

ヒューマンインタラクションのための自己組織化マップによる ロボットの情動行動生成手法

Generation Method of Robot Emotional Behavior by Using Self-Organizing Map for Human Interaction

滝 僚平* 前田 陽一郎 高橋 泰岳

Ryohei Taki, Yoichiro Maeda, and Yasutake Takahashi

福井大学大学院 工学研究科

Graduate School of Engineering, University of Fukui

Abstract: In this research, we have proposed Interactive Emotion Communication (IEC) which is a bidirectional communication based on emotional behavior between human and robot. Because a robot emotional behavior has been defined uniformly until now, a robot has realized only the monotonous interaction. Accordingly, in this paper, robot emotional behavior generation method by self-organizing map is proposed. In addition, the transition of robot emotional behavior based on the classified emotional behavior map was evaluated.

1 はじめに

近年、ペットロボットやエンターテインメントロボットなど様々な場面で、ロボットと人間が関わる機会が増加している。このような環境では、ロボットには人間が伝えたい意図を読み取り、自分の意図を人間に伝える能力が必要となる。ロボットやエージェントと人間とのインタラクションに関する研究は、HAI(Human-Agent Interaction) や人間共生システム (Human Symbiotic System) と呼ばれる分野で活発に進められている [1-5]。しかしながら、人間と円滑な意思疎通を図るロボットが存在しておらず、技術も確立されていないというのが現状である。

筆者らは、ノンバーバル・コミュニケーションの中から身体動作を取り上げ、ロボットと人間が情動を伴う行動によって双方向コミュニケーションを図る「インタラクティブ情動コミュニケーション」(Interactive Emotion Communication: IEC) を提案してきた [6-8]。IEC により両者が相互に情動を伝え合うことにより、人間の情動が増幅・緩和され、ロボットの対人親和性を高めることができる。

IEC の研究では、人間の身体動作をラバン理論に基づいて解析し、ファジィ情動推論 (Fuzzy Emotion Inference System: FEIS) を用いて基本心理尺度値を求め、そこから得られた値を Russell の円環モデルに適用して、人間の情動を推定する。また、人間とロボットの

情動反応の組み合わせを検証し、個人の嗜好を考慮したロボットの「有効反応モデル」を構築 [7] し、さらにロボットと人間のインタラクションから人間の情動遷移モデルを構築してきた。しかしながら、これまではロボットの情動行動を画一的に決定していたため、単調なインタラクションしか実現できなかった。そこで本研究では、人間とロボットが自然なインタラクションを行う上で重要な要素の一つであるロボットの情動行動生成に焦点を当てる。本稿ではロボットの情動行動をデータマイニング手法である自己組織化マップ (Self-Organizing Map: SOM) を基に獲得する方法について提案する。そしてクラスタリングされた情動行動マップを基に、ロボットの情動行動の遷移を評価した。

2 インタラクティブ情動コミュニケーション

本研究室では言語によらないノンバーバル・コミュニケーション手法の一例として、人間とロボットが情動行動を媒介としてコミュニケーションを行う「インタラクティブ情動コミュニケーション」(IEC) を提案している。IEC をロボット上で構築するには、以下に述べる「情動認識」、「情動生成」、「情動表現」の3つのプロセス (図 1 参照) をロボットに搭載する必要がある。

- a) 情動認識: 人間がロボットに示した情動行動をロボットが視覚で認識を行う。

*連絡先: 福井大学大学院 工学研究科
〒 910-0017 福井県福井市文京 3 丁目 9-1
E-mail: rtaki@ir.his.u-fukui.ac.jp

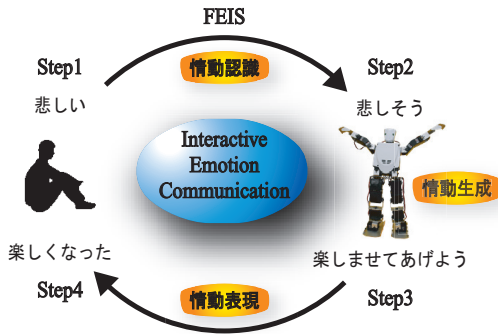


図 1: インタラクティブ情動コミュニケーション (IEC)

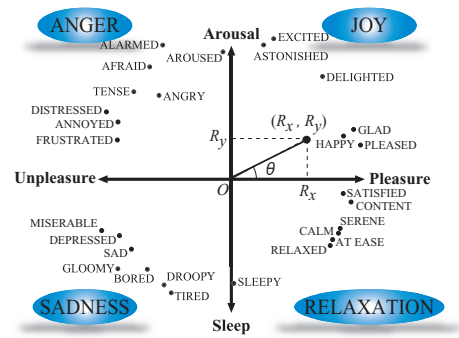


図 2: 4 情動に分類したラッセルの円環モデル

- b) 情動生成: 人間の情動を緩和、増幅させるようなロボット自らの情動を生成する。
- c) 情動表現: 生成された情動を人間に対して行動で示す。

図 1 では、人間が悲しんでいる様子を察知したロボットが、人間を情動行動によって励ます例を示している。上記に挙げた 3 つのプロセスをロボットに埋め込み IEC を実現することで、人間とロボットの情動のやり取り、および心のコミュニケーションが可能となり、人間に与える親しみを増すことができると考えられる。

2.1 ラッセルの円環モデルに基づく基本情動

J. A. Russell によって提唱された円環モデル [9] は、「快-不快」、「覚醒-眠気」の 2 軸で表現される 2 次元平面上に、全ての感情を円環状に並べて表現する感情モデル (図 2 参照) である。Witvliet と Vrana ら [10] は、ラッセルの円環モデルを代表とするグラフ軸を 45 度回転させることにより、各象限に基本的な情動を当てはめることができるとしている。

以上のことから本研究では、円環モデルの第 1 象限から第 4 象限を図 2 のように JOY、ANG(ANGER)、SAD(SADNESS)、REL(RELAXATION) と置き、これら 4 つの情動を基本情動とした。またこれ以降、ロボットが表現した情動行動をそれぞれ、JOY-R、ANG-R、SAD-R、REL-R と略記する。

2.2 ラバン理論による身体動作表現

ラバン理論とは R. Laban によって考案された身体動作の特徴量をマクロに捉え、それらを記述する方法 [11] である。Effort-Shape Description、Structural Description、Motif Description の 3 つの記述方法があり、中でも Effort-Shape Description は人間の身体動作を感性的特徴量によって分類する際に有用である。Laban は人間の身体動作には、メリハリがあり活発な動

表 1: ロボットの身体動作を構成する Effort と Shape

Form	Fighting Form	Indulging Form
Time Effort	Sudden	Sustained
Flow Effort	Bound	Free
Table Plane	Enclosing	Spreading
Door Plane	Ascending	Descending

きを伴う戦闘 (Fighting) 形態と、優しく流れるような動きを伴う陶醉 (Indulging) 形態の 2 極構造があると考え、それらを細分化する際に Effort-Shape Description という概念をまとめた。

本研究では、Effort と Shape の中からロボットが表現可能な Time Effort、Flow Effort、Table Plane Shape (Door Plane Shape) の要素を使用することにする。それぞれの構造について表 1 にまとめる。

3 情動行動のクラスタリング実験

本研究ではロボットの情動行動を自己組織化マップ (SOM) によってクラスタリングする方法を提案する。また出力されたマップよりロボットの情動行動反応を決定し、ロボットの情動行動の推移を評価した。

3.1 ロボットの情動行動

本実験はロボットの人間に対する情動行動反応を決定するために行われる。そのためにロボットの情動行動を構成する要素を定義する必要がある。実験で使用したのはヴイストン株式会社の小型ヒューマノイドロボット Robovie-X である。本研究では手法の有効性を確かめるため、ロボットの基本行動は、ただ単純に手を体の側面で上げ下げする動作とし、この動作を複数の要素で多様化表現するものとする。

本実験ではラバン特徴量の中から、表 1 で示したように 4 つの要素を使用する。Time Effort は時間的な意

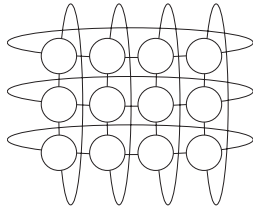


図 3: トーラス型 SOM の概念図

味を含んでいるため、1つの動作の周波数 v であるとし、Flow Effort は動作が拘束されている、もしくは自由な状態にあることを意味しているため、ロボットの手の振幅 h であると定義した。Table Plane Shape と Door Plane Shape は水平面と垂直面の広がりであるため、2つの Shape を組み合わせロボットの投影面積 s であると定義した。そして、各要素を [大]、[中]、[小] の3つに分類し、ロボットの情動行動の多様化を行う。これらの値はロボットを実際に動かし、転倒しない限界の値を [大]、[小] とおき、それらの中間値を [中] と定義した。例えば [s 小] は、しゃがんで縮こまった姿勢であり、[s 大] は両足を広げ少しのけぞるような姿勢、[s 中] は [s 小] と [s 大] の中間の姿勢であることを示している。

情動行動を構成する3種類の要素 s 、 h 、 v が、それぞれ [大]、[中]、[小] の3つに分類されているため、合計27通り (= 3^3) の情動行動が事前にユーザによって作成される。この情動行動を被験者に提示し、それぞれ4つの情動の得点を0から4点の5段階で評価してもらう。ある1つの情動行動がJOY-Rにも見えるが、少しだけANG-Rにも見えるとき、(JOY-R) 4、(ANG-R) 2、(SAD-R) 0、(REL-R) 0のように採点してもらう。この得点を次節で述べるSOMへ入力し、情動行動のクラスタリングを行う。

3.2 SOMによる情動行動のクラスタリング

本研究ではトーラス型SOM [12] と呼ばれる手法によって、ロボットの情動行動のクラスタリングを行った。図3のように、トーラス型SOMとは通常のSOMと異なり上下または左右が連結したトーラス状のSOMのことである。この手法を用いることにより、学習中にマップの端の情報が欠損することを防ぐことができる。さらに、展開したとき長方形のマッピングになるので一度に全体を見渡すことができる。

トーラス型SOMへは3.1節で述べた被験者のアンケート結果を入力する。これを用いて被験者のアンケート結果のクラスタリングを行い、ロボットの情動行動マップを作成する。そうすることで、マップ上に4つの情動の強度が表れる混合情動のマッピングが生成さ

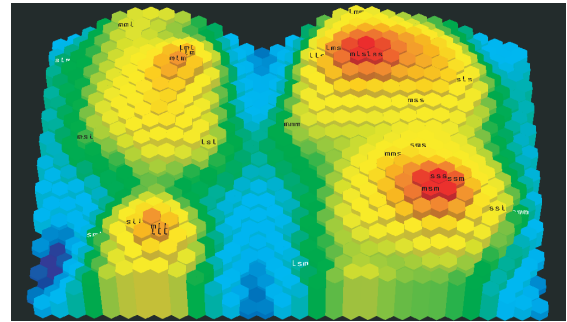


図 4: トーラスSOMにより出力された情動行動のマップ



図 5: 各情動行動が最も強い時のSOM出力

れ、次の段階であるロボットの情動行動生成で利用できる。

3.3 実験結果

本実験は27通りの情動行動を手動で作成し、各情動行動を被験者に採点してもらい、SOMにかけてクラスタリングを行うという手順で進められた。まずユーザによって事前に作成された27通りの情動行動を20代の男女10名に提示し、アンケート調査を行った。各情動行動を提示する順番は被験者ごとに順不同であり、被験者が採点できるまで繰り返し提示した。アンケート結果は0から1の値に正規化された後、SOMに入力した。

トーラス型SOMにかけた情動行動のマップを図4に示す。六角形の要素領域のうち、ラベルの書かれた要素領域はノードを示し、何も書かれていない要素領

域はノード同士の距離をグレースケールで表している。ラベルは [大]、[中]、[小] を示す l 、 m 、 s の3種類の記号で構成され、 $[s \text{ 大}][h \text{ 中}][v \text{ 小}]$ の動作は lms と記述されている。各4情動において最も強い出力を示したときの混合感情のベクトルを図5に示す。これらの図では、棒グラフの左から順にJOY-R、ANG-R、SAD-R、REL-Rの強度を示している。

図5を見ると、JOY-R、SAD-R、REL-Rが最も強い時、他の情動は強くて1/2程度の値であることが確認できる。ANG-Rのみ、同時にJOY-Rが強く出力されており、他の点においてもANG-Rが突出して強いという点は見られなかった。これよりANG-Rの動作が今回用意した情動の中では最も識別が困難であり、多くの被験者がロボットの表現していた情動とは異なる意図を受け取る可能性があることが示唆された。またANG-R付近の山には面積が異なるものがほぼ近くに配置され、また突出して大きい強度も出力されておらず、ANG-Rの動作が最も情動生成しにくいと考えられる。しかし、面積以外の手の振幅と手の周波数、特に手の周波数が集中しているため重要な要素であることが確認できる。以上のことからSOMによって本来のクラスタリング能力により、ロボットの情動行動の種類の分析についても可能になることが分かった。

4 情動行動生成実験

実験によって得られたロボットの情動行動マップをもとに、ロボットの実際の情動行動を生成する手法について記述する。SOMによってJOY-R、ANG-R、SAD-R、REL-Rの4つの情動の強度が混在したマップが作成できたので、これを利用して混合情動も表現可能な情動行動の生成を試みる。

4.1 情動行動の生成方法

表現させたい情動(目標情動値: \bar{E})が必ずしもマップ上に存在するとは限らないため、値が最も近いノード(最近傍目標情動値: \bar{E}^{near})を検索して、そのノードを中心に情動行動を生成する。だが、入力値以外の \bar{E}^{near} は周波数などの情動行動の要素を持っておらず、入力した情動行動以外のモーションを作成するためには、あらかじめ与えた sml のような27通りの情動行動(参照情動値: E_k [$k = 1, 2, \dots, 27$])を利用する。 \bar{E}^{near} 近傍の E_k の中で、最も \bar{E}^{near} に近い参照情動値(最近傍参照情動値: E_m^*)から順に最低3点(近傍参照情動値: E_m^{near})を選択し、重みを付けて統合させる。以下に情動行動生成に使用する記号と手順をまとめる。

- n : マップに存在する全ての座標の番号 ($n = 1, \dots, N$)

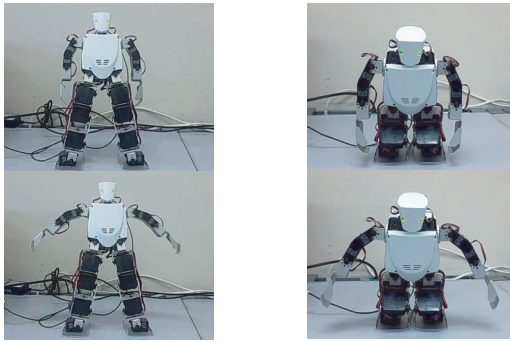
- k : マップに存在する参照情動値 E_k の番号 ($k = 1, \dots, 27$)
- m : マップに存在する近傍参照情動値 E_m^{near} の番号 ($m = 1, \dots, M$)
- $E_{i,n}$: 全ノード中の n 番目のノードが持つ各情動値 ($i = J, A, S, R$)
- \bar{E}_i : 目標情動値の各情動値(目標情動値) ($i = J, A, S, R$)
- $\bar{P}^{near}(x_p, y_p)$: 最近傍目標情動値 \bar{E}^{near} の座標
- $P_k(x_k, y_k)$: k 番目の参照情動値 E_k の座標
- $D_n^{\bar{E}}$: 目標情動値 \bar{E} とマップに存在する n 番目のノード値の距離
- $D_{\min}^{\bar{E}}$: $D_n^{\bar{E}}$ の中で最も値が小さいもの
- $D_k^{\bar{E}^{near}}$: 最近傍目標情動値 \bar{E}^{near} とマップに存在する k 番目の参照情動 E_k まで座標距離
- $w_m^{\bar{E}^{near}}$: $D_k^{\bar{E}^{near}}$ の値を昇順に保存したもの ($m = 1, \dots, M$)
- w_m : m 番目の近傍参照情動値 E_m^{near} の重み ($m = 1, \dots, M$)
- $B_{j,m}$: m 番目の参照情動値 E_k の基本面積、手の振幅、周波数の値 ($j = s, h, v$)
- B_j : 生成される情動行動の基本面積、手の振幅、周波数の値 ($j = s, h, v$)

1. 表現させたい目標情動値 \bar{E}_J 、 \bar{E}_A 、 \bar{E}_S 、 \bar{E}_R を決定する。
2. 目標情動値 \bar{E} と全ての座標の情動値 $E_{i,n}$ との距離 $D_n^{\bar{E}}$ を計測し、 $D_{\min}^{\bar{E}}$ を発見する。ここでもし目標情動 \bar{E} と入力した参照情動 E_k が同じノードに存在したときは、以降の計算を行わず E_k を発見するものとする。

$$D_n^{\bar{E}} = \sqrt{\sum_i (\bar{E}_i - E_{i,n})^2} \quad (1)$$

$(i = J, A, S, R; n = 1, \dots, N)$

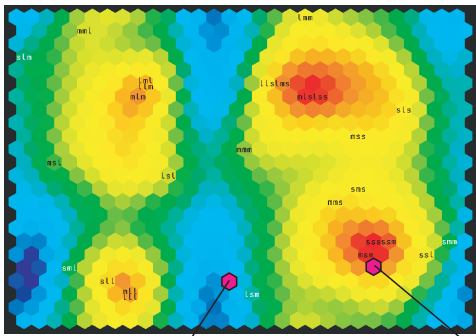
3. 目標情動に最も近い $D_{\min}^{\bar{E}}$ の距離にある最近傍参照情動のノード E_m^* を発見する。もし複数のノードが発見されたときは、乱数によりどちらか一つが選ばれる。



3回繰り返すまでに約4秒

3回繰り返すまでに約5秒

図 7: 生成されたロボットの情動行動
(左: 実験 1 右: 実験 2)



実験1の情動行動 実験2の情動行動

図 8: 最近傍目標情動のマップ上の位置

分類する方法 [8] ならば、飛び抜けた値を軽減する効果があり、どの方法を用いるかはケースバイケースで判断する必要がある。

5 おわりに

本研究では IEC の中でもロボットの情動を伝えるのに重要な行動生成に注目し、事前にアンケートを行って評価した情動行動から SOM によって新しい情動行動を生成する手法について提案した。SOM によって各情動行動の出力も学習することで、ただ単純な情動の発生ではなく、混合情動についても考慮できる可能性を見出すことができた。今後の IEC において、ロボットにどの情動をどれだけの強さで出力するについての命令を出すことで情動行動を生成し、今までより自然なインタラクションを行っていく予定である。そのためにも被験者の数、参照情動の質・量、ロボットの情動行動を決定する動作要素についても検討し、IEC の完成度を上げる必要がある。

参考文献

- [1] 澤井夏美, 樽松理樹, 羽倉淳, 藤田八ミド, “韻律に基づく音声からの感情推定に関する研究,” 電子情報通信学会総合大会講演論文集, S103-S104 (2007)
- [2] Y. Matsui, et al., “A Model for Generating Facial Expressions using Virtual Emotion based on Simple Recurrent Network,” *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.14, No.5, pp.453-463 (2010)
- [3] 中田亨, 森武俊, 佐藤知正, “ロボットの身体動作表現と生成される印象とのラバン特徴量を介した定量的相関分析,” *日本ロボット学会誌*, Vol.19, No.2, pp.1-8 (2001)
- [4] 矢野良和, 山口淳嗣, 道木慎二, 大熊繁, “人間の感情評価をモデル化した感情表現ルールに基づく感情動作生成,” *知能と情報*, Vol.22, No.1 pp.39-51 (2010)
- [5] 日本知能情報ファジィ学会誌特集号「人間共生システム」, *知能と情報*, Vol.21, No.5 (2009)
- [6] 田辺奈々, 前田陽一郎, “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 (2004)
- [7] R. Taki, Y. Maeda, and Y. Takahashi, “Personal Preference Analysis for Emotional Behavior Response of Autonomous Robot in Interactive Emotion Communication,” *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.14, No.7, pp.852-859 (2010)
- [8] 滝僚平, 前田陽一郎, “ヒューマノイドロボットの情動行動インタラクションによる人間の情動推移分析,” 第 27 回ファジィシステムシンポジウム, pp.1167-1172 (2011)
- [9] J. A. Russell, “A circumplex model of affect,” *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.39, pp.1161-1178 (1980)
- [10] C. V. O. Witvliet, and S. R. Vrana, “Psychophysiological responses as indices of affective dimensions,” *Psychophysiology*, 32, pp.436-443 (1995)
- [11] R. Laban, *The Mastery of Movement*, Plays, Inc. (1971)
- [12] 伊藤正博, 三好力, 増山博, “トラス状自己組織化マップの学習とその特徴,” 第 16 回ファジィシステムシンポジウム論文集, Vol.16, pp.373-374 (2000)