

行動決定に基づく感情分化

Emotional Differentiation based on Decision-Making Process

日永田智絵 *1 堀井隆斗 *1 長井隆行 *1
Chie Hieida Takato Horii Takayuki Nagai

*1電気通信大学
The University of Electro-Communications

Having emotions is essential for robots to understand and sympathize with the feelings of people. In addition, it may allow the robots to be accepted into human society. The role of emotions in decision-making is another important perspective. In this paper, a model of emotions based on various neurological and psychological findings that are related to empathic communication between humans and robots is proposed. Subsequently, a mechanism of decision-making that is based on affects using convolutional LSTM and Deep Deterministic Policy Gradient is examined.

1. はじめに

ロボット研究では感情について深く扱えずにいる。それは一般に「ロボット」が感情が無い存在として考えられがちなことからも示唆される。相手の情動を推定する手法 [Picard 97] や情動を表す方法 [Breazeal 02] については、従来から研究がなされている。しかしながら、こうした研究の情動は作りこみであることが多い。作りこみでは社会的な感情の様な複雑な感情を作ることが困難であり、実際シンプルな基本情動のようなものしか実現できていない [Masuyama 15][Woo 15]。しかし、ロボットが人間社会に受け入れられていくためには、相手の感情を理解・共感し、行動することが必要不可欠であり、シンプルな基本情動のようなものだけでは対応できない。

作り込みではない方法として、尾形らは、内分泌系モデルをロボットに実装し、情動を実現している [尾形 99]。また、浅田らは、作りこみではなく、人の多感覺情動信号からロボットが情動を学習する情動発達ロボティクスの研究を行っているが、これは情動の発達が中心であり、上位概念である感情は扱っていない [浅田 14][堀井 16]。よって本研究では、上位概念である感情を扱うための感情モデルを提案する。将来的にはこの研究を通して、ロボットがどのように複雑な感情を持つか、相手の情動に基づいてどのように感情を変化させるか、そうした相互作用がどのようなコミュニケーションを引き起こすのかといったことを検討する。このことは、ロボットに感情を持たせるだけでなく、ロボットが人間の心的状態を真に理解するという意味でも必要不可欠である。これによってロボットが人の多様なあり方に寄り添い、人とロボットの双方が学習し成長していくような関係性になることを期待している。

本稿では以下のような神経科学や心理学等の様々な分野の文献を基に感情モデルを作成した。情動や感情の分化に関しては以下の文献が挙げられる。心理学者の Bridges は乳幼児の観察を基に、情動が興奮を原点として分化していくと考えた [Bridges 32]。また Ledoux は、快情動と不快情動では異なる脳部分が働いていることを明らかにしている [Ledoux 98]。Ekman は、文化に関係なく共通の基本 6 感情(怒り、喜び、嫌悪、恐怖、悲しみ、驚き)が存在することを示した [Ekman 71]。

情動と感情の役割に関する文献は以下のようなものが挙げら

連絡先: 日永田智絵、電気通信大学、東京都調布市調布ヶ丘
1-5-1, 042-443-5238, hchie@apple.ee.uec.ac.jp

れる。神経科学者の Damasio は、情動が外部からの刺激の評価を効率的にするという仮説を立てた(ソマティック・マークー仮説) [Damasio 96]。大森は、感情とは意思決定のための価値計算システムであると提唱している [大森 16]。一般的にも知られている吊り橋効果では自身の身体反応の原因推論の際に、実際の原因とは異なった原因に帰着することで、感情の認知が変化するといわれている [Dutton 74]。

これらのことから、感情システムは、無意識のうちに起こる身体反応と、それを感情として認知するという段階に分かれています。生得的なシステムと学習により強化されるシステムが存在していると考えられる。上記を踏まえ、情動を刺激によって引き起こされる身体反応のラベル、感情を行動決定のための状態に対するラベル、状態とは刺激と情動及び刺激と情動を用いた原因推論・未来予測の結果と定義し、感情モデルを構築する。

感情の重要な役割の一つが、行動決定である。したがって、提案モデルでは行動決定を行うための大脳皮質-大脳基底核ループに対応したシーケンス学習と強化学習を導入する。本稿では行動選択に基づく感情の分化を議論するため、提案モデルの中でも行動決定モジュールの実装を convolutional LSTM (long short-term memory)[Xingjian 15] と DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient)[Lillicrap 15] を用いて行った。そして、モジュールの検証のため、Agent での表情決定タスクを行った。

2. 感情モデル

提案する感情モデルを図 1 に示す。感情モデルは以下の 3 層に分かれています。上記に示した文献を基に作成されています。

第 1 層：評価モジュール

刺激を評価し、身体的反応を行う

第 2 層：行動決定モジュール

次元圧縮された身体的反応(情動)と刺激に基づいて、原因推論・未来予測を行っている

この予測結果と刺激と情動を行動決定のためにカテゴライズしたものを受け取る

第 3 層：感情記憶モジュール

経験を記憶し、記憶に基づき刺激を評価し生得的反応を抑制・強化する

第 1 層は反射的に反応する層であり、時間的に処理が最も早いが、エラーも多い。それに対し、第 3 層では過去の記憶にアクセスするため、第 1 層からの遅延があるが、経験に基づいて

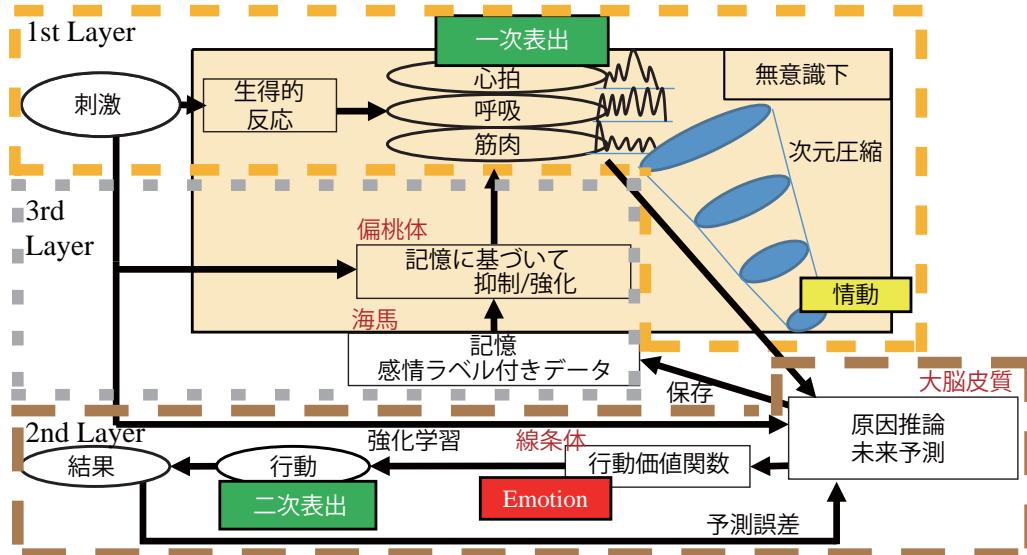


図 1: 感情モデル

て評価するため、エラーを減らすことができる。この第1層第3層から出力された一次表出を次元圧縮したものが情動である。つまり、従来研究の情動信号はこの一次表出のことを表しており、無意識下で行われるため、嘘をつくことのできない正直な反応となる。Pentland が提唱している Honest Signals はこの一次表出の一部と考えられる [Pentland 08]。情動信号と情動の関係は次元圧縮しただけの関係であり、情動信号から情動を導くことができる。

こうして得られた情動が入力信号とともに原因推論、未来予測に使用される。吊り橋効果ではこの情動が異なる入力信号に紐づけられたため、未来予測が変化し、異なるカテゴリに分類されたため、恐怖から好意へと変化が起きたと考えられる。ここで生じたカテゴリは意識へと昇り感情として認知される。それに基づき行動を起こし、その結果で得られた状況から予測誤差を計算し、原因推論、未来予測の識別関数を学習する。過去につけた評価データは記憶として保存される。

3. 行動決定モジュールの実装

先行研究では第1層の実装として、recurrent-attention model (RAM) [Mnih 14] を利用した視覚刺激による情動生成を検討した [Hieida 17]。この研究では、画像刺激として International Affective Picture System (IAPS)[Lang 99] を入力とし、valence と arousal を出力とする教師あり学習を行った。本研究では convolutional LSTM and DDPG を用いて、行動決定モジュールを実現する (図2)。Convolutional LSTM は情動値と視覚刺激を入力として、次のステップの予測情動値と予測刺激を出力する。DDPG は情動値と視覚刺激、予測情報を状態として入力し、行動を出力する。この時強化学習の報酬は以下の通り設定する。

$$Reward[t] = Constant - \|Affect[0] - Affect[t]\|^2, \quad (1)$$

$Affect[t]$ は時間 t の時の情動値である。情動値は先行研究 [Hieida 17] での RAM による外的刺激の評価と、行動による体力の増減などの影響を受ける内的刺激の評価を合わせたもので表現される。本研究では $Affect[0]$ を $[valence, arousal]=[5,$

5]

 と設定している。この報酬はホメオスタシスの考えを用いており、提案モデルは情動値つまり身体反応を一定にするよう行動を学習する。

4. Agent の表情生成

4.1 実験プロトコル

実装した行動決定モジュール内での感情分化を検証するため、共感コミュニケーションを想定したタスクを設定し、Virtual Agent を用いて学習を行った。本タスクでは行動として Agent は瞼、眉、口、口角を動かし表情を変化させる。Interaction Partner は Agent の表情を 4 つのカテゴリとして認識し、対応した同カテゴリの表情を画像として出力する。表情カテゴリ認識は以下のようなルールベースとなっている。

Pleasure: 口角が上がっているとき

Angry: 口角が下がっており、眉を顰めていて、目が半分よりも開いているとき

Sadness: 口角が下がっており、眉を顰めていて、目が半分よりも閉じているとき（伏目）

Neutral: 上記以外

Agent は Interaction Partner の表情画像を視覚刺激として受け取り、感情モデルで処理を行って、行動を出力する。本タスクでの情動値は、RAM により Interaction Partner の表情画像を評価した値と行動に対応した内的刺激の評価を合わせたもので表現されている。行動と内的刺激評価の対応はルールベースとなっており、基本は行動すればするほど内的評価値は大きくなる。例えば瞼の場合は閉じたときが最も値が小さく、開けば開くほど値が大きくなるといった形になっている。例外として、悲しみの表情をしたときと目を閉じたときに内的評価値を下げるルールを設定しており、これは泣いたときにミルクがもらえるということと、目を閉じたときには寝ているという赤ちゃんの振る舞いから設定したものである。即ちこの内的評価値は、体力バイアスであり、外的評価に対して体力バイアスをかけることによって、情動が表現されている。

本学習を 50000 epoch 行い、学習が進むごとに、ソマティック・マーカーに対応する Policy Network の中間層を PCA により可視化することで、どのような状態空間が構成されている

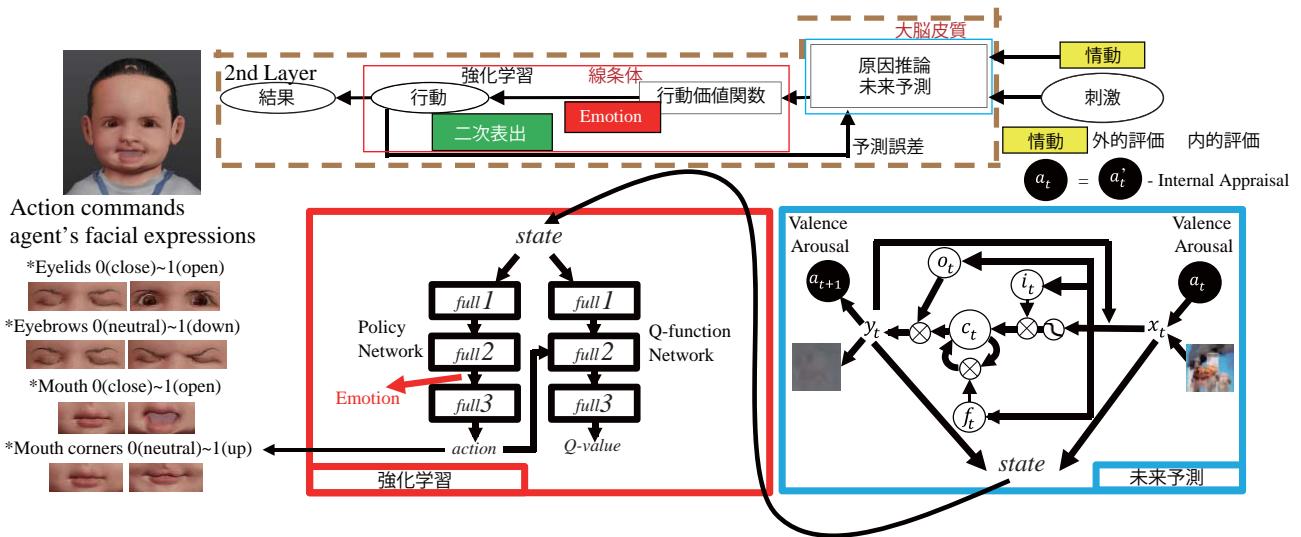


図 2: Convolutional LSTM と Deep Deterministic Policy Gradient による行動決定

かを検証する。我々の感情の定義が正しく、適切な実装が行えていれば、この状態空間は行動により感情カテゴリに分割することができ、学習が進むごとに分化していく様子が観察できるはずである。

4.2 結果

結果を図 3 に示す。図 3(a) は情動値をプロットしたもので、図 3(b) は Policy Network の中間層を PCA により可視化したものである。各色は Interaction Partner が認識している表情のカテゴリを表している。どちらの結果においても、学習が進むごとに各カテゴリがまとまっていることがわかる。これより、感情が分化する様子が表現されている。情動値のプロットでも各カテゴリが分かれているのは、今回のタスクが Agent の働きかけで変化する刺激のみ利用したことが原因だと考えられる。より複雑なコミュニケーションにおいて刺激が多様化すると情動値のみではカテゴリが分けられなくなり、行動も含めた感情によるカテゴリ表現が重要となると予想できる。また、情動値の 40000-50000 epoch のプロットでは Neutral が一番 valence の高い位置に存在しており、次が Pleasure となっている。これは *Affect[0]* をどこに設定するかによって異なると考えられる。本研究では著者らが設定した任意の値だが、ある一定長さのシーケンス内での情動値平均を設定することによって、不快な刺激を浴び続けると怒りっぽくなるといった、その日の気分といったようなものを表現できる可能性がある。

また、学習済みモデルで Agent を動かし、観察した結果以下のような行動の変化が見られた。^{*1}

学習初め： Agent はよく目をつぶっている
10000epoch： よく目を開けるようになる
20000epoch： 目の開閉を頻繁に繰り返す
30000epoch： 目の開閉をゆっくり繰り返す
40000epoch： 表情のバリエーションが増える
50000epoch： よく笑うようになり、情動値が下がってくると目を閉じる

よく笑うようになるということは、相手を笑わせることに繋がるため、他者からみると利他的な行動を行っているように

*1 学習済みモデルで Agent を動かした様子を動画で示す。
<https://youtu.be/mF6AfX2Wzko>

もみえる。しかしながら、実際には、自分がほしい刺激を得るために笑っており、本研究の Agent は見せかけの利他行動を学習したことになる。

5. まとめ

本研究では、共感コミュニケーションのための感情モデルを提案し、行動決定の実装を行った。行動決定の実装は convolutional LSTM と DDPG を用いて行い、報酬にホメオスタシスの考え方を適用した。検証として、Virtual Agent を用いた表情決定タスクを行い、感情の分化が観察されたと共に、見せかけの利他行動の様子が見られた。今後は、全体の感情モデルの実装を行い、嫉妬や恥、罪悪感などといった社会的な複雑な感情の創発を目指す。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16J04930, JST CREST (JP-MJCR15E3), 新学術領域「認知的インタラクションデザイン学」(26118001) の助成を受けたものです。

参考文献

- [Breazeal 02] Breazeal, C.: Designing Sociable Robots, *The MIT Press* (2002)
- [Bridges 32] Bridges, K. M. B.: Emotional development in early infancy, *Child development*, pp. 324–341 (1932)
- [Damasio 96] Damasio, A. R., Everitt, B. J., and Bishop, D.: The Somatic Marker Hypothesis and the Possible Functions of the Prefrontal Cortex [and Discussion], *Philosophical Transactions of the Royal Society B, Biological Sciences*, Vol. 351, No. 1346, pp. 1413–1420 (1996)
- [Dutton 74] Dutton, D. G.: Some Evidence for Heightened Sexual Attraction under Conditions of High Anxiety,

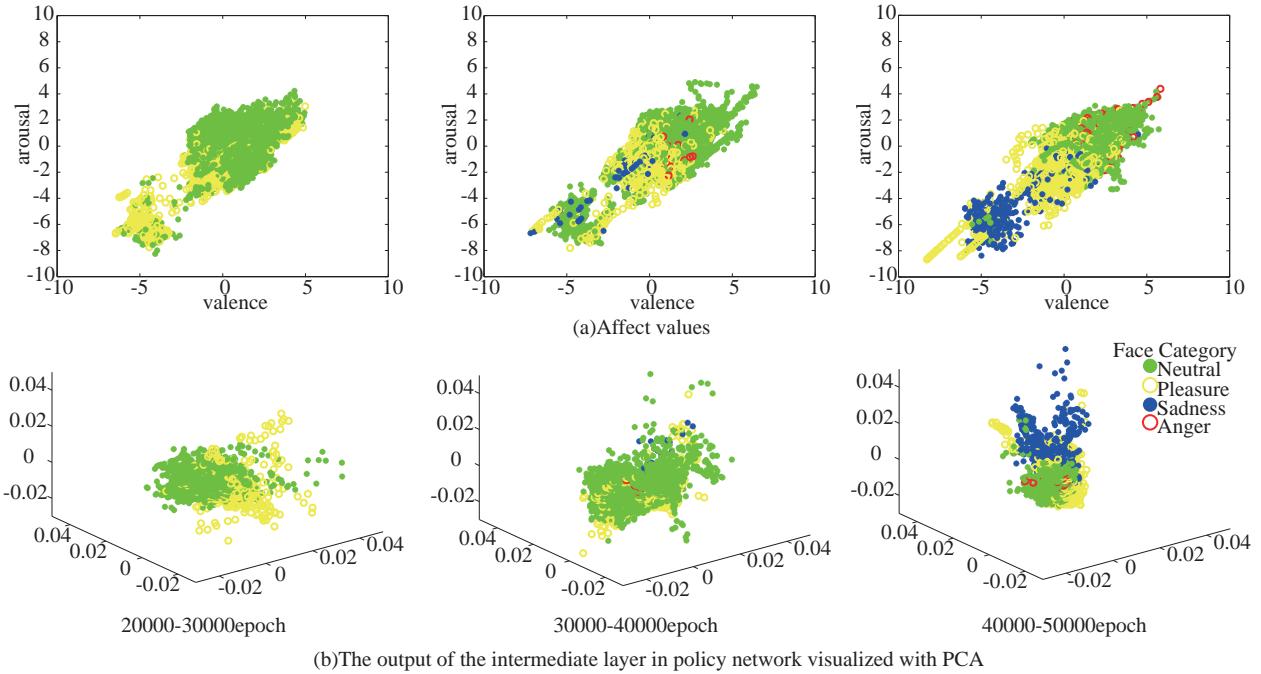


図 3: 行動決定による感情分化

Journal of Personality and Social Psychology, Vol. 30, No. 4, pp. 510–517 (1974)

[Ekman 71] Ekman, P. and Wallace, F. V.: Constants across cultures in the face and emotion, *Journal of personality and social psychology*, Vol. 17, No. 2, pp. 124–129 (1971)

[Hieida 17] Hieida, C. and Nagai, T.: A Model of Emotion for Empathic Communication, *Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, pp. 133–134 (2017)

[Lang 99] Lang, P. J., Bradley, M. M., and Cuthbert, B. N.: International affective picture system (IAPS): Technical manual and affective ratings, *Gainesville, FL: The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida* (1999)

[Ledoux 98] Ledoux, J. E.: The Emotional Brain: The Mysterious Underpinnings of Emotional Life, *Simon & Schuster* (1998)

[Lillicrap 15] Lillicrap, T. P., Hunt, J. J., Pritzel, A., Heess, N., Erez, T., Tassa, Y., Silver, D., and Wierstra, D.: Continuous control with deep reinforcement learning, *arXiv preprint arXiv:1509.02971* (2015)

[Masuyama 15] Masuyama, N. and Loo, C. K.: Robotic emotional model with personality factors based on Pleasant-Arousal scaling model, *In Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 2015 24th IEEE International Symposium on. IEEE*, pp. 19–24 (2015)

[Mnih 14] Mnih, V., Heess, N., Graves, A., and kavukcuoglu, K.: Recurrent Models of Visual Attention,

in *Advances in Neural Information Processing Systems 27*, pp. 2204–2212 (2014)

[Pentland 08] Pentland, A. S.: *HONEST SIGNALS—How They Shape Our World—, The MIT Press* (2008)

[Picard 97] Picard, R.: *Affective Computing, MIT Press. Cambridge* (1997)

[Woo 15] Woo, J., Botzheim, J., and Kubota, N.: Verbal conversation system for a socially embedded robot partner using emotional model, *In Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 2015 24th IEEE International Symposium on. IEEE*, pp. 37–42 (2015)

[Xingjian 15] Xingjian, S., Chen, Z., Wang, H., Yeung, D.-Y., Wong, W.-K., and Woo, W.-c.: Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation nowcasting, in *Advances in neural information processing systems*, pp. 802–810 (2015)

[浅田 14] 浅田稔：情動発達ロボティクスによる人工共感設計に向けて, *日本ロボット学会誌*, Vol. 32, No. 8, pp. 666–677 (2014)

[大森 16] 大森隆司：人はなぜ感情をもつのか—行動決定における感情の計算論的役割—, *人工知能学会誌*, Vol. 31, No. 5, pp. 710–714 (2016)

[尾形 99] 尾形哲也, 菅野重樹：情動モデルを有する自律ロボット WAMOEBA-2 と人間との情緒交流, *日本機械学会論文集*, Vol. 65, No. 633, pp. 166–172 (1999)

[堀井 16] 堀井隆斗, 長井志江, 浅田稔：Restricted Boltzmann Machine を用いた多感覚情動コミュニケーション, 第 30 回人工知能学会全国大会, pp. 1O5–OS–22b–2 (2016)