

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650083

研究課題名(和文)共感覚を利用したマルチモーダルな情動抽出

研究課題名(英文)Emotion Recognition from Multimodal Information Based on Synesthesia

研究代表者

長井 志江(Nagai, Yukie)

大阪大学・工学研究科・特任准教授(常勤)

研究者番号：30571632

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、神経科学的・心理学的知見に基づいて、複数の感覚情報から情動を自己組織的に獲得するメカニズムを提案した。ロボットが人とのインタラクションを通して得られる感覚情報から、共感覚に基づいてモダリティ間の不変特徴を抽出し、確率的ニューラルネットワークを用いて情報を抽象化することで、快や不快、さらには喜び、驚き、怒りなどの基本6情動を生成できることを示した。特に発達学的知見から、触覚が他の感覚に比べて情動の形成に直接寄与するという仮説を立て、計算論的にその妥当性を示した。本結果は、情動発達を促す神経科学的メカニズムの理解と、それに基づく情動抽出アルゴリズムの開発に重要な示唆を与えている。

研究成果の概要(英文)：Inspired by neuroscience and developmental studies, we have proposed a computational model for emotional development based on multimodal perceptual information. A synesthetic mechanism enables a robot first to detect invariant features among multiple modalities and then to extract emotion such as pleasure/unpleasure and moreover six basic emotions (i.e., happy, surprise, anger, etc.) by abstracting the features using a probabilistic neural network. Our hypothesis that among multiple modalities, tactile information leads to emotional development has been verified through our comparative experiments. These results yield new insights about neural mechanisms of emotional development and promising ideas for the design of computational models for emotion recognition.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：認知発達ロボティクス 知能ロボティクス 認知発達 情動 共感覚 人 ロボットインタラクション
マルチモーダル

1. 研究開始当初の背景

他者の情動推定は、ロボットが人と円滑なコミュニケーションを実現する上で重要な能力である (Cowie et al., 2001)。画像処理研究では、パターンマッチングや特徴点の抽出などにより、顔の表情から喜びや怒りなどの感情を推定したり (Dailey et al., 2002)、全身の姿勢や動きから動作者の感情を推定するモデル (Schindler et al., 2008) が提案されている。また、音声処理研究では、基本周波数の変化や音の振幅から、話者の快/不快情動を読み取るモデルが提案されている (Roy & Pentland, 1996; Breazeal & Aryananda, 2002)。しかし、これらは個々のモダリティに依存した固有の特徴量を用いて情動を定義しており、多種多様な感情をもつロボットへの実装は効率的ではない。

これに対して、情動が個体内の一つの内部状態であることを考慮すると、その表出パターンにはモダリティを超えた共通性があるのではないかと考えられる。表情や声、ジェスチャは単なるインターフェースにすぎず、情動の発生する原理を追求すれば、その表出パターンに内在する共通特徴をモダリティに依存しない方法で抽出できるのではないかと推測される。

2. 研究の目的

本研究では、情動が表出されるモダリティによらない共通の特徴を有しているという仮説を立て、共感的な機能により他者の情動を推定するロボットモデルを開発する。人は生得的に共感的であることが知られており (Ramachandran & Hubbard, 2001; Maurer & Mondloch, 2004)、モダリティを超えて信号の強度や抑揚、リズムといった共通の特徴を抽出することができる。このメカニズムを応用し、ロボットが他者の表情やジェスチャ (視覚)、発話 (聴覚)、接触 (触覚) から共感的な特徴を検出することで、情動を推定するモデルを構築する。

情動が一つの内部状態である (つまり、表情や発話に現れる情動の発生源が同じである) という仮説に基づいて、複数モダリティに内在する共通性を利用して情動推定を行うアプローチは、これまでの研究に比べて認知神経科学的な妥当性が高い。本研究が達成されることで、情動を介した人とロボットのコミュニケーションがより円滑になるだけでなく、情動がいかんして発生・発達するのか、そのメカニズムの理解にもつながると期待される。

3. 研究の方法

本研究では、ロボットが他者とのインタラクションを通して得られる感覚情報 (視覚、聴覚、触覚情報) から、共感的な機能に基づいて他者の情動を推定するモデルを提案することを目的としている。そこで本目的を遂行するため、まず、個々のモダリティごとに

どのような特徴量が情動推定に有効かを検証し、次に、その結果に基づいて複数感覚情報を統合したモデルを提案する。また、モデル設計には神経科学的・心理学的知見が必要であるが、人の情動の発生・発達メカニズムについては不明な点が多い。そこで、計算論的手法を応用することで、人の情動発達を解析するモデルの提案と、その実験パラダイムの設計も行う。さらに、これらのモデル開発と並行して、情動推定に重要な役割を担うとされている触覚に関して、人との柔軟なインタラクションを可能にする触覚センサの開発も行う。

以上のアプローチに基づいて、主に以下の4つの研究課題に取り組む。

- (1) 聴覚情報からの基本特徴量の抽出に基づく情動推定モデルの提案
- (2) 神経科学的知見に基づく情動の分化発達モデルの提案
- (3) 人の情動の分化発達過程を解析する計算論的モデルと実験パラダイムの提案
- (4) 人との触覚インタラクションを可能にする柔軟な触覚センサの開発

4. 研究成果

研究はすべて予定通りに進展し、前節で挙げた4つの研究課題に対してそれぞれ以下の成果を挙げた。

- (1) 「聴覚情報からの基本特徴量の抽出に基づく情動推定モデルの提案」では、リカレントニューラルネットワークを用いて、ロボットに対する人の教示発話から、ポジティブ/ネガティブ信号を抽出するモデルを開発した (図1参照)。人の発話の韻律情報 (抑揚や強度、長さなど) には、発話者の情動状態が反映されることが指摘されている。そこで、これらの特徴量の時系列データをネットワークの入力として、その発話のポジティブ/ネガティブの度合いを出力するモデルを構築した。

人とロボットのインタラクション実験の結果 (図2参照)、人の発話内容があらかじめ定義されていなかったり、日本語とドイツ語というように言語が異なる場合でも、韻律という不変的な特徴によって発話者の情動が検出できることが確認された。

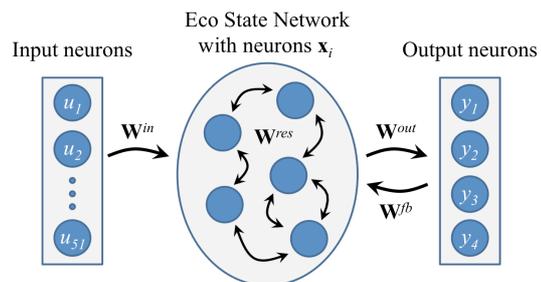


図1: リカレントニューラルネットワークを用いた発話からの情動抽出モデル



図 2：シミュレーションロボットへの発話教示

(2) 「神経科学的知見に基づく情動の分化発達モデルの提案」では、神経科学的・発達心理学的な知見に基づいて、インタラクション中に共起する複数の感覚情報から、喜び／驚き／怒り／悲しみ／恐怖／嫌悪の基本 6 情動を段階的に獲得するモデルを開発した (図 3 参照)。人の触覚には、刺激の快／不快を直接的に知覚することのできる線維が生得的に備わっており、それが情動の知覚・発達において重要な役割を担うことが指摘されている。そこで本研究では、人の柔らかい皮膚を模した触覚センサを開発し、触覚とそれに共起する視覚、聴覚情報から、階層的に構成した確率的ニューラルネットワークを用いて、6 情動を自己組織的に獲得するモデルを構築した。

実験の結果、人の乳幼児期に見られる情動の分化発達と同様の過程を経て、ロボットが 6 情動を獲得することが確認された (図 4 参照)。特に、触覚からの快／不快情報が欠如することで情動の過分化や未分化がり、本研究の仮説である触覚の重要性を構成的に証明することができた。

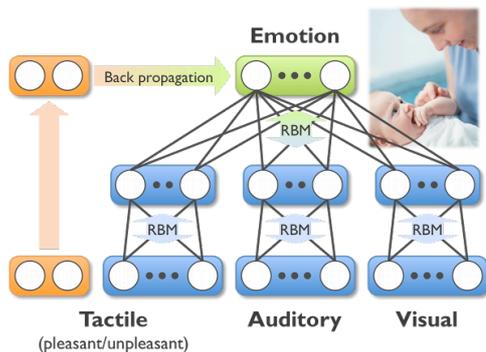


図 3: 階層型確率的ニューラルネットワークを用いた情動の分化発達モデル

(3) 「人の情動の分化発達過程を解析する計算論的モデルと実験パラダイムの提案」では、他者の情動推定手法として、脈拍や皮膚コンダクタンスなどの生理指標データと、表情や発話などの行動データを統合し、ベイズモデルの状態数として情動を推定する手法を提

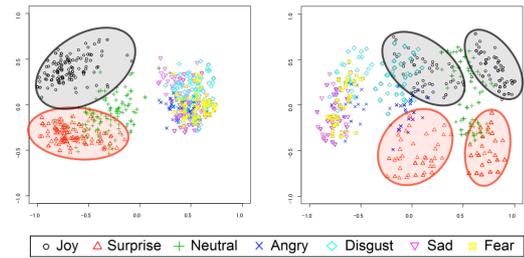


図 4：触覚情報の有無による情動分化への影響 (左：触覚あり, 右：触覚なし)

案した。情動は様々なモダリティを通して表出されるが、それが内部状態である情動とどのように対応しているのかは明らかではない。本研究では、sticky hierarchical Dirichlet process hidden Markov model を拡張することで、複数モダリティ情報から時系列的な変化を考慮しつつ、情動を自動推定することのできるモデルを提案し、その有効性を確認した。

(4) 「人との触覚インタラクションを可能にする柔軟な触覚センサの開発」では、上記のモデルを人とロボットのインタラクション実験で評価するため、ロボットに実装可能な柔軟な触覚センサを開発した。耐久性が高く、ロボットの形状に合わせて自由に変形可能な素材として、磁性エラストマーを利用することで、触覚インタラクションに耐えうる磁気式触覚センサを開発した。

以上の成果は、情動に関する問題を様々な側面から扱ったものであり、これらをまとめることで、「共感覚を利用したマルチモーダルな情動抽出」という本研究課題を達成したと言える。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 9 件)

- ① T. Horii, Y. Nagai, and M. Asada, “A Probabilistic Approach to Analyze Temporal Change of Emotion,” in Proceedings of the ICIS2014 Pre-Conference on Computational Models of Infant Development, to appear, Berlin, Germany, July 2, 2014.
- ② 堀井隆斗, 長井志江, 浅田稔, “ノンパラメトリックベイズモデルを用いた時系列生理指標解析に基づく情動推定の試み - 乳児の情動発達過程の解明を目指して -,” 日本赤ちゃん学会第 14 回学術集会, to appear, 神奈川, 2014 年 6 月 21-22 日.
- ③ 堀井隆斗, 長井志江, 浅田稔, “磁性エラストマーを利用した磁気式触覚センサ,” 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 1P1-X08, 富山, 2014 年 5 月 26-28 日.
- ④ 長井志江, “情動発達における接触コミュニケーションの役割: 計算論的アプローチからの提言,” 日本発達心理学会第 25 回

大会発表論文集, p. 9, 京都, 2014年3月21-23日.

- ⑤ T. Horii, Y. Nagai, and M. Asada, “Toward analysis of emotional development using physiological and behavioral data,” in Proceedings of the HRI 2014 Workshop on HRI: A Bridge between Robotics and Neuroscience, pp. 47-48, Bielefeld, Germany, March 3, 2014.
- ⑥ 堀井隆斗, 長井志江, 浅田稔, “乳児期の触覚優位性を利用した複数感覚情報の統合による情動分化モデル,” 第31回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1P3-04, 東京, 2013年9月4-6日.
- ⑦ T. Horii, Y. Nagai, and M. Asada, “Touch and Emotion: Modeling of developmental differentiation of emotion lead by tactile dominance,” in Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics, Osaka, Japan, August 19-21, 2013.
- ⑧ 堀井隆斗, 長井志江, 浅田稔, “乳児期の触覚優位性に基づく情動分化モデル,” 日本赤ちゃん学会第13回学術集会, p. 55, 福岡, 2013年5月25-26日.
- ⑨ A. K. Philippsen, K. A. Mismahl, B. Wrede, and Y. Nagai, “Cross-Cultural Recognition of Auditive Feedback Using Echo State Networks,” in Proceedings of 24. Konferenz zur Elektronischen Sprachsignalverarbeitung, Bielefeld, Germany, March 26-28, 2013.

[その他]

Yukie Nagai – Publications

<http://cnr.ams.eng.osaka-u.ac.jp/~yukie/publications-jp.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長井 志江 (NAGAI, Yukie)

大阪大学・大学院工学研究科・特任准教授

研究者番号 : 30571632