

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12170

研究課題名(和文) 視覚と多指ハンドを備えたロボットのための半自律遠隔操作に基づく組み立て作業の教示

研究課題名(英文) Teaching assembly tasks based on semi-autonomous teleoperation for robots with vision and multi-fingered hands

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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、視覚、多指ハンド、ロボットアームを搭載したロボットに対して組み立て作業を簡便に教示することが可能な動作教示法を開発するために、以下の3つの研究課題を遂行した。(1)多指ハンドによる正確な物体操作を実現するために、弾性要素の変形を積極的に利用した多指ハンドによる把持物体の操作技術および複数のセンサ情報を統合することによる任意視点映像提示技術を開発した。(2)視触覚センサによる3次元情報に基づく物体の把持と移動を実現するために、剛体・非剛体の認識技術およびロボットアームの経路探索技術を開発した。(3)教示動作の学習を実現するために、把持と物体の同時認識技術を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボットに搭載されたセンサから得られる情報は限られているため、物体の正確な操作を必要とする作業を遠隔操作で教示することは困難である。本研究では、物体認識に基づく経路探索や物体の安定把持などの機能を自律機能としてロボットに持たせることによって、教示者の負担を大幅に軽減することが可能な技術を開発した。本技術は、たとえば多品種少量生産に対応する多能工ロボットの動作教示などに応用できる。

研究成果の概要(英文)：In order to develop a motion teaching method that can easily teach assembly operations to robots equipped with vision, multi-fingered hands, and robot arms, the following three research tasks were carried out in this study. (1) To realize accurate manipulation of an object by a multi-fingered hand, we developed a technique for manipulating a grasped object by a multi-fingered hand that actively utilizes deformation of elastic elements and a technique for presenting an arbitrary viewpoint image by integrating information from multiple sensors. (2) In order to realize grasping and moving of an object based on three-dimensional information from vision and tactile sensors, we developed techniques for recognizing rigid and non-rigid objects and for motion planning of the robot arm. (3) We developed a simultaneous grasping and object recognition technique to realize learning of teaching actions.

研究分野：ロボティクス

キーワード：動作教示 遠隔操作 組み立て作業

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 従来の小品種大量生産を行う工場に設置されているロボットは単能工ロボットが主流であった。しかし、近年増えてきた多品種少量生産に柔軟に対応するためには、セル生産方式によって製品ごとに多数の組み立て工程を担当する多能工ロボットが必要になる。このとき、ティーチングペンダントやプログラミングなど高度な専門知識を必要とせず、現場の人間が利用できる簡便な方法でロボットに組み立て工程を教示できることが望ましい。

(2) しかし、機械部品の組み付けなど高い位置精度を要求する作業を行うためには、多指ハンドで物体を把持した状態で、物体の任意の 6 自由度運動を正確に実現する必要があるが、従来開発されてきた多指ハンドは、物体と指の間で転がりや滑りが発生して接触状態が変化するため、計画した物体の運動を正確に実現することは困難である。また、物体を大きく移動する場合は環境の完全な 3 次元情報が必要になるが、ロボットに搭載されているセンサでは不完全な 3 次元情報しか得られない。

2. 研究の目的

(1) 多指ハンドによる正確な物体操作を実現するために、物体を把持した状態で、物体と指の接触状態を維持したまま物体の任意の運動を実現することが可能な多指ハンドを開発する。また、ロボットに搭載した複数の 3 次元センサの情報を統合し、異なる仮想視点からの映像を教示者に提示することによって、物体同士の正確な位置合わせを実現する方法を開発する。

(2) 視触覚センサによる 3 次元情報の拡張に基づく物体の把持と移動を実現するために、多数の障害物が存在する空間において、ロボットアームの経路探索と環境の 3 次元情報を利用して、多指ハンドが物体を把持可能な箇所とそこに至る経路を自動的に計算する方法を開発する。

(3) 教示動作の学習を実現するために、複数の教示動作から、3 次元情報、把持位置などの要素を学習する方法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 多指ハンドによる正確な物体操作を実現するために、指先の弾性要素の許容可能なせん断変形・ねじり変形の範囲内で、物体と弾性要素の間の接触状態を維持したまま物体の任意の 6 自由度運動を実現する 3 指ロボットハンドを開発する。また、弾性要素の非線形な変形をモデル化し、物体の目標位置・姿勢を実現する関節角を計算する方法を開発する。また、手探り計測を実現するためにロボットの指に埋め込み可能な近接覚センサを開発する。また、ロボットの頭部と左右のロボットアームの先端に RGB-D センサを設置し、得られた複数のカラー画像と距離画像を統合して、HMD を通して教示者に任意視点映像を提示するシステムを開発する。

(2) 視触覚センサによる 3 次元情報の拡張に基づく物体の把持と移動を実現するために、多層ニューラルネットを利用して、画像から剛体および非剛体の種類・姿勢・形状を認識する手法を開発する。また、詳細な形状が未知の物体に対して、その物体の形状を計測すると同時に、その物体を多指ハンドで把持することが可能な把持位置とその場所に多指ハンドを移動するためのロボットアームの経路を同時に計画する手法を開発する。

(3) 教示動作の学習を実現するために、物体操作を行う教示者を撮影した映像から、多層ニューラルネットを利用して、手と物体の相関に基づいて把持と物体の種類を認識する手法を提案する。

4. 研究成果

(1) 各指が 3 自由度を有し、指先に弾性要素を配置したときにその許容可能なせん断変形・ねじり変形の範囲内で物体と弾性要素の間の接触状態を維持したまま物体の任意の 6 自由度運動（並進 3 自由度、回転 3 自由度）を実現するワイヤー駆動方式の 3 指ロボットハンドを開発して、直方体形状の把持物体の並進・回転運動の可否を確認する検証実験を行った。また、対象物の色に依存せずに多指ハンドから対象物までの距離を計測することが可能な、波長が異なる複数の LED とフォトトランジスタによって構成される小型近接覚センサを試作し、実験によって計測原理を確認するとともに、国内会議で研究成果を発表した。今後の展望としては、提案する近接覚センサを搭載した多指ロボットハンドを試作して、手さぐりによる物体の把持を実現することなどが挙げられる。

(2) 2 次元平面における 2 指による物体の操りを想定し、指と指先の弾性要素の境界面における力分布から物体に働く力とモーメントを計算して、目標姿勢において物体に働く力とモー

ントが平衡状態になるようにロボットハンドの指先の位置を求める物体の位置制御方法を開発した。指と弾性要素の境界面における力分布は、弾性要素を微圧縮性超弾性体としてモデル化して、指先の位置・姿勢から有限要素法を用いて計算する。シミュレータ環境において提案手法を実装してその有用性を確認した。従来は弾性要素の変形を線形なモデルで近似的に表現していたが、提案手法は非線形な変形を陽に扱う点に優位性がある。今後の展望としては、提案手法を3次元運動に拡張することや、実機による検証実験を行うことが挙げられる。

(3) 教示者がロボットを遠隔操作して組み立て作業を教示する際に、物体の正確な位置合わせを実現できるように、ロボットの頭部と左右のロボットアームの先端にRGB-Dセンサを設置し、得られた複数のカラー画像と距離画像を統合して、HMDを通して教示者に任意視点映像を提示するシステムを開発した。開発したシステムは、HMDを装着した教示者の頭部の姿勢変化を基に仮想視点の移動と映像の拡大・縮小を行う機能を有する。また、障害物を透過表示することによって、操作対象物体の視認性を向上させる機能も有する。映像提示の実証実験を行い、システムの基本的な機能が正常に動作することを確認した。今後の展望としては、近接覚センサの情報を映像に重畳するなど異なるモダリティの情報を同時に提供することなどが挙げられる。

(4) 多層ニューラルネットを利用して多視点画像から剛体の種類と姿勢を認識する手法を開発した。提案手法では、ロボットの頭部と左右のロボットアームの先端に搭載されたRGB-Dセンサから得られる多視点画像を使用するため、運動学によって求まるセンサ間の相対位置の情報を利用することによって認識精度が向上することを確認するとともに、国際会議で研究成果を発表した。しかし、提案手法では物体の認識しか扱っていないため、今後の展望としては、センサ間の相対位置の情報を利用して物体の検出も同時に実現することなどが挙げられる。

(5) 複数の変形した布が平面上に積み重なった様子を撮影した画像から、多層ニューラルネットを利用した特徴点抽出とクラスタリングに基づいて布の分離と各布の形状を推定する手法を開発した。また、シミュレータで作成した布画像および実物の布画像に対する評価実験において提案手法の有用性を確認し、人間型ロボットによる布の認識と持ち上げ実験による検証を行い、国内会議で研究成果を発表した。今後の展望としては、より複雑な布の変形をあつかえるようにするための学習用画像の生成や、後処理で実現しているクラスタリングをニューラルネットで実現することなどが挙げられる。

(6) 2組のロボットアーム・ハンドを用いて物体の把持・回転移動・持ち替えを行い、RGB-Dセンサを用いて異なる計測視点から逐次的に物体の部分3次元形状を取得して統合することによって、形状が未知の物体の欠損のない3次元形状を取得する手法を開発した。提案手法では、部分3次元形状をプリミティブ形状（球・円柱・対向面）の組み合わせで表現することによって、プリミティブ形状ごとに物体をロボットハンドで把持することが可能な把持位置の候補を計算する。そして、物体を把持可能なロボットアームの姿勢の集合を目標としてRRT-connect法に基づく経路探索を行う。さらに、有効な計測情報が含まれない計測視点を除外することによって高速化を実現し、シミュレータ環境および実環境において提案手法の有用性を確認するとともに、国内会議で研究成果を発表した。今後の展望としては、環境に複数の障害物がありRGB-Dの死角が存在するような場合においても、逐次的に経路探索を繰り返すことによって物体の把持を可能にすることなどが挙げられる。

(7) 教示動作の学習を実現するために、教示者を撮影した入力画像から手の領域のみを復元するAuto Encoder (AE)と物体の領域のみを復元するAEの学習を行い、それぞれのAEのエンコーダによって得られるベクトルを結合してLong Short Term Memory (LSTM)に入力することによって把持3種類と物体3種類のクラス分類を行う手法を開発した。実験により、入力画像の特徴量をAEによって手と物体に分離してからLSTMに入力することによって認識率が向上することが分かり、提案手法によって時間軸上の一貫性を保ちながら手と物体の相関を適切に学習できることが確認できた。今後の展望としては、把持と物体の種類数を増やすことや、物体の姿勢や大きさおよび作業内容に踏み込んだ認識を行うことなどが挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Haoqi Gao, Koichi Ogawara	4. 巻 8
2. 論文標題 Bidirectional Mapping Augmentation Algorithm for Synthetic Images Based on Generative Adversarial Network	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Image Electronics and Visual Computing	6. 最初と最後の頁 110-120
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11371/tievciieej.8.2_110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Haoqi Gao, Koichi Ogawara
2. 発表標題 Face alignment by learning from small real datasets and large synthetic datasets
3. 学会等名 2022 Asia Conference on Cloud Computing, Computer Vision and Image Processing (3CVIP 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 颯, 小川原 光一
2. 発表標題 ロボット指に搭載可能な波長が異なる複数のLEDを利用した小型近接覚センサの開発
3. 学会等名 日本機械学会関西支部 第97期定時総会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 曾我 幸慧, 小川原 光一
2. 発表標題 RGB-Dカメラと2台のロボットアームによる計測視点数を考慮した持ち替えに基づく全周3次元形状計測法
3. 学会等名 日本機械学会関西支部 第97期定時総会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 曾根川 大輝, 小川原 光一
2. 発表標題 深層学習に基づく複数の長方形布の分離と形状推定
3. 学会等名 第22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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田 貴哉, 小川原 光一
2. 発表標題 対照学習を用いた潜在表現空間上での目標条件付き強化学習
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Koichi Ogawara, Keita Iseki
2. 発表標題 Estimation of object class and orientation from multiple viewpoints and relative camera orientation constraints
3. 学会等名 IEEE/RSJ 2020 International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------