

J-044

# 感性ロボットの感情空間を用いた表情変化によるインタラクション効果

## Interaction Effects in Facial Expressions of Communication Robot by Using Emotional Space

松井 裕紀<sup>†</sup> 柴田 寛<sup>†</sup> 加納 政芳<sup>‡</sup> 加藤 昇平<sup>†</sup> 中村 剛士<sup>†</sup> 伊藤 英則<sup>†</sup>  
 Yuki Matsui Hiroshi Shibata Masayoshi Kanoh Shohei Kato Tsuyoshi Nakamura Hidenori Itoh

### 1 はじめに

人と人との感情のインタラクションにおいて、表情は、言葉と同様に重要な要素を占めている。ロボットとのインタラクションにおいても、人がロボットの感情を判断する材料として、表情が重要であると考えられる。我々はこれまでに、文献 [1] において、恒等写像学習を用いて感情空間を構築し、これを用いて感情的な表情を表出する手法を提案している。また、同文献ではこの手法を評価して、怒り、喜び、驚き、悲しみの4つの感情の表出についての知見を得ているが、異なる2つの感情間の表情遷移については触れていない。本稿では、感情空間を利用した2感情間の表情変化による人への心理的なインタラクション効果について考察する。

### 2 感性会話型ロボット ifbot

ifbot の外観を図1に示す。ifbot は身長 45cm、重さ 9.5kg であり、2つの腕を有し、車輪によって移動する。ifbot は表情表出のために、10のモータおよび101のLEDを持つ。

図2に ifbot の表情表出機構の概要を示す。モータは、首を2軸(同図  $\theta_{N1}, \theta_{N2}$ )、左右の目を2軸 ( $\theta_{E1}^{(L)}, \theta_{E2}^{(L)}, \theta_{E1}^{(R)}, \theta_{E2}^{(R)}$ )、左右のまぶたを2軸 ( $\theta_{L1}^{(L)}, \theta_{L2}^{(L)}, \theta_{L1}^{(R)}, \theta_{L2}^{(R)}$ ) の方向へ動作させる。LEDは、頭部 ( $L_H$ )、口部 ( $L_M$ )、目部 ( $L_E$ )、頬部 ( $L_C$ )、涙部 ( $L_T$ )、耳部に配置される。本稿では、モータの制御パラメータを  $M$ 、LEDの制御パラメータを  $L$  とし、以下の表情制御パラメータ  $S$  を用いて ifbot を制御する。

$$S = (M, L). \quad (1)$$

### 3 感情空間の構築

ifbot の感情を表情にマッピングするために恒等写像学習を利用する。恒等写像学習ネットワークは、5層で構成されており、第3層のユニット数は入出力ユニット数より少なく、砂時計型の形状を有する。恒等写像学習は、入力データを教師信号として与えることで行われる。本稿では、表情制御パラメータ  $S$  を入力データとすることで第3層に表情の特徴を抽出し、この特徴空間を2次元感情空間として利用する。ネットワークのユニット数を 15, 45, 2, 45, 15 とし、怒り、驚き、喜び、悲しみの4つの作り込み表情データを使用して学習を行った。

### 4 感情空間探索による表情変化手法

ロボットの表情を継続的に変化させるためには、複数の表情をなんらかの方法で滑らかに補間する必要がある。一般には、いくつかの表情をデザインして、それらの表情を線形関数や非線形関数を用いて補間することが行われる。しかしながら、この方法だと、手間がかかる上、2つのデザインされた表情が大きく異なると、その間に補間される表情が、デザイナーの意図とは異なる表情となる恐れがある。そこで、本稿では、感情空間を用いた表情変化手法を提案する。まず、開始表情および目標表情を恒等写像学習ネットワークに入力して、第3層から感情空間上のそれぞれの座標点  $(x_s, y_s)^T$ ,  $(x_e, y_e)^T$  を取り出す。つぎに、この2点を対角線とする正方形を感情空間上に取り、

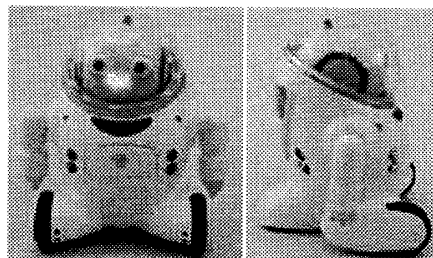


図1 ifbot の概観

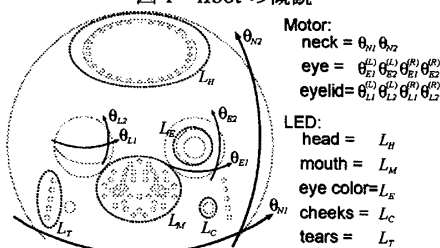
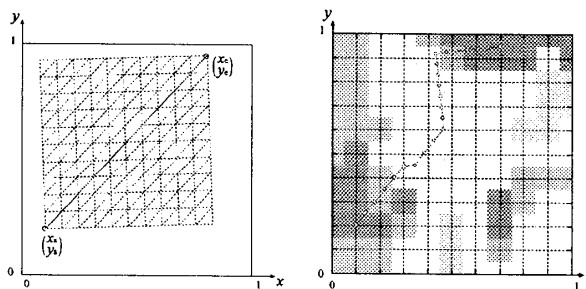


図2 ifbot の表情表出機構



(1) 探索経路の例 (2) 探索結果の例  
 図3 感情空間上の探索経路と探索結果

各辺を  $N$  等分して格子状に区切る(図3(1)参照)。この格子の交点(以下、格子点)から出力される表情を表出表情とする。格子点から得られる表情制御パラメータの変化量(経路コスト)を計算することで、隣り合う格子点で表情変化の少ない経路を探索する。対角上の格子点も隣り合う格子点とする。経路の探索は、動的計画法で行う。隣り合う2つの格子点  $(x_i, y_i)^T$ ,  $(x_j, y_j)^T$  間の経路コスト  $C(i, j)$  は、以下の式で与えた。

$$C(i, j) = \alpha(\beta|M_i - M_j| + (1 - \beta)|L_i - L_j|) \quad (2)$$

ただし、

$$\alpha = \begin{cases} \sqrt{2} & \text{(対角経路の場合)} \\ 1 & \text{(それ以外)} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $M$  はモータの制御パラメータ、 $L$  は LED の制御パラメータ、 $\beta$  はモータと LED の制御値の荷重比を決めるパラメータである。また、 $\alpha$  は対角経路の調整定数である。この経路コストをもとに、経路探索を行い、最低コストの経路  $r(k)$ ,  $k = 0, \dots, K$  ( $K$  は路の長さ) で表情を作成する。以下、比較手法との区別のため、本手法を EI と表記する。

<sup>†</sup> 名古屋工業大学, Nagoya Institute of Technology  
<sup>‡</sup> 中京大学, Chukyo University

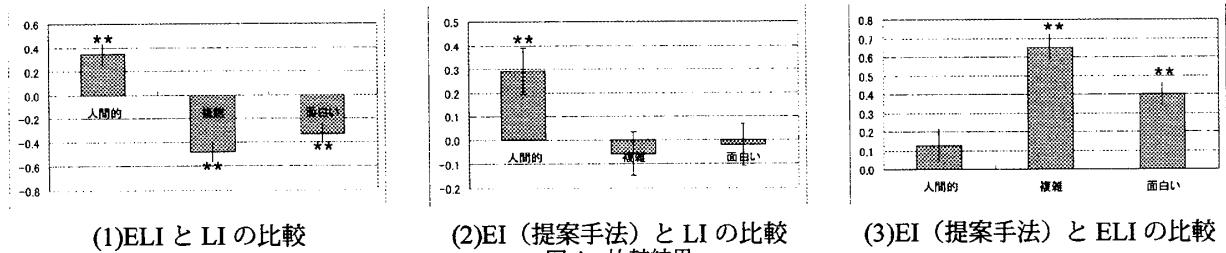


図4 比較結果

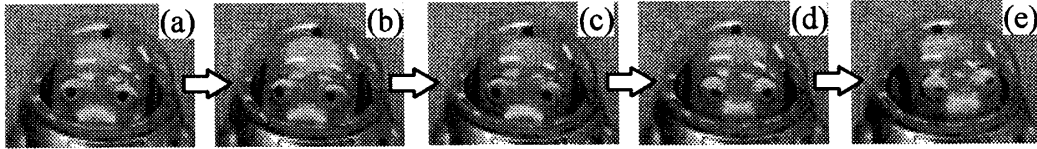


図5 EI (提案手法) による表情生成例

## 5 探索手法の評価

提案する表情変化手法 EI の有効性を確認するために、一対比較法を用いて評価する。

### 5.1 比較手法

**線形補間法 (LI)** モータおよび LED の制御パラメータを線形に変化させて表情を補間する方法を線形補間法 (以下, LI) とする。

**感情空間線形補間法 (ELI)** 感情空間の2点間を直線的に進むことで得られる表情を用いて表情生成する方法を感情空間線形補間法 (以下, ELI) とする。図3の実線 (対角線) が, ELI の経路となる。

### 5.2 評価実験

表情変化を生成する手法 EI, LI, ELI を比較し, EI を用いる意味を考察する。開始・目標表情の組み合わせは, 怒り, 驚き, 悲しみ, 喜びの4表情から得られるすべての組み合わせ, すなわち12通りを考え, それぞれについて3つの手法で表情変化を生成した。アンケートには一対比較法を用い, 生成表情を被験者に呈示し評価した。被験者は, 呈示された2つの表情 (AとB) を比較して, どちらがより「人間的な表情か」「面白い表情か」「複雑な表情か」の設問について回答する。回答は, 「A, ややA, どちらでもない, ややB, B」の5段階とし, 各回答に-2から2のスコア (5点系) を与えた。被験者は, 19歳から27歳の大学生の男女33名とし, 各手法の組み合わせに対して, 198のサンプルを収集した。パラメータは,  $N = 15$ ,  $\beta = 0.3$ ,  $T = 2.0[s]$  とした。

手法対ごとのスコア平均を, 標準誤差つき図として図4に示す。また, 提案手法による表情表出例を図5に示す。

これらの結果において, スコアを  $r$  とするとき, もし, 2つの手法間に差がないとすれば,  $r$  の合計値および平均値  $\bar{r}$  は0になることが期待される。そこで, 平均値が0であるという仮説を立てて有意性を検定する。すなわち, 次式で表される, サンプル数を  $m$  のときの自由度  $m-1$  の  $t$  分布に従うことを利用して検定する [2]。

$$\tau = \frac{\bar{r} \sqrt{m}}{s} \quad (4)$$

ここで,  $s$  は標本標準偏差である。図4には, 危険率1%以下で有意差がある場合には\*\*を記した。

まず, ELIとLIの比較結果 (図4(1)) を見ると, ELIはLIに対して, 人間的な表情変化である ( $p < 0.001$ ) が, 面白くなく ( $p < 0.001$ ), 複雑ではない ( $p < 0.001$ ) 表情という結果を得ている。LIでは, 各部位間での感情表出の制御情報の同期がとれておらず, 2つの感情が混合する場面, もしくは, 2感情以外の表情が表出される場面が多く見受けられた。このような表情が複雑さや面白さへの評価に影響していると考え。他方, ELIでは, 感情空間を利用することによって, 感情間の遷移に違和感の少ない表情表出できるため人間的な表情という評価を得たと

考える。

つぎに, EIとLIの比較結果 (図4(2)) を見ると, EIはLIに対して, 人間的な評価には有意な差が見られつつ ( $p < 0.01$ ), 面白さ, 複雑さについては有意な差は見られなかった。人間的な評価は, ELI同様, 感情空間を用いているので, 感情の混合間の少ない中間的な表情が生成できるため, 高くなったと思われる (図5(c)参照)。LIに対する面白さと複雑さについての評価が, ELIほど低下しなかったのは以下のように理由付けられる。

EIは, 感情空間を探索して, 空間内において表情制御パラメータを可能な限り線形に変化させるものである。そのため, 表情の微小変化に感情のつながりを考慮することができるため, 開始表情と同一の感情をEIよりも長く表出できる。たとえば, 図3(2)では, 右上が開始表情 (悲しみ) であるが, ELIによって線形移動すると, 開始後まもなく喜びの感情領域に遷移してしまう。他方, EIを用いると同図の経路が示すように, 悲しみの表情が継続的に表出される。しかしその結果, 感情領域の外側の経路を選択されることが多くなり, 感情と関連性の低い表情が表出される。これらの表情の表出時間は, 感情的な表情が長く表出されるため, ELIと比較して短くなる。このように, 短い時間内に中間的な表情が表出されることが, 面白さと複雑さの評価を与える要因になったと考える。EIとELIの比較結果については, 上記2つの結果から推察できる結果であった (図4(3))。

以上より, EI (提案手法) は, ELIと同程度の人間的な表情表現に, LIによる表情の面白さと複雑さを付加した手法であるといえる。

## 6 おわりに

本稿では, 恒等写像学習によって構築された感情空間内を, 表情制御値の変化量が最小となる経路選択して表情表出する手法を提案した。実験では, 提案手法は, 表情制御パラメータを線形に変化させる手法の特徴であるエンタテインメント性と, 感情空間を線形に移動して表情を生成する方法の特徴である人間性という2つの特徴を取り入れた表情を表出できることを確認した。

### 謝辞

ifbotは株式会社ビジネスデザイン研究所の製品企画・総合プロデュースのもと, 特に, 形状デザイン, 表情制御メカニズムはブラザー工業株式会社, および, 表情制御ソフトはブラザー工業株式会社, ロボス株式会社, 名古屋工業大学が共同開発した。関連各位に感謝する。

### 参考文献

- [1] 後藤みの理, 加納政芳, 加藤昇平, 国立 勉, 伊藤英則: 感性ロボットのための感情領域を用いた表情生成, 人工知能学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 55-62 (2006).
- [2] 佐藤 信: 統計的官能検査法, 日科技連 (1985).