

令和元年6月3日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00354

研究課題名(和文) 手指による物体操作の伝達を可能とするロボットの半自律遠隔操作技術の開発

研究課題名(英文) Development of semi-autonomous teleoperation method for object manipulation with a multi-fingered hand

研究代表者

小川原 光一 (OGAWARA, Koichi)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：70452810

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：手指による物体操作の伝達を可能とするロボットの半自律遠隔操作技術として、剛体や柔軟物などロボットが操作しうる様々な物体を頑健に認識する方法、共起性を利用して操作者の把持形態と物体認識を同時に実現する方法、未知小物体の全周3次元形状計測を対象タスクとして2組のロボットアーム・ハンドによる把持・持ち替え・解放動作を自動生成する方法、RRT法を拡張したロボットアームと多指ハンドの経路探索法を開発した。14件の学会発表を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボットによる自律動作と人間による遠隔操作を融合した半自律遠隔操作技術によって、様々な形状の物体を多指ハンドを用いて操作者の意図通りに器用に操ることができるようになる点に学術的な特色および独創性がある。提案手法やそこから派生する技術は、遠隔操作のみならず、高度な状況判断を要する作業をロボットに教示するための手段としても有用であり、ロボットを知能化するための基盤技術になりうる。

研究成果の概要(英文)：As a semi-autonomous teleoperation method for object manipulation with a multi-fingered hand, we have developed rigid and non-rigid object recognition methods, a method for simultaneous hand shape and object type recognition, a motion planning method for 3D measurement using a two set of robotic arms and hands, and a path planning method for a robotic arm and hand that extends RRT method. We made 14 conference presentations.

研究分野：ロボティクス

キーワード：遠隔操作 作業教示 物体認識 3次元計測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 人間が働き生活する空間にロボット技術を導入し、人間のために整備されたインフラをそのまま利用して、人間に代わってロボットに様々な作業を実行させることを目的とした研究開発が盛んに行われている。近年では、この研究開発を加速するために、DARPA ロボティクスチャレンジ、アマゾン・ピッキング・チャレンジ、ロボカップ@ホームリーグなどのように、具体的な作業を設定して多数の研究チームの参加を募り、競技会形式で技術の底上げを図る試みもなされている。このうち、物流倉庫における箱詰めや運搬などのように、現場の状況が限定されており作業の目的が明確な場合は、完全な自律ロボットが作業を実行することが望ましい。しかし、災害現場や宇宙ステーションなどのように、現場における高度な状況判断が要求される場合には、遠隔操作によって人間が介在しながらロボットに作業を実行させる必要がある。

(2) 遠隔操作ロボットのうち、手術支援ロボット「ダヴィンチ」のように、ロボットアームに搭載された単機能の器具をマスタースレーブ方式によって操作する技術は既に実用化されている。しかし、ロボットアームや多指ハンドを搭載した汎用性の高い人間型ロボットを遠隔操作し、人間用のインフラや道具を利用して様々な作業を遠隔で実行する技術については、東京大学、NASA と GM、DLR などのグループによって研究が進められているものの、いまだ確立された方法はない。

2. 研究の目的

本研究課題では、人間型ロボットの遠隔操作に関する以下の2つの課題に取り組む。

(1) 人間の手指による器用な操りをロボットの多指ハンドに伝達する場合、人間とロボットでは機構が異なるため、人間の腕や手指の動きを計測してロボットの運動に変換する方法では、物体の把持や持ち替えなどの器用な操りを意図通りに実現することは困難である。研究代表者はこれまでに、日常生活に現れ得る把持形態を網羅した分類を把持の中間表現と定義し、人間の手指の運動を把持の中間表現の記号列として認識する方法を提案してきた。また、連続する把持の中間表現の組み合わせごとに持ち替えの実行戦略をロボット側に用意しておくことによって、把持の中間表現から多指ハンドによる物体操作を自動生成する方法を提案してきた。本研究課題では、把持の中間表現を媒介にこの2つの方法を組み合わせることによって、器用な操りの伝達を実現する。また、把持形態と被操作物体の共起性を利用して双方を同時に認識する方法も提案しており、これを前記の方法と組み合わせることによって、人間側で必要な遠隔操作者の把持形態の認識とロボット側で必要な被操作物体の認識を同時に精度よく実現する。

(2) ロボットが遠隔で作業を実行するためには、環境認識・状況判断・動作計画などの高次の処理に加えて、物体の安定把握や衝突回避などの低次の処理も同時に実行する必要がある。このとき、負担の軽減の観点から、低次の処理はロボット側で自律的に実行し、遠隔操作者は高次の処理に集中できることが望ましい。そのためには、物体や環境との相互作用を伴う操りにおいて、アーム・多指ハンド・把持物体・環境のうち衝突回避を実行する範囲を適切に選択し、自律動作と遠隔操作が互いに干渉することなく意図通りにロボットの動作を生成する技術が必要になる。本研究課題では、把持形態と物体の認識結果に基づいて遠隔操作の意図を推定し、衝突回避を実行する範囲を適応的に決定することによって、自律動作と遠隔操作の自然な融合を実現する。

3. 研究の方法

本研究では、操作者の手指の運動を RGB-D カメラなどのセンサによって計測し、その情報を遠隔の視覚・ロボットアーム・多指ハンドを備えた人間型ロボットに伝達することによって、日常の物体を対象に、把持や持ち替えの組み合わせによって構成される様々な操りを、操作者が意図した通りに遠隔のロボットによって実現する方法を開発する。具体的には、以下の3つの技術を開発する。

(1) 共起性を利用した把持形態と物体の同時認識技術の開発: 剛体や柔軟物などロボットが操作しうる様々な物体を頑健に認識する方法と、共起性を利用して操作者の把持形態と物体認識を同時に実現する方法を開発する。

(2) 多指ハンドによる物体の把持および持ち替え動作の自動生成技術の開発: 2組のロボットアーム・ハンドによる持ち替えを利用した未知小物体の全周3次元形状計測を対象タスクとして、多指ハンドによる把持・持ち替え・解放動作を自動生成する技術を開発する。

(3) 把持形態と物体の認識結果に基づいた自律動作と遠隔操作の自然な融合技術の開発: 遠隔操作によって狭隘空間における物体の移動を実現するため、RRT 法を拡張したロボットアームと多指ハンドの経路探索法を開発する。また、複数のセンサ情報を統合して遠隔操作者に映像を提示する方法を開発する。

4. 研究成果

(1) 共起性を利用した把持形態と物体の同時認識技術の開発

ロボットの自律機能の一環として、剛体および非剛体の認識技術の開発を行った。剛体の認識技術については、ロボットの頭部と左右のハンドに搭載された3台の RGB-D カメラの画像から、画像情報とカメラ間の相対姿勢情報を同時に利用して、多層ニューラルネットにより物

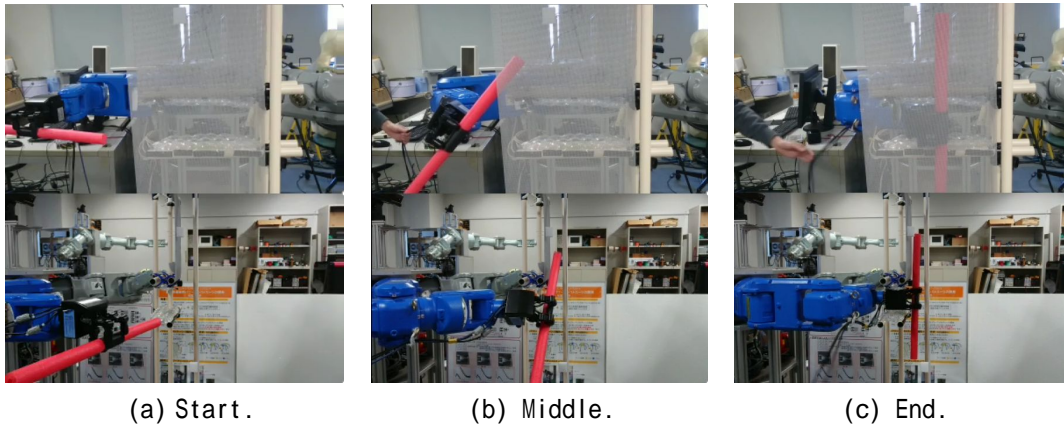


図1 多指ハンドとロボットアームによる狭隘空間における物体移動実験。

体認識を行う手法を開発した。評価実験の結果、カメラ間の相対姿勢情報を使うことによって、物体の部分隠蔽に対して頑健な認識を実現できることが確認できた。非剛体の認識技術については、ロボットによる衣類や布の操りを想定して、平面上に無作為に置かれた長方形布の形状を1枚の画像から推定する手法を開発した。提案手法では、格子状に配置した離散特徴点で布をモデル化し、特徴点近傍のテクスチャ情報と隣接特徴点間の位置制約を同時に利用して、多層ニューラルネットにより画像中の各特徴点の位置を推定する。評価実験の結果、隣接特徴点間の位置制約によって、折れ曲がり箇所が複数存在する布に対して形状の推定精度が向上することが確認できた。

ロボットを遠隔操作する操作者の動作認識の一環として、遠隔操作者が手指で物体を操る動作を撮影した映像を元に、手と物体の相互隠ぺいが発生している状況で手の形状を頑健に認識する手法の開発を行った。具体的には、深層学習の一種である Convolutional Neural Networks (CNN) を2系統並列に配置し終端を全結合層で統合した 2stream CNN を構築し、RGB-D カメラの深度情報と肌色情報を元に映像を手領域と物体領域と背景領域に分割し、手領域と物体領域を各 CNN に入力することによって、相互隠ぺいが発生している状況で精度よく手形状を識別することが可能な識別器を学習させた。実画像を使用した実験で、従来の 1stream CNN と比較して識別性能が有意に向上したことを確認した。

(2) 多指ハンドによる物体の把持および持ち替え動作の自動生成技術の開発

ロボットに搭載した RGB-D カメラと2組のロボットアーム・ハンドを用いて、未知小物体の全周3次元形状を自動計測する方法を開発した。具体的には、これまでに開発した RGB-D カメラと1台のロボットアーム・ハンドを用いる方法を拡張し、途中で物体を持ち替えることによって、欠損が生じる把持位置の画像やアームの可動範囲外の視点からの画像を補い、欠損のない全周3次元データを取得する方法を開発した。ロボット実機を模したシミュレーション環境で開発した方法の効果を確認した。

上記の方法では、ロボットハンドによる把持の可否を考慮せずに持ち替えを計画していた。そこで、物体の部分3次元形状データを球・円筒・対向面のプリミティブ形状に分解し、ロボットハンドで把持可能な箇所を多様体として求め、RRT 法に基づき現在位置といずれかの把持候補多様体を結ぶロボットハンドの経路を計画することによって、実機で持ち替えを実現できるようにした。実験の結果、シミュレータ環境では物体の全周3次元形状を精度よく計測できることが確認できたが、実環境ではセンサのマルチパスやロボットハンドと物体の滑りなどに起因する計測誤差が発生することが確認できた。

(3) 把持形態と物体の認識結果に基づいた自律動作と遠隔操作の自然な融合技術の開発

ロボットの自律運動機能と遠隔操作者による操作指令を融合した遠隔物体操作を実現するためのロボットの自律機能の開発を行った。特に狭隘空間で、多指ハンドとロボットアームを搭載したロボットを用いて遠隔物体操作を行うために、2種類の自律運動機能を開発した。まず、RRT に基づく経路計画法を拡張し、障害物近傍でのみ多指の自由度を探索に利用することによって、把持の崩れを最小限に抑え、なおかつロボットアームと多指ハンドの双方の自由度を利用して狭隘空間で物体を目的の場所に移動することが可能な経路計画法を開発した。また、一種の幅優先探索である RRT に基づく経路計画法と、勾配降下法を利用した深さ優先探索を組み合わせることによって、狭隘空間における物体の把握動作を効率よく計画する方法を開発した。動力学シミュレータを用いたシミュレーション実験および図1に示す多指ハンドとロボットアームを搭載した実ロボットを用いた実機実験によって、提案手法の有効性を確認した。

狭隘空間での遠隔物体操作において、ロボット頭部のカメラとロボットアームに搭載したカメラの映像を3次的に合成し、頭部と対象物体の間の障害物を透過表示することによって、隠蔽されていない操作対象物体の見えを遠隔操作者に提示して遠隔操作を容易にする映像提示手法を開発した。また、提案手法を実ロボットと HMD から構成されるロボットシステムに実装

して、その有効性を検証した。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計14件)

- 和唐 昂希, 南方 隆秀, 小川原 光一, "弾性要素を利用して把持物体の6自由度運動を実現する多指ロボットハンドの開発," 日本機械学会 関西学生会 2018 年度学生員卒業研究発表講演会, 12P13, 2018.
- 岩橋 知久, 小川原 光一, "遠隔操作のための複数 3 次元視覚情報統合・提示システムの開発~過去の映像の提示による作業対象の視認性の向上~, " 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI)予稿集, 2C1-05, 2018.
- 原田 稜, 小川原 光一, "RGB-Dカメラと双腕ロボットによる把持の可否を考慮した持ち替えに基づく全周 3 次元形状計測法の開発," 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI)予稿集, 3D2-08, 2018.
- 井堰 啓太, 小川原 光一, "多視点から得られる RGB-D 画像とカメラの姿勢を用いた深層学習に基づく物体の種類と姿勢の推定," 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI)予稿集, 3D2-09, 2018.
- 今川 涼介, 小川原 光一, "隣接特徴点の位置制約を用いた深層学習に基づく任意に変形した長方形布の形状推定," 第 19 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI)予稿集, 3D2-05, 2018.
- 齋藤 拓史, 小川原 光一, "連続多様体からなる物体の把持姿勢候補を用いた RRT-connect に基づくロボットの把持計画法," 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI)予稿集, 3A4-10, pp.2182-2186, 2017.
- 塔本 健太, 小川原 光一, "把持の安定性を考慮した RRT-connect に基づく多指ハンドとロボットアームの経路探索法," 第 18 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI)予稿集, 3A4-04, pp.2155-2158, 2017.
- 塔本 健太, 小川原 光一, "探索自由度の適応的な変更に基づく RRT-connect を拡張した経路探索法," 第 35 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3K2-04, pp.1-4, 2017.
- 村瀬 浩彰, 小川原 光一, "ロボットアームを搭載した飛行ロボットによる物体の安定した運搬を実現するための経路計画に関する研究," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 1P1-E03, pp.1-3, 2017.
- 片山 涼平, 小川原 光一, "手形状と物体形状の相関を利用した深層学習に基づく画像からの把持形状推定," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 1P2-J01, pp.1-4, 2017.
- 岩橋 知久, 小川原 光一, "RGB-Dカメラとロボットアームに設置したステレオ魚眼カメラを用いた遠隔操作透過映像の生成," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2A1-K07, pp.1-3, 2017.
- 原田 稜, 小川原 光一, "RGB-Dカメラと双腕ロボットによる持ち替えを利用した SfM 法に基づく欠損のない全周 3 次元形状計測法の開発," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2017, 2A2-011, pp.1-4, 2017.
- 村瀬 浩彰, 小川原 光一, "狭隘空間で大型物体を運搬するための飛行ロボットの経路計画に関する研究," 日本機械学会 関西支部第 92 期定時総会講演会, 2017.
- 韓 鵬, 武野 友哉, 小川原 光一, 鈴木 新, 菊地 邦友, "クレーン型アームを有し 1 台のモータで重量物の支持運搬を補助するパワーアシストスーツの開発 -第 2 報 アームの揺動を抑制する機構の開発-, " 第 34 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1E3-04, pp.1-4, 2016.