

他者観測による内部状態と表情の範疇獲得

Categorization of internal state and facial expression
by observing others

○ 渡辺 絢子 (阪大) 正 荻野 正樹 (阪大) 正 浅田 稔 (阪大, 阪大FRC)
Ayako WATANABE, Osaka University, 2-1, Yamadaoka, Suita, Osaka
Masaki OGINO, Osaka University
Minoru ASADA, Osaka University, HANDAI Frontier Research Center

This paper proposes a system that models the human intuitive parenting which is thought to help human children to acquire sympathy with others. The internal state of a robot is constructed based on the psychological judgement space proposed by Russell. A robot can associate its internal state with the visual information of human's facial expression through communication with a caregiver. After association, a robot can evoke its internal state by observing human facial expression.

Key Words: Facial expression, Sympathy, Internal state

1 はじめに

赤ちゃんは先天的に顔に注目、学習し、生後数日の赤ちゃんでも11時間から12時間以上母親と接していると、母親の顔を区別することができるようになる [1]。また、人間がコミュニケーションを行う上で利用しているチャネルの割合は、全体を1とすると顔面表情の重みが最も高く0.55であり、それに対して声の調子が0.38、話の内容は0.17である [2]。このことから、人間は顔面表情から様々な情報を読み取り、コミュニケーションを行っていることが分かる。したがって、ロボットが人間の表情を認識し、また自身の状態に対応した表情を表出することによって、ロボットと人間のコミュニケーションはより人間同士のそれへと近付くと考えられる。

ロボットが人間の表情と自身の表情について学習を行う先行研究として Breazeal et al. の研究 [3] がある。彼女らはロボットにランダムなモータコマンドを出力させ、人間がそのロボットの表情を模倣することによって、ロボットが認識する画像と表情表出のモータコマンドを結びつけ、ロボットによる人間の顔面表情の模倣を可能にした。しかし、ここで実装されたアルゴリズムでは、ロボットは画像入力に応じたモータコマンドを出力しているのみであり、模倣以外のインタラクションへ応用することは困難である。人間とのより自然なインタラクションを実現するためには、模倣以外にも表情を表出させるべきであり、さらにその表情それぞれの意味を単なる画像の違いだけではなく、内部状態に対応した表情のカテゴリの違いで見い出すべきである。そこで本研究では、ロボットが自身の内部状態に基づき、人間の表情についてのカテゴリを獲得するモデルを提案し、人間の表情や状況によって表情が変化するロボットを実装することを目的とする。

人間は幼児の時期に養育者から「直感的親行動 (intuitive parenting) [4]」と呼ばれる行動を受ける。直感的親行動とは、例えば幼児が転倒してしまった時に、養育者は「痛かったね」と幼児に話しかけ、痛そうな表情をする行動のことである。大抵の大人はこのスキルを持っており、この行動を受けることによって、幼児は転倒した時の感じが「痛い」と呼称されることができると考えられる。つまり、幼児がある経験をした時に養育者が共感をし、その表情を見せることで、そのときの幼児の内部状態と表情が経験的に結び付き、そしてそこから表情の意味を理解、他者へ共感する能力が発達すると考えられる。

そこで本研究では、養育者が幼児に対し行う「直感的親行動」に対する幼児の学習をモデル化し、ロボットに他者の表情と自身の状態の対応付けについて学習させ、他者に同調する能力を獲得させることを目指す。

2 学習モデル

2.1 システム

提案する直感的親行動の相互作用モデルの概要図を Fig.1 に示す。ロボットは外部刺激に対し内部状態を変化させ、それに伴って表情を変化させる。そして人間の表情を観察し、その時の人間の表情とロボットの内部状態を結びつける。

直感的親行動をモデル化した実験の詳細な手順を以下に示す。

1. 人間がロボットに対し、刺激を与える
2. ロボットの内部状態がロボットの現在の状態に応じて変化をする

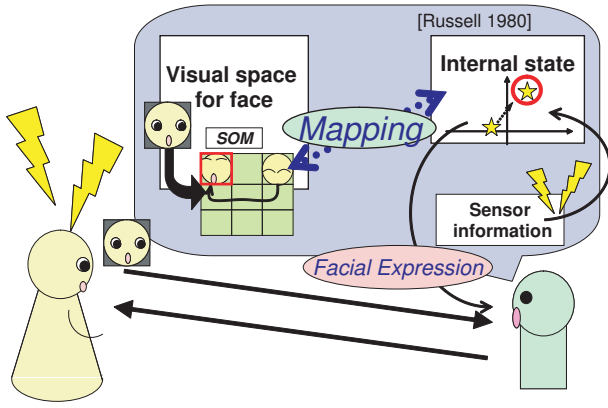


Fig.1 Interaction

3. 変化した内部状態に対し表情が変化する
4. 人間がロボットの表情を認識する
5. 人間がロボットの表情から内部状態を推測し、推測した内部状態に対応した表情を表出する
6. ロボットが人間の表情を認識し、変化した内部状態と結びつける

次に、実際にロボットに組込むシステムの概要図をFig.2に示す。ロボットの内部状態とロボットの表情は予め対応付けられており、内部状態が変化すると表情も変化する。ロボットの内部状態は外部刺激により変化し、その変化した内部状態と、観測して SOM により認識された人間の表情がヘブ学習によって結びつけられる。

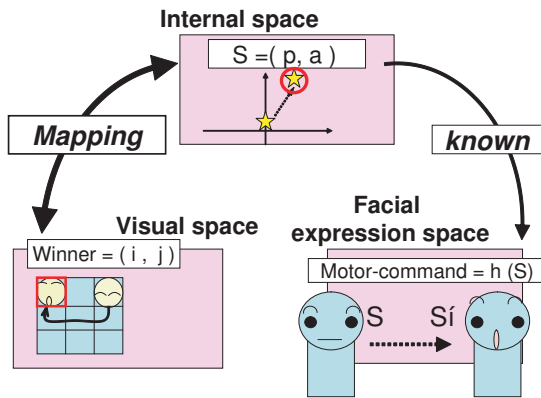


Fig.2 Outline of the system

2.2 内部状態

人間の情動モデルには様々なものが存在する。しかしその中でも、特に表情と関連付けられ、表情の判断が容易な Russell の 2 次元情動判断空間モデル [5] を採用する。

このモデルは「快-不快」「覚醒-睡眠」を最も基本的な感情意味次元と考え、様々な情動のカテゴリーがこの 2 つの次元で構成される空間上に位置付けられている。

実験に使用したロボットの内部状態は「快-不快」「覚醒-平常」の 2 軸で表わされるとし、その空間は Fig.3 に示す連続的な 2 次元空間である。

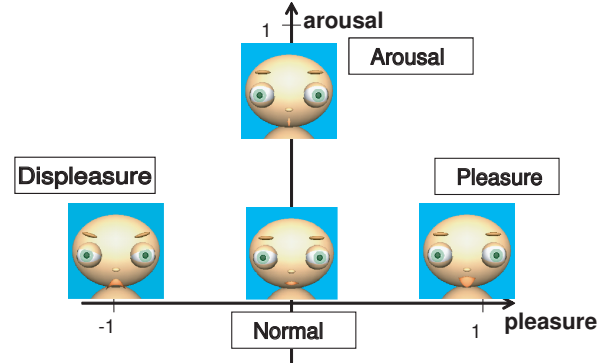


Fig.3 Internal state and facial expression

ロボットの内部状態は

$$\mathbf{S} = (p, a) \quad \begin{cases} (-1 < p < 1) \\ (0 < a < 1) \end{cases} \quad (2.1)$$

で表す。ここで $\mathbf{S} = (p, a)$ は内部状態空間を動く Pleasure(快), Arousal(覚醒)の度合を示す状態変数である。ロボットはこの内部状態変数に従い表情を表出させ、またロボットの内部状態に対応した人間の表情を学習する。内部状態 $\mathbf{S} = (p, a)$ はダイナミクスを持って連続的に変化する。式 (2.2) は内部状態 $\mathbf{S} = (p, a)$ のダイナミクスを表す式である。 τ は内部状態の時定数であり、 $\mathbf{r}_e$ は外部刺激からの内部状態に対する入力、 $\mathbf{r}_o$ は人間の表情からの内部状態に対する入力である。学習時には $\mathbf{r}_o = 0$ とした。

$$\begin{cases} \tau \dot{\mathbf{S}} = -\mathbf{S} + \sum \mathbf{r}_i + \mathbf{S}_0 \\ \sum \mathbf{r}_i = \mathbf{r}_e + \mathbf{r}_o \end{cases} \quad (2.2)$$

2.3 表情表出

2.3.1 内部状態と表情の対応づけ

人間の表情表出について、山田ら [6] は、表情表出に伴う顔の特徴点の相関的変位構造と被験者の基本情動カテゴリー判断の関係が存在し、その関係は 2 つの構造変数、「湾曲性・開示性 (Curving and releasing)」「傾斜性 (Inclination)」で表すことが可能であると提案している。この 2 つの構造変数による表情の変化を Fig.4 に示す。

「湾曲性・開示性」とは眉の湾曲の程度や目と口の開き具合に関係する特徴点の変位であり、「傾斜性」とは眉や目の釣り上がりないし垂れ具合、また口が V 字ないし逆 V 字の

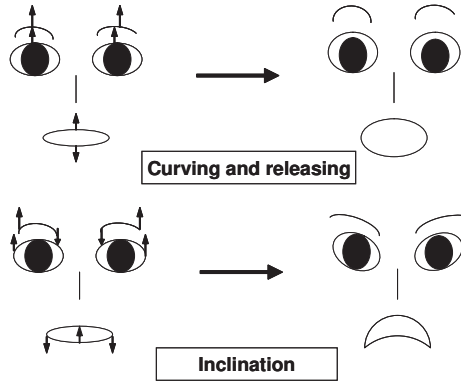


Fig.4 Two structural variables [Yamada 2000]

形状をなす程度に関する特徴点の変位である。この2つの構造変数はそれぞれ「活性－不活性(覚醒(Arousal)－睡眠(Sleep))」「快(Pleasure)－不快(Displeasure)」の意味次元の値に対応する。

この山田らによる人間の知見に基づき、覚醒の度合に「湾曲性・開示性」、不快の度合に「傾斜性」を用いてロボットの表情を作成した。ロボットは眉、まぶた、眼球、口をある有限範囲内で動作可能である。 $S=(p, a)$ が変化したときのロボットの表情の変化の様子を Fig.3 に示す。内部状態に比例して表情が変化の様子を表している。

3 アルゴリズム

3.1 内部状態の表象空間

内部状態は連続的な変数であるが、ヘブ学習で学習をさせるためには有限のノードとして扱う必要がある。そこで内部状態の表象空間を生成し、ヘブ学習を行った。

入力された表情から得た SOM のそれぞれのノードの活性度 $f_{ij}(V)$ と、その時の内部状態から計算した内部状態の表象空間中の内部状態活性度 $g_{kl}(S)$ を用いて重みを計算する。

3.2 ヘブ学習

ヘブ学習の重み更新式を式 (3.1) に示す。

$$\begin{aligned} w_{ij}^{kl}(t+1) &= w_{ij}^{kl}(t) + \Delta w_{ij}^{kl} \\ \Delta w_{ij}^{kl} &= \alpha f_{ij}(V) g_{kl}(S) \end{aligned} \quad (3.1)$$

α は学習率、 $f_{ij}(V)$ はある画像入力 V が入力された時の SOM のノード (i, j) の活性度であり、 $g_{kl}(S)$ はそのときの内部状態の活性度である。

次に、 $g_{kl}(S)$ を求める式を示す。 $g_{kl}(S)$ は $S=(p, a)$ であったときに、内部状態ノード kl の代表内部状態 S_{kl}^r との差を距離とした関数で表すことができる。

$$g_{kl}(S) = e^{-\rho |S - S_{kl}^r|^2} \quad (3.2)$$

4 実験

4.1 実験設定

外部刺激は意図的な刺激と偶発的な刺激に分けることができる。人間が与える意図的な刺激としては音声と3種類(快, 不快, 覚醒)のタッチセンサを用いた。また環境が与える偶発的な刺激としては日常的な音声を用いた。Fig.5 は実験環境を示したものであり、ロボットはカメラで実験者の表情を捉えることができ、またマイクから環境の音を捉えることが可能である。

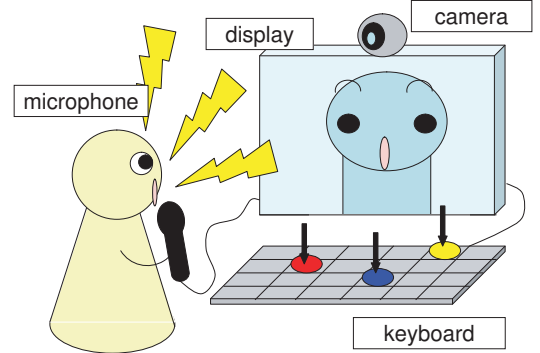


Fig.5 Environment

ロボットに学習をさせたときの内部状態の変化の様子を Fig. 6 に示す。図中に示してあるのは、実験中に実験者又は環境が与えた刺激である。

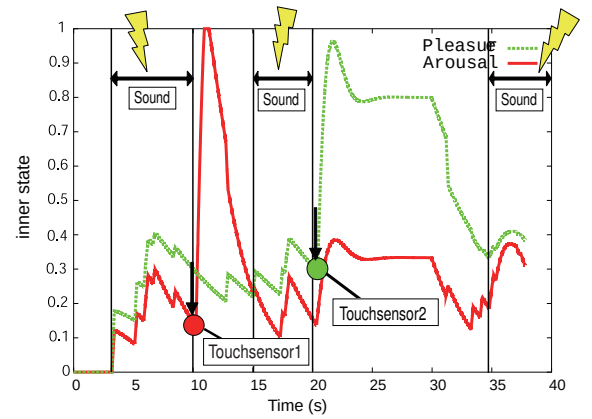
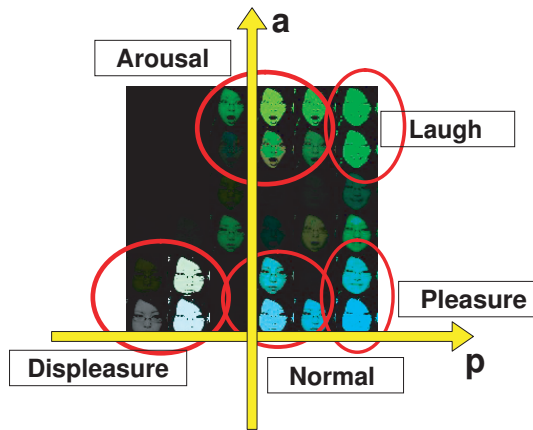


Fig.6 Transition of internal state

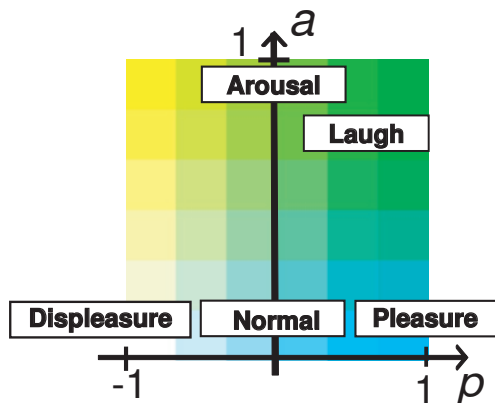
4.2 実験結果

実験を行い、コンピュータグラフィック上のロボットに学習をさせた。学習後の内部状態空間を Fig. 7 に示す。内部状態を (p, a) 平面で表し、色は内部状態の分割ごとに異なるように色付けしており、似た内部状態は似た色

で示してある．内部状態空間中の表情はその内部状態が最も強く結合している表情である．表情の種類ごとに内部状態空間でまとまって分類されており，その表情の配置は Russell の 2 次元情動判断モデルにおけるカテゴリ配置とほぼ一致している．



(a) Color of facial expression



(b) Color and axis

Fig.7 Category of faces in internal space

学習後，ロボットは表情入力に対し内部状態を見い出すことが可能になった．人間が表出した表情から見い出される内部状態に，ロボットの内部状態が影響される項を組込むことにより，人間の表情に同調した表情を表出することが可能になった．Fig. 8 は表情以外の刺激を加えずに，人間が表情を変化させた時のロボットの内部状態の変化である．人間の表情が変化するとロボットの内部状態が変化していき，ロボットは自身の内部状態に応じた表情を表出する．

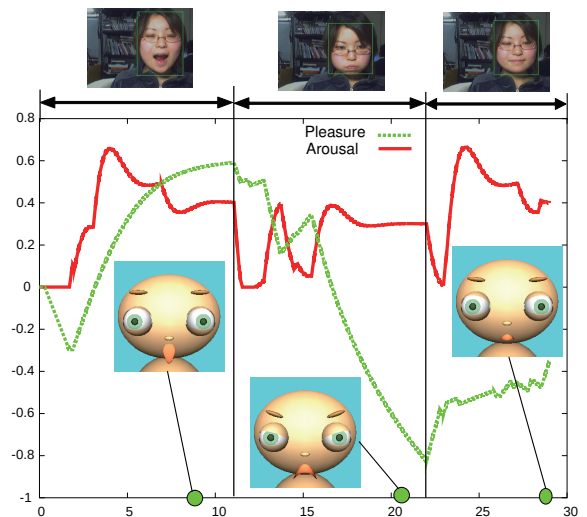


Fig.8 Transition of faces

5 おわりに

人間が幼児に対し行う「直感的親行動」に対する幼児の学習をモデル化し，ロボットに実装した．人間がロボットに対し直感的親行動を行うことで，ロボットは人間の表情と自身の内部状態の対応付けを学習した．この結果を用いることで，ロボットは他者の表情から内部状態を読み取り，自身の内部状態に影響を受けることが可能になり，ある種の共感能力を身に付けることができた．

参考文献

- 1) M.H.Johnson and J.Morton. Biology and cognitive development. *Blackwell*, 1991.
- 2) A.Mehrabian, 西田司他訳. 非言語コミュニケーション. 聖文社, 1986.
- 3) Cynthia Breazeal, Dephna Buchsbaum, Jesse Gray, David Gatenby, and Bruce Blumberg. Learning from and about others: Towards using imitation to bootstrap the social understanding of others by robots. *Artificial Life*, Vol. 11, pp. 31–62, 2005.
- 4) Papousek and Papousek. Intuitive parenting: a dialectic counterpart to the infant's precocity in integrative capacities. *Handbook of Infant Development*, pp. 669–720, 1987.
- 5) Russell J. A. A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 39, pp. 1161–1178, 1980.
- 6) 山田寛. 顔面表情の知覚的判断過程における説明モデル. *心理学評論*, Vol. 43, No. 2, pp. 245–255, 2000.