

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12509

研究課題名(和文)人の主観のプロセスに学ぶロボットの創造性に関する研究

研究課題名(英文)Study on Creativity of Robot Inspired from Subjective Process of Human

研究代表者

水内 郁夫 (Mizuuchi, Ikuo)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60359651

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：芸術やスポーツの動きを美しいと感じる、ホスピタリティを感じる、未知のものに興味をひかれる、などの人の主観のプロセスを、ロボットの動作生成・行動選択・創造活動などに活用することができないかという観点で、様々な対象(場)において、人間の主観的評価データに基づき機械学習を用いた主観的評価器を生成した。

人の主観評価は本質的に揺らぎがあるが、推定結果を用いて、人が受ける印象を良くするようなロボット等の行動・振る舞いの選択や生成や、新規な絵画の生成、等に成功した。これらの成果は、国内外の学会及び展示会等で発表した。非人型ロボットへの印象操作や、高スキル動作の自動生成等への取り組みも開始した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to utilize humans' subjective process (such as feeling beauty of arts or sports, feeling hospitality, having interest in what we do not know, etc.) for motion/behavior generations and/or creative activities by a robot or an artificial system. We have proposed to construct an estimator of subjective evaluation of a human, based on the machine learning technology. We collected various real data of human's subjective evaluation and used them as supervisor data for learning.

Although human's subjective evaluation process has intrinsic fluctuation, we have succeeded to create several systems that select or generate motions or behaviors of robots or installations, or novel paintings. These results have been presented in international and domestic conferences and exhibitions. We have also started new studies on manipulating an impression on a non-humanoid robot, automatic generation of skillful sensory-motor robot motions.

研究分野：Robotics

キーワード：ロボット 人とロボットの関わり ヒューマノイド 表情認識 心的状態 創造

1. 研究開始当初の背景

人は、スポーツの動きや芸術作品を見て美しいと感じたり、他者の行動に対し快不快を感じたりする。人が内面的に感じる主観的・直感的な評価の仕組みが解明されれば、ロボット等の人工システムにおいて様々な利点が考えられる。運動学習・行動学習における評価関数の自動生成や、状況に応じた適切な行動選択などである。

研究代表者らは、ロボット運動の主観的評価軸に基づく動作修正法[1-1]、個人の好みに合わせたロボット行動選択法[1-4]、絵画から受ける印象評価推定器と多様な絵画生成器に基づく個人が美しいと感じそうな絵の生成法[1-5]、未経験の感覚状態を得られそうなロボット行動決定法(好奇心アルゴリズム)[1-6]等を提案してきていた。これらに共通する要素が、人間の直感的・主観的な「系を把握する能力」であるということに思い至った。

直感的評価指標を、エネルギー消費や高次微分の連続性などにより表現することを試みた例は種々あるが、人間の主観的評価機構の原理は明らかになっていない。本研究では、人間の主観的・直感的評価の事例を多数収集し、大量のデータに基づく機械学習により再現することで、活用を行うことと、それを通してメカニズムの解明を狙った。

与えられた評価指標に基づき最適化を行う事例は工学では普遍的だが、評価指標をいかに生成するかという問題は人間の知能に頼ってきた。本研究の進展により評価指標の自動生成できるようになれば、工学の全ての場において活用できると考えた。

(参考文献)

- [1-1] 鈴木, 水内. 主観的な動作特徴軸に基づく指示によるロボットの絵描き動作修正法, 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, 2A1-N02, 2015.
- [1-2] 水内, 藤本, 他 4 名. 近接覚・触覚によるなぞり形状推定に基づく多種食器操作キッチンアシストシステムの実現, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.9, pp.889—898, 2012. (DOI: 10.7210/jrsj.30.889)
- [1-3] 山辺, 水内. 力覚と滑り覚の統合に基づく接触力の大きさ方向制御による手より大きな球体の最小力把持, 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, 1A2-J02, 2012.
- [1-4] K. Kumagai, J. Baek, I. Mizuuchi. A Situation-Aware Action Selection based on Individual's Preference using Emotion Estimation, Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), pp.356—361, 2014. (DOI: 10.1109/ROBIO.2014.7090356)
- [1-5] 佐藤, 水内. 絵画生成器と感性推定器を用いてロボットが絵画創作を行う手法の提案, 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, 1A1-S02, 2015.

- [1-6] T. Morisawa, I. Mizuuchi. Diversive Curiosity in Robots and Action Selection Method for Obtaining Unexperienced Sensory Information, in Intelligent Autonomous Systems 13, pp.1343—1355, Springer International Publishing, 2016. (DOI: 10.1007/978-3-319-08338-4_97)

2. 研究の目的

人の主観的・直感的プロセスを再現する方法と、その活用事例をいくつか示すことを目的とし、その過程を通して、主観や直感のメカニズムに迫ることを狙った。本研究の期間内にどこまで明らかにできるかは明確ではなかったが、少なくとも下記を実施することとした。

1. 人の主観評価に関するデータを様々な場で収集する。
2. 人の主観評価事例に基づく主観評価推定器の生成法を提案・検証する。
3. 前項の主観評価推定器の、芸術・運動・人との関わりへの活用実験を行う。

3. 研究の方法

3.1 本研究の構成

本研究は以下の(1)~(3)の3項目から構成した。絵画、運動、物体操作、言語と身体表現、ロボット行動選択、等の様々な対象(場)において、(1)~(3)の各項目を研究することで、計画時点では思い至っていないアイデアに着想することを狙った。

- (1) 人間の主観的評価データの収集
対象とする各場において、人間の主観的な印象や直感的に感じたことを、アンケートや表情推定等により収集する。
- (2) 機械学習を用いた主観的評価の推定手法の研究
(1)で収集したデータを訓練データとして機械学習(ニューラルネットワーク等)を行う。絵画の情報・ロボット動作の情報・その他の状況等を入力とし、人の主観評価を出力とする。これにより、少なくとも訓練データと同様の入力に対しては同様の評価が行えるようにするとともに、訓練データと異なる入力に対しても、人による主観評価と同じような評価を出力できるようにすることを期待した。
- (3) 主観評価推定器の利用法の研究
対象とする様々な場において、(2)の主観評価推定器を活用することを試みる。

3.2 様々な場でのコンセプトの検証

上記の(1)~(3)を、以下の(a)~(e)の場において、並行して研究を進めることとした。

- (a) 全身型ロボットの運動
動作の特徴を、滑らかさ・力強さなどのいくつかの主観的な軸に分け[1-1]、シーケンス情報を記憶することができる人工神経回路網であるリカレントニューラルネット

ワークを用いて、動作パターンを入力すると、主観的特徴を出力するように学習する。学習したニューラルネットワークを用いて、様々な運動パターンの中で目標とする主観的特徴が得られそうなパターンを選ぶことで、「ゴツゴツして力強い運動」などが実現できるかを検証する。

- (b) ロボットアーム・ハンドによる物体操作
申請者は近接覚センサ[1-2]や滑りセンサ[1-3][20]の情報に基づくセンサベースな物体操作の研究を行っている。センサ情報を提示した操縦環境で人間が操縦して物体操作を行い、その操作の良し悪しの評価と合わせてデータ収集することで、感覚運動系の評価器が得られると考えた。

(c) 絵画

人が絵画を観た際に感じる主観的な印象を、いくつかの項目に分けて答えてもらい、絵と印象の組み合わせのデータを大量に収集する。絵画のデータは、深層学習を用いて様々なレベルの特徴量を抽出したものを、評価器への入力とすることを考えている。更に、絵画のあり得るパターンは非現実的な種類数であるので、現実的な要素数のベクトルを入力として、多様な絵画を出力できるような生成器[1-5]を設計する。絵画生成器への入力ベクトルと、主観評価推定器の出力ベクトルの間のヤコビ行列を数値的に算出し、疑似逆行列を用いて目標とする主観評価ベクトルに近づけるための入力ベクトルの微小修正量を求められ、これを繰り返すことで、目標とする主観評価を得られると想定する絵画の創造ができるかを検証する。

(d) 状況とロボット行動の組み合わせ

部屋の明るさや時間帯、人の様子(忙しそうか)等に基づいて、ロボットが適切な行動を選択する手法を提案している[6]。人の表情の推定や内部の心情を推定する手法の研究を進めることで、教師データの自動収集も可能にできると考えている。

(e) 言語と身体表現の組み合わせ

似た単語を入力すると似たベクトルを出力するような仕組みが研究されている(word2vec等を用)。身体表現(動作等)に関しても似た運動を似たベクトルとできるような手法を検討し、言語と動作の組み合わせに対する主観評価を収集する。学習した評価器を用いて、ロボットが発言すべき台詞を決めると、最も良い印象を与えることが期待できる動作を選ぶという機構を考える。

4. 研究成果

様々な対象(場)において3.1に述べた(1)~(3)の3項目を研究した。

(1) 人間の主観的評価データの収集

様々な場において、人間の主観的な印象や直感的に感じたことを、アンケートや表情推定等により収集した。具体的には、

- (a) ヒトとロボット等の関わりにおいて、人がロボット等の行動や振る舞いに対して感じた主観的印象
(b) 非人型ロボットに対して人型ロボットからの掛け合いの有無による人の印象の変化
(c) 様々な絵画に対する人の主観評価
(d) 人がキッチンロボットを操縦している時のうまく操縦できたかどうかの主観的評価、等
である。

(2) 機械学習を用いた主観的評価の推定手法の研究

(1)で収集したデータを訓練データとして機械学習(ニューラルネットワーク等)を行った。絵画の情報・ロボット動作の情報・その他の状況等を入力とし、人の主観評価を出力とした。これにより、少なくとも訓練データと同様の入力に対しては同様の評価が行えるようになるとともに、訓練データと異なる入力に対しても、人による主観評価と同じような評価を出力できるようにすることがある程度できるようになった。ただし、有り得るデータの多様性に対して、(1)で収集した訓練データが十分に多様とは言えないような場合には、主観に近いデータと遠くないデータが出力される場合があった。

(3) 主観評価推定器の利用法の研究

対象とする様々な場において、(2)の主観評価推定器を活用することを試みた。具体的には、

- (a) ヒトとロボット等の関わりにおいて人が受ける印象を良くするようなロボット等の行動・振る舞いの選択や生成
(c) 新規な絵画の生成
等である。

(b) 非人型ロボットへの印象

(d) 高スキルな動作の自動生成等

にも取り組んでいるが、まだ適切な利用法を確立できたという段階には至っていない。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1件)

- [1] Dana Kulić, Gentiane Venture, Katsu Yamane, Emel Demircan, Ikuo Mizuuchi, Katja Mombaur. Anthropomorphic Movement Analysis and Synthesis: A Survey of Methods and Applications, IEEE Transactions on Robotics, Vol.32, Issue 4, pp.776—795, 2016. (DOI: 10.1109/TRO.2016.2587744)

〔学会発表〕(計 20 件)

査読付き国際会議論文 (計 6 件)

- [1] Kazumi Kumagai, Kotaro Hayashi, Ikuo Mizuuchi. Hanamogera speech robot which makes a person feel a talking is fun, in Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp.463—468, 2017. (DOI: 10.1109/ROBIO.2017.8324460)
- [2] Kotaro Hayashi, Ikuo Mizuuchi. Investigation of Joint action: Eye Blinking Behavior Improving Human-Robot Collaboration, in Proceedings of 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp.1133—1139, 2017. (DOI: 10.1109/ROMAN.2017.8172446)
- [3] T. X. N. Pham, K. Hayashi, C. Becker-Asano, S. Lacher, I. Mizuuchi. Evaluating the usability and users' acceptance of a kitchen assistant robot in household environment, in Proceedings of 2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 987—992, 2017. (DOI: 10.1109/ROMAN.2017.8172423)
- [4] Shizuka Takahashi, Ikuo Mizuuchi. Operating a Robot by Nonverbal Voice Based on Ranges of Formants, in Proceedings of 2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics, pp.202—205, 2017. (DOI: 10.1109/ICCAR.2017.7942687)
- [5] Tetsuro Sato, Kotaro Hayashi, Ikuo Mizuuchi. Painting Creation Method by Impression Feedback to a Painting Generator from an Impression Estimator, in Proceedings of 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp.159—165, 2016. (DOI: 10.1109/ROMAN.2016.7745105)
- [6] Kazumi Kumagai, Kotaro Hayashi, Ikuo Mizuuchi. Estimating Mood by Determining Weights of Pre-Defined Basis Functions based on Observed Facial expressions and Situations, in Proceedings of 25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 964—965, 2016.

招待講演 (計 1 件)

- [7] 水内 郁夫. 人の生活の場で活動するロボットの課題 ~ 自律的判断能力や人の

主観・直観からの示唆について~, 計測自動制御学会 システム・情報部門 自律分散システム部会 第 58 回自律分散システム部会研究会, 東京, July 15, 2016.

国内会議論文 (計 13 件)

- [8] 高橋 静香, 水内 郁夫. 滑り覚と 3 軸触覚を活用した物体操作 —滑り覚と 3 軸触覚を活用した重なったボウルのずらし操作—, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 講演論文集, 1P1-L18, 2018.
- [9] 山本 奈都美, 水内 郁夫. 個人の好み度合い推定に基づくロボットの形状と動作の決定手法, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018 講演論文集, 2P2-C13, 2018.
- [10] 林 宏太郎, 水内 郁夫. 人とロボットの協調作業における瞬きに関する研究, 第 35 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2017AC1G2-02, 2017.
- [11] 熊谷 和実, 林 宏太郎, 水内 郁夫. 個人に合わせたロボット行動生成のための気分変化予測手法構築に向けた環境と気分変化の関係の学習と考察, 第 35 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2017AC1G1-02, 2017.
- [12] 佐藤 哲朗, 水内 郁夫. 注目領域の構造化を用いた新規の具象画像生成法, 第 20 回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2017)講演論文集, PS1-21, 2017.
- [13] 熊谷 和実, 林 宏太郎, 水内 郁夫. 音の時系列データに対する聞き手の印象評価結果に基づく音生成システム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017 講演論文集, 2A2-F06, 2017.
- [14] 熊谷 和実, 林 宏太郎, 水内 郁夫. 疑似言語を用いた音声インタラクションに向けた疑似言語生成システムの提案, The 13th IEEE Transdisciplinary-Oriented Workshop for Emerging Researchers, Dec. 3, 2016.
- [15] 熊谷 和実, 林 宏太郎, 水内 郁夫. 疑似言語を用いた音声インタラクションに向けた疑似言語生成システムの提案, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2016AC3W2-03, 2016.
- [16] 佐藤 哲朗, 水内 郁夫. 人間の上達過程データ作製のためのオンライン型評価法の検証, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2016AC3Z2-05, 2016.
- [17] 山本 奈都美, 林 宏太郎, 水内 郁夫. コミュニケーションロボットのための言葉と動作の相性を推定し発言に適切な動作を付与する手法の提案, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2016AC3W2-02, 2016.
- [18] 張 豪帥, 町野 裕貴, 山本 奈都美, 林 宏太郎, 水内 郁夫. 言語によるロボッ

トへの動作指示における画像検索を用いた未知語への対応法, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, RSJ2016AC3Y3-05, 2016.

- [19] 熊谷 和実, 林 宏太郎, 水内 郁夫. 気分・状況・表情の関係性に基づく気分変化予測手法を用いたロボット行動選択, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 講演論文集, 1A1-14b3, 2016.
- [20] 森澤 冬馬, 林 宏太郎, 水内 郁夫. 比較優位の原理に基づく異者間の複数種類タスク分担法, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 講演論文集, 1A1-03b5, 2016.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

<http://mizuuchi.lab.tuat.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水内 郁夫 (MIZUUCHI, Ikuo)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 60359651

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

林 宏太郎 (HAYASHI, Kotaro)

東京農工大学・大学院工学府・特任助教

研究者番号: 80728345