

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：13601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16070

研究課題名(和文)生活支援ロボットのための見立てを用いた物体操作指示法に関する研究

研究課題名(英文) A Study of Daily Assistive Robots to Learn Objects' Manipulation Based on Human Demonstration Using a MITATE Technique

研究代表者

長濱 虎太郎 (NAGAHAMA, Kotaro)

信州大学・工学部・講師(特定雇用)

研究者番号：10736698

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、専門知識を持たないユーザが生活支援ロボットへ、手元の物体をロボットの手元に見立てて物体操作指示をおこなえる視覚学習システムの構成法を明らかにすることであった。本研究の主な成果は、ロボット自身がユーザによる手元の見立て方を理解するための視覚処理モジュールと類似性判断モジュールを開発し、ユーザがロボットへ見立てを用いて物体操作法を教示可能な一手法を提案したこと、そして生活支援ロボットへシステム統合し、評価実験により有効性を確認したことである。

研究成果の概要(英文)：We propose a novel method for a daily assistive robot to learn a new task from its user who does not have technical knowledge. "Mitatae," which is a human capacity to communicate a motion of a tool using a different tool and environment, provided inspiration to this system. The proposed system automatically estimate the mapping from the task space of the user and the robot. This enables the online teaching of a task by showing the target motion with a different tool and a different environment from the robot's. We evaluated the proposed method with daily tasks experimentally, and the results prove that the proposed method is effective.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：生活支援ロボット 視覚教示 見立て

1. 研究開始当初の背景

家庭環境下に入った生活支援ロボットは、各家庭ごとのやり方で、状況に応じた作業をおこなうことが望ましい。それには、ロボットに関する高度な知識を持たないユーザでも簡単に作業を修正できる枠組みが重要となる。このような枠組みとして、簡易プログラミングやボタン等による指示、アームを手で動かして指示する直接教示、そして作業を見せて真似させる視覚教示法が研究されてきた。このうち視覚教示は、ロボットに直接触れる必要がなく、普段通りの作業で教示ができる利点がある。しかし従来の視覚教示法には、人がロボットと同じ作業空間で、同じ道具や物体を使って教示することが前提となっており、オンラインでの作業指示が難しかった。

そこで研究代表者が着目したのが「見立て」という技法である。見立てとは「ある事物に他の事物の像を重ね合わせる」ことである([1]より引用)。見立ての分かりやすい例は、落語の扇子に見られる。閉じた扇子を箸に見立てて蕎麦をすすり、開いた扇子を傾けて酒を注ぐ様子を表すのが見立てである。このような技法は日本では古くから見られるが、見立てが多用されるのは芸術や表現の分野だけでない。ハサミで切る作業について切る対象を二指で挟むように伝達し、スプーンで混ぜる作業について手をスプーンに見立てて混ぜ方を伝えるなど、人が一般的に物体の姿勢や動きを伝達する手法として用いられてきた。

このような見立ての技法を、ロボットへの作業指示へも用いることができれば、直感的かつ詳細な作業指示が、ロボットの作業空間と同一の空間を複数準備することなく、かつオンラインで可能となるのではないかと考えた。

参考文献

[1] 百留康晴: "日本文化における<見立て>と日本語", 国語教育論叢, vol. 22, pp. 47—57, 2013.

2. 研究の目的

前述の背景より、人が生活支援ロボットへ作業を肩代わりさせる際、人が自身の手元をロボットの手の様子に見立てて動かすことで物体操作の視覚教示をおこなう状況を取り上げる。この状況でロボット自身が互いの手元の形状や動かし方に類似性を発見し、人が意図している修正指示を受け入れることで、人による物体操作の直感的かつ詳細な指示を可能とするような視覚処理・学習システムの工学的実現法を実証的に明らかにするとともに、生活支援ロボットによる実験で有効性を評価することを目的とする。

3. 研究の方法

生活支援ロボットが、教示者である人によ

る見立てを使った物体操作教示を受け入れるための、システム全般の構築および評価をおこなう。

(1) まず、生活支援ロボットが物体操作の視覚学習や作業状況の確認をするためのセンサシステムの構築をおこなうとともに、道具を用いた生活支援タスクの実装をおこない、物体操作指示に必要なセンサ入力についての検討をおこなう。

(2) 次に、人の見立て方や物体操作の修正意図を理解するための視覚・学習システムについて、学習中のロボットと人の自然な振る舞いがどうあるべきかを含め、計算機で実現可能な構成法を明らかにしていく。

(3) 最終的に生活支援ロボットシステムと統合し、見立てを解釈し物体操作を学ぶシステムを用いた教示の利点や課題について、評価実験をおこない検証する。

4. 研究成果

上記「研究の方法」で述べた各項目について、それぞれ成果を述べる。

(1) 日常生活支援タスクの視覚教示に必要なセンサ入力についての検討:

生活支援ロボットが物体操作の視覚学習や作業状況の確認をするためのセンサシステムとして、高解像度カラーカメラと距離カメラを併用するシステムを導入した。これを生活支援ロボットに使い、日常生活支援タスクの例として、部屋の中から物を持って来させるタスク、道具を使って菜園の果実を収穫するタスク、そして道具を使って液体を操作するようなタスクに取り組んだ。

その結果として、手元を詳細に見るための視覚入力としては、現在比較的廉価で流通している距離カメラのカラー画像よりも、高解像度カラーカメラの画像の方が、また流水のような透明物体の三次元形状を把握するためには、上記距離カメラの距離画像より高解像度カメラのステレオ演算結果の方が、各々有効であることが分かった。複数のセンサを準備し、タスクに応じて最適なセンサを選択し利用することの有効性が分かった。

(2) 見立て方や物体操作の修正意図を理解するための視覚・学習システムの構成法:

本研究で目的とするシステムは、生活支援ロボットが自らの物体操作中に、教示者である人から、見立てを使った修正視覚教示を受けることが可能なシステムである。まず、このようなシステムを導入するための、人とロボットの自然な振る舞いについて検討し、以下のように設計した。

ロボットはまず、予め知っている初期軌道に基づき、物体操作をする。

人がロボットの視野に入り、ロボットの

手元の形状と動かし方に見立てて、自身の手元の物体を動かす。つまり、人がロボットの動きを真似る。

ロボットは、人がロボットの手元をどのように表現しているのかを推定する（見立てを解釈する）。

人はロボットへ、より良い動かし方を見せて教える。

ロボットは人の動きを観察し、ロボット自身の物体操作方法を修正する。

次に、このような振る舞いを可能とするシステムを構成するためのモジュールとして、(A) 視覚処理モジュールと(B) 類似性判断モジュールの開発をおこなった。各々の役割と構成は、以下の通りである。

(A) 視覚処理モジュール

人の手元の動きを把握するためのモジュールであり、以下の(A)~(ウ)の三つの処理から成る。

(ア)本モジュールでははじめに、人の動きを推定する。まずロボットのカラーカメラから取得した画像を入力とし、人間の姿勢認識手法の一つであり深層ニューラルネットワークを用いたOpenPose [2]を使用して、教示者の各関節の二次元位置をオンラインで取得する。そして距離カメラから得た情報と照合し、手先の三次元位置を推定する。

(イ)次に、人の手元の任意物体の動きを推定する。これには(A)で推定した手先の三次元位置の周辺のOptical Flowのうち、最も動きの大きいものを抽出して用いた。この動きを類似性判断モジュールの入力とする。

(ウ)さらに、人の手元の拘束条件の有無を判断する。日常生活支援タスクでは、道具を机の上や鍋の中で使うなど、平面に接触している条件下の教示が多いことに注目し、平面上の動きが否かを判別するものとした。(ア)で推定した手先周辺について、距離カメラから得た情報より作業平面の推定をおこなうことで実現する。これも類似性判断モジュールの入力となる。

(B) 類似性判断モジュール

人の手元の動きと、ロボット自身の動きの類似性を判断するとともに、双方の作業空間の対応付けをおこなうモジュールである。

(ア)まず、(A-イ)で計算した人の手先物体（以後、単に手先と表現）の速さとロボットの手先の速さの相関演算をおこなう。相関係数が閾値を超えた場合、両者の手先の動きに類似性があると判断する。

(イ)上記(A)で類似性があると判断された場合、人とロボットの手先速度の平均値の比率を計算し、双方の作業空間の差を吸収するためのスケールに用いる（作業空間の対応付け・その1）。

(ウ)上記(A-ウ)で推定された作業平面と、ロボット自身が作業する平面の情報を用い、(A-イ)で計算された人の手先の速度ベクトルとロボットの手先速度ベクトルの向きの違いを推定する。これも人とロボットの作業空間の差を吸収するための機構の一つである（作業空間の対応付け・その2）。

(A)・(B)双方のモジュールを用い、類似性が高いと判断されたあとに類似性が低下した場合には、人がロボットの手元を見立てて教示を開始したものとし、ロボットは人の動きに対応した操作軌道を計算して操作をおこなう。この際、(B)で計算した作業空間の対応付け（その1・その2）を使用する。

(3)見立てを解釈し物体操作を学ぶ統合システムの評価実験：

本システムを単腕あるいは双腕の生活支援ロボットへ統合し、拭く・かき混ぜる・切る操作において、その有効性を検証した。各々の操作において、ロボットはタオルやお玉杓子、そして包丁を使用しているところ、人は本やペットボトルを各々の道具に見立てて操作指示をおこなった。その結果、周期的な操作においては教示者が介入するための十分な時間があるため、人が意図する操作修正が可能であった。

この教示実験は全てオンラインでおこなうことが可能であり、また人の教示のためにロボットと同じ道具や環境を準備することが不要であった。以上より、見立てを解釈し活用する本提案システムが当初の目標を達成しており、有効であることが確かめられた。

さらに本提案システムを用いると、人が自身の小さな動きからロボットの大きな動きを指示したり、逆に人が大きな動きを見せることでロボットへ細やかな指示を出したりすることが可能となることが分かった。これは前述の通り、人とロボットの作業空間の違いに対応するために、動きのスケールや向きの対応付けをおこなっていることに起因する。

以上の成果により、教示者である人とロボットの手元の物体や環境が異なっても、人が自身の手元をロボットの手元に見立てて教示することにより、新たな物体操作法を柔軟に学ばせていくための枠組みの一実現法が明らかとなり、その有効性が示された。

参考文献

[2]

CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose:
<https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>, 2018年6月閲覧。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計4件)

出村聡規, 莫亜強, 長濱虎太郎, 山崎公俊: “ 教示者の動きの見立てに基づく道具操作軌道の生成法獲得 ”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'18 講演論文集, pp. 2P1-B16(1)--2P1-B16(4), 2018.

石倉祥平, 長濱虎太郎, 矢口裕明, 稲葉雅幸: “ 生活支援ロボットによる液体注ぎ道具操作における軌道推定視覚処理と操作修正認識制御に関する研究 ”, 情報処理学会第79回全国大会, 2017.

長濱虎太郎, 笹淵一宏, 矢口裕明, 稲葉雅幸: “ 等身大人型ロボットプラットフォームを用いた農作業支援への取り組み ～トマトロボット競技会への参加を通して～ ”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'16 講演論文集, pp. 2P2-17a1(1)--2P2-17a1(4), 2016.

長濱虎太郎, 笹淵一宏, 矢口裕明, 稲葉雅幸: “ 等身大人型ロボットの農作業タスクプログラミングと収穫競技会を通じた知能ロボットソフトウェア教育 ”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'16 講演論文集, pp. 2P2-17a2(1)--2P2-17a2(4), 2016.

6. 研究組織

(1)研究代表者

長濱 虎太郎 (NAGAHAMA, Kotaro)
信州大学・工学部・講師 (特定雇用)
研究者番号: 10736698