quad (5)$$

7 評価実験

7.1 実験方法

本稿では2512個(喜び1100個、怒り120個、悲しみ678個、感情なし614個)の脳波データを用いて、本手法のシス

テムにより感情判断を行い、正解率を求めた。感情判断の際に用いる主成分は、入力する脳波データの被験者の脳波データを除いたものを用いて求める。この理由として、入力する脳波データの被験者の脳波データを含み主成分分析を行うと、主成分にその被験者の脳波データの特徴が含まれてしまう。そのため、その主成分を感情判断に用いると、精度が向上する恐れがあり、正確な精度を得られないからだ。

7.2 精度評価

実験の結果、27.87%の精度が得られた。既存手法の精度と比較した結果を図1に示す。また感情別の正解数、正解率、および評価データ数を表1に示す。

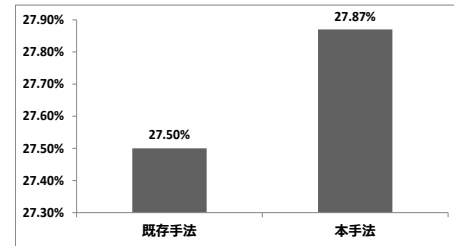


図1 精度の比較

表1 感情別の精度の比較

		怒	無	悲	喜
正解率	既存手法	5.1%	39.8%	21.9%	33.2%
	本手法	8.3%	48.2%	32.6%	15.7%
正解数	既存手法	6	224	148	365
	本手法	10	296	221	173
評価データ数		120	614	678	1100

8 考察

本手法における精度は既存方式を上回る精度が得られた。感情ごとに精度の比較を行うと、怒り、喜びが悲しみ、感情なしと比べて低い精度となった。この結果から、怒りと喜びの特徴抽出が正確に行えていないといえる。怒りの場合、データ数が他の感情と比べて少ないため、特徴抽出を行うに十分なデータ数が不足し、主成分に怒りの特徴が反映されなかったと考える。また、主成分分析ではデータ数が多いほど信憑性の高い主成分を得ることができる。しかし、喜びの感情は他の感情に比べ、最もデータ数が多かったことから、喜びの脳波データに信憑性の低い他の感情のデータや雑音などが含まれているのではないかと考える。そのため、特徴抽出が正確に行えず、低い精度となった。

9 おわりに

本稿では主成分分析により求めた、感情ごとの主成分を用いた脳波の特性を考慮した感情判断を行った。本手法の精度は27.87%と低く、精度の向上が必要といえる。また、脳波は取得する際、筋電や心電、電気の周波数による影響を受けやすく、雑音を含まない脳波を取得することが困難である。そのため本稿で用いた脳波データには、雑音が含まれている可能性が高い。そのため、主成分分析の分析結果をより詳細に分析し、雑音除去を行うことにより、感情判断の精度は向上すると考える。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(若手研究(B)24700215)の補助を受けて行った。

参考文献

- [1] 泉啓太, 芋野美紗子, 土屋誠司, 渡部広一“脳波知識ベースを用いた感情判断方式”, FIT2011, J-050, pp.655-656, 2011.
- [2] 石村貞夫, “すぐわかる多変量解析”, 東京図書株式会社(1992)