

A4-5 脳波情報を用いた情動計測システムの構築 およびファジィ情動推論実験

福井大学 工学部 知能システム工学科
本間 雄仁 (指導教官：前田 陽一郎)

1 緒言

最近のロボット開発には人間の心理状態まで理解できるほど密なコミュニケーション能力が必要とされている。このような技術はヒューマン・エージェント・インタラクション (HAI) と呼ばれる研究分野にも発展している。HAI における感情研究は、これまでの哲学や心理学分野からだけでなく、医学的・工学的なアプローチによってロボットなどに関する感情研究が行なわれている。

武者ら [1] は感性スペクトラム分析法を用いて、脳波を解析することで感情の変化を読み取る装置を開発している。これは人間の感情の起伏を脳波の波形を通して捉え解析する手法である。他にも人間の脳波情報から被験者の精神状態を読み取り、被験者がよりリラックスする動作を AIBO が行なうよう制御するシステムの開発を高野ら [2] が行なっている。本研究室でも、舞踏学の分野でよく知られているラバン理論に基づいて人間の動作の身体的特徴量を用いてファジィ推論によって基本心理尺度値を求め、ラッセルの円環モデルから情動推論を行う研究 [3] を行なってきた。

本研究では、人間の脳波情報から情動出力が可能な情動計測システムを構築し、ファジィ情動推論実験においてこれまでアンケートで行なってきた感性評価手法の代わりにこのシステムを用いることで、より客観的にファジィ情動推論システムの出力の妥当性を検証することを目指す。情動計測システムにおいて人間の脳波情報から抽出された特徴量に基づき基本心理尺度値を求め、ラッセルの円環モデルにより感情値を算出する。またこのシステムを用いて人間を対象とした情動計測実験を行ない、システム出力の妥当性を考察する。さらにその後ファジィ情動推論システムに適用して検証実験を行なったので、その結果についても報告する。

2 脳波の持つ情報

脳波は人間の精神状態や意識状態に伴い、規則的な変化を見せる。また脳波は周波数域によって分類することができ、それらと精神状態や意識状態には相関がある (表 1 参照)。

脳波の測定は脳波計を用いて行なう。測定した原脳波データに高速フーリエ変換を行なうことで、各周波数域ごとの脳波の強さがわかる脳波のパワースペクトルデータを得ることができる。本研究ではこのような脳波の強さや周波数による特徴を基に情動計測システムを構築していく。なお本研究では、被験者が動きながらも脳波測定が可能であり、高速フーリエ変換処理も行なえる脳波計であるブレインビルダーユニット (脳波開発研究所 製) を用いた。

表 1: 脳波の区分

分類	周波数域	精神状態・意識状態
δ波	0(Hz) 以上 4(Hz) 以下	深い眠りに入ったときなど
θ波	5(Hz) 以上 8(Hz) 以下	入眠初期のうとうとした状態など
α波	9(Hz) 以上 13(Hz) 以下	リラックスしているときなど
β波	14(Hz) 以上 23(Hz) 以下	集中しているときやイライラしているときなど

3 脳波情報を用いた情動計測システム

本研究では、極めてシンプルな脳波計で簡易的な情動計測手法を提案することを目的としている。今回構築したシステムは、図 1 の手順に沿って人間の脳波より情動計測を行なう。

3.1 脳波情報に基づく特徴量の計算

脳波計で計測した値を基に脳波特徴量を算出する。本研究における脳波特徴量とは、δ波、θ波、α波、β波の全体に対する強さの比率であり、それぞれの脳波に対し P_δ 、 P_θ 、

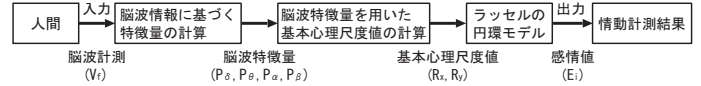


図 1: 情動計測アルゴリズム

P_α 、 P_β で表される。ここでは例として α 波に対する脳波特徴量 P_α を求める過程を示す。 $V_f[\mu V]$ を周波数 $f[Hz]$ における脳波の強さ、 α 波の強さの重心を G_α とすると、 G_α は式 (1) によって求められる。同様に G_δ 、 G_θ 、 G_β を求め、式 (2) によって重心の総和を求める。以上の数値と式 (3) を用いることで P_α が算出できる。また、 P_δ 、 P_θ 、 P_β についても同様である。

$$G_\alpha = \frac{\sum_{f=9}^{13} V_f f}{\sum_{f=9}^{13} f} \quad (1)$$

$$G_{sum} = G_\delta + G_\theta + G_\alpha + G_\beta \quad (2)$$

$$P_\alpha = \frac{G_\alpha}{G_{sum}} \quad (3)$$

この脳波特徴量は、特定の周波数域の脳波の強さが脳波全体の強さに対してどれだけの割合を占めているかを表した値である。この値を用いることで、異なる周波数域の脳波間の比較なども容易に行なうことができるようになる。

3.2 脳波特徴量を用いた基本心理尺度値の計算

脳波特徴量に基づき、式 (4) と式 (5) の計算により基本心理尺度値を求める。基本心理尺度値とは、本研究の情動推論システムで用いられるものでラッセルの円環モデルにおける「快 (pleasure)-不快 (unpleasure)」と「覚醒 (arousing)-眠気 (sleepy)」の 2 軸に対応する値である。

- 「快-不快」の基本心理尺度値 R_x の導出

$$R_x = k_\alpha P_\alpha + k_\beta P_\beta + k_\theta P_\theta + k_\delta P_\delta \quad (4)$$

- 「覚醒-眠気」の基本心理尺度値 R_y の導出

$$R_y = m_\delta P_\delta + m_\beta P_\beta + m_\theta P_\theta + m_\alpha P_\alpha \quad (5)$$

ここで R_x は値が正であれば「快」、負であれば「不快」を表し、 R_y は値が正であれば「覚醒」を、負であれば「眠気」を表す。ここで k 、 m は任意の定数であり、表 1 に代表される脳波と情動の関係などを基に、一定の規則に従い人為的に決定する。

3.3 ラッセルの円環モデルに基づく感情値の計算

ラッセルはすべての感情が「快 (pleasure)-不快 (unpleasure)」と「覚醒 (arousing)-眠気 (sleepy)」の 2 次元で表される平面上に円環状に並んでいるとする円環モデルを提唱した。本研究における情動計測システムでは、決定されたベクトルがラッセルの円環モデル上のどの象限に存在するかによって「喜び」、「怒り」、「悲しみ」、「安らぎ」の情動を判定する。式 (6) における E_i は式 (7) で得られるベクトル

ルの向きである θ が各象限の中央方向 (45° 方向) であるほど、かつ原点までの距離が大きいほど値が大きくなるように設定した感情値を表す。

$$E_i = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} |\sin(\pi - 2\theta)| \quad (6)$$

$$\theta = \arctan \frac{R_y}{R_x} \quad (7)$$

4 ラバン理論に基づく情動推論システム

本研究における情動推論は図2の手順に沿って行なう。なお、当研究に用いる生物型ロボットは SONY 製のエンタテインメントロボット AIBO を使用した。

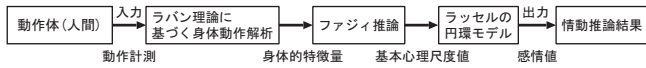


図 2: ファジィ情動推論アルゴリズム

4.1 ラバン理論に基づく動作解析

4 色のカラーマーカーを被験者の頭・両手・腰部に付け AIBO のカメラで撮影、色抽出を行なう。その画像からラバン動作解析に必要な値を算出する。

また今回用いる Effort-Shape Description はラバン理論の中でも動きの質を記述する際に有用であるとされ、Effort は 4 種類、Shape は 3 種類の計 7 種類の要素で構成されている。今回は身体的特徴量として、Time Effort(重心位置の移動速度:Lv)・Table-Plane Shape(領域面積:La)・Door-Plane Shape(重心高さ:Lp) を画像処理で求め、使用した。

4.2 ファジィ情動推論ルール

このシステムではファジィ推論の入力値に動作解析によって求めた身体的特徴量を用いる。今回の実験に用いたファジィルールを図3に示す。(a)、(b)、(c) はそれぞれ L_v 、 L_a 、 L_p に対応するメンバーシップ関数である。また (d) はラッセルの円環モデルにおける「快-不快」の基本心理尺度値 R_x に、(e) は「覚醒-眠気」の基本心理尺度値 R_y に対応する後件部シングルトンである。

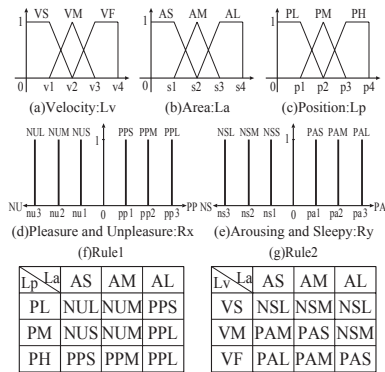


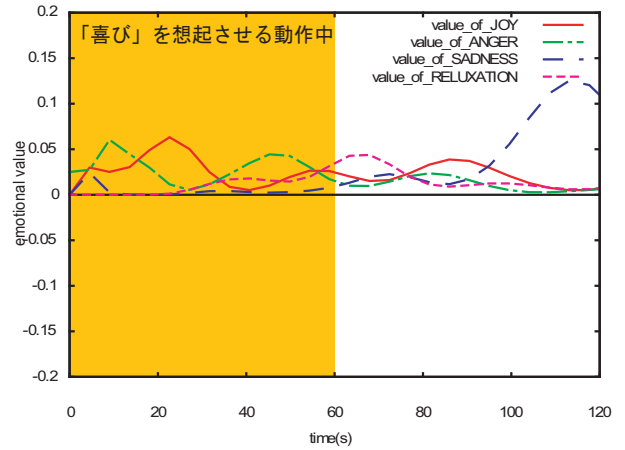
図 3: ファジィ情動推論ルール

4.3 ラッセルの円環モデルによる感情値の導出

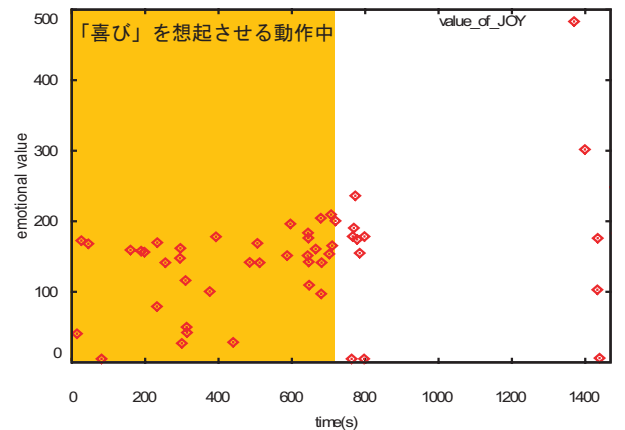
ファジィ情動推論ルールによって得られた R_x と R_y を入力として感情値を求める。この際の操作は 3.3 節の操作と同様であるのでここでは省略する。

5 情動計測および情動推論実験

本研究で構築した情動計測システムは、情動推論システムにおいて感性評価を行なう際に客観的な評価を行なうために構築した。本実験は脳波情報を用いた情動計測システムの出力と、ラバン理論に基づくファジィ情動推論システムの出力を比較、検討するために行なったものである。一例として「喜び」の情動についての実験結果のグラフを図4に示す。



(a) 情動計測システムの出力



(b) ファジィ情動推論システムの出力

図 4: 実験結果

上段の (a) のグラフは脳波を用いた情動計測システムによる出力結果であり、下段の (b) のグラフがファジィ情動推論システムによる出力である。例に挙げた図4では、実際に被験者が動作している間 (網掛部) の2つのシステムの出力が「喜び」と判定しており、比較的妥当な結果が得られたと考えられる。

6 結言

本研究は、極めてシンプルな脳波計を用い、より簡易的な情動計測手法を提案することを目的として行なった。構築した情動計測システムとファジィ情動推論システムによる検証実験では、2つのシステムの出力が比較的似た情動を判定することを確認することができた。しかしながら、用いた脳波情報は各周波数の脳波それぞれが独立したデータのみであり、これらの相関については用いなかったが、これらの脳波情報も用いることでより正確な情動出力を得ることができるとと思われる。また情動推論システムについては、より身体動作と脳波の間に相関が得られるように、ファジィ推論のメンバーシップ関数や後件部シングルトンの値をさらにチューニングしていく必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 武者利光, "「こころ」を測る," 日経サイエンス, Vol.26, No.4, pp.20-29 (1996)
- [2] 高野航, 大倉典子, "脳波を利用した AIBO の動作制御システムの開発," Proceedings of the 1st Symposium on KANSEI Robotics, pp.33-36 (2006)
- [3] 前田陽一郎, 田辺奈々, "生物型ロボットによるインタラクティブ情動コミュニケーションの基礎研究," 計測自動制御学会論文集, Vol.42, No.4, pp.359-366 (2006)