

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18129

研究課題名（和文）近接覚を備えた高速ロボットによるインハンドマニピュレーションの研究

研究課題名（英文）In-hand manipulation using high-speed robot hand equipped with proximity sensor

研究代表者

小山 佳祐（Koyama, Keisuke）

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号：20817415

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：製品の自動組立作業を効率良く実施するためには、ピックアップした部品を手の中で姿勢変更する技術が必要である。本研究では、ロボットハンドで把持した物体の高速な回転操作の実現を目的とし、省配線、小型、高精度な近接覚センサの開発と高速センサフィードバックを利用した操作戦略を提案した。提案手法を用いることで、リモコンのフタを組み付ける繊細さが求められる作業を実現したほか、配置位置に不確かさが生じやすいセリー飲料の回転操作を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今後、工業製品などの組み立てラインでは、作業者の確保が困難となり、一人当たりの作業負担が増加する恐れがある。負担軽減のためには、ロボットによる一部作業の自動化が効果的であるが、ピックアップした様々な形状の部品を目的の姿勢に持ち替えることは未だに難しい。本研究は高速なセンサフィードバックを用いることで、部品を掴んだ状態で確実な姿勢変更を実現する。将来的にヒトの手作業の一部の自動化に貢献する。

研究成果の概要（英文）：In order to efficiently carry out automatic product assembly operations, in-hand manipulation is needed to change the posture of picked-up part. In this study, (i) the development of a wiring-saving, compact and high-precision proximity sensor and (ii) a manipulation strategy using high-speed sensor feedback were proposed to realise high-speed rotational manipulation of an object grasped by a robot hand. In the experiments, a delicate insertion task of a lid of remote controller was achieved. And, a rotational manipulation of jelly drink was also achieved.

研究分野：ロボティクス

キーワード：近接覚センサ インハンドマニピュレーション 回転操作

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

製品の組立や、部品のはめあい作業などの自動化要求を背景に、視覚・触覚センサフィードバックを用いた物体の操り手法が提案されている。ただし、これらは物体との転がり接触を用いて姿勢変更を行う研究が主であり、接触面法線方向を回転軸とする物体の回転姿勢を制御する研究は少ない。さらに、未知重心位置、重量の物体に対し、触覚センサを用いて回転姿勢を制御する試みは行われていない。この理由としては、局所的なすべり情報を検出することの難しさや、力やすべり情報の検出感度の低さ、耐久性の問題がある。例えば、テーブル上にあるペンの端部を持ち、指先上で回転させながら持ち替えを行う場合、ペンを落下させないように重力方向のすべりを検出し、かつペンの回転方向のすべりを制御する必要がある。しかしながら、指先上の局所すべりを高速かつ高分解能、高感度で検出する触覚センサは実現されておらず、このことがロボットハンドによる回転を伴う操り研究の進展を妨げていると考えられる。また仮に、高分解能、高感度な局所すべり検出センサが実現したとしても、物体との物理的な接触による摩耗や化学的な汚染、温度・湿度変化による性能の変化など、耐久性の問題が残る。このほか、素子を高密度に配置することと、配線数増加や信号処理時間の増大などの問題もある。

### 2. 研究の目的

本研究では触覚センサの代わりに、高速、高精度、省配線な近接覚センサを用いることで上記の問題を解決し、高速かつ適応的な操り動作を実現することを目的とする。

### 3. 研究の方法

高速、高精度、省配線な近接覚センサを開発し、ロボットハンド指先に搭載してフィードバック制御を行うことで、目的を実現する。近接覚センサを利用して回転姿勢を制御しようとする試みは世界的に見て本研究が初である。その他の大学・研究機関に先駆けて、①高速、高精度、省配線な近接覚センサを独自開発する点と、②近接覚センサを用いて回転を伴う操り動作を実現する点で独自性、学術性が高いと考える。

### 4. 研究成果

研究成果として、まず、第一に、ロボットからの電磁ノイズの影響を最小限とする近接覚センサ用の同期検波回路を提案した。これは、専用の増幅回路 IC と FPGA 上のデジタルフィルタの組み合わせによる同期検波処理である。デジタルフィルタ内にスイッチングノイズを強力に除去する例外処理を採用することで、従来よりも低ノイズな近接覚センサを開発した。

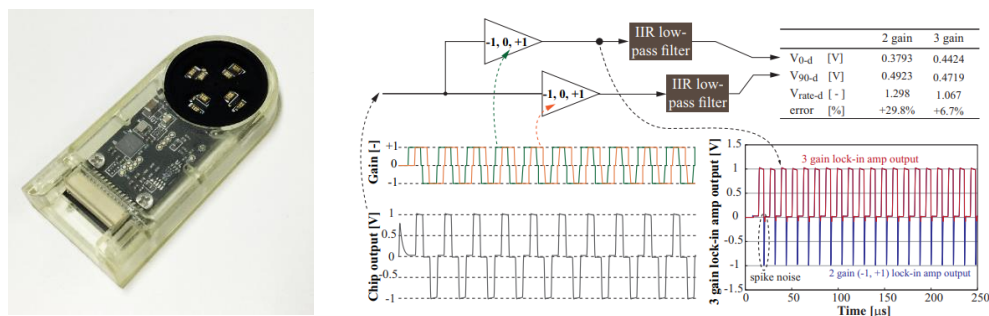


図 1: (左) 近接覚センサの外観 (右) 提案した高精度同期検波処理の概要

第二に、リモコンの電池フタの高速組立作業を実現した。ヒトが目視でティーチングした軌道のみでは、リモコンとフタの間に位置誤差が生じて、自動的な組立は難しい問題があった。これに対し、近接覚センサフィードバックを用いて把持したフタの姿勢をリアルタイムに検出することで、挿入位置を正確に検知可能となり、位置誤差に対してロバストな組立動作を実現した。

第三に、プラスチック面や紙面などに対し、近接覚センサで正確な測距・測角を実現するための専用のキャリブレーションモデルを提案した。従来は拡散反射面（紙製物体）しか高精度に検出できなかったが、提案モデルを適用することで、鏡面反射特性を持つプラスチック面などの検出が可能となった。

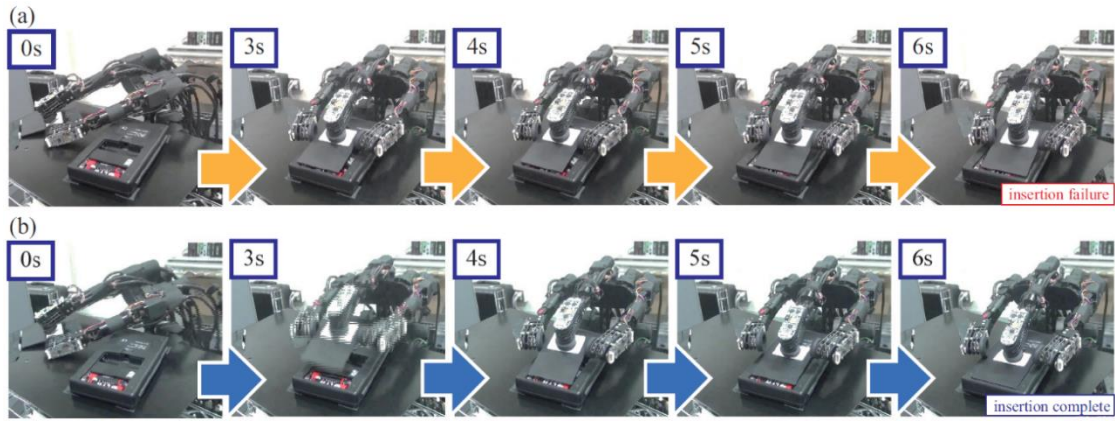


図 2: 近接覚センサフィードバックに基づく薄板部品的高速組立の様子

第四に、開発した近接覚センサとキャリブレーションモデルを用いてプラスチック製の円柱物体の回転マニピュレーションを実現した。実験では、ゼリー飲料の円柱状キャップを把持した後に、把持面の法線方向の回転軸に沿って回転させ、持ち替える動作を達成した。



図 3: 近接覚センサフィードバックに基づくゼリー飲料の回転操作の様子

第五に、近接覚センサの計測値から、物体表面の拡散反射率と鏡面反射率を高速・高精度に推定する手法を提案した。これらの反射パラメータの変化を検出することで、将来的にはさらに、把持部分の見え方の変化を基準とする新たなインハンドマニピュレーションの実現が期待される。

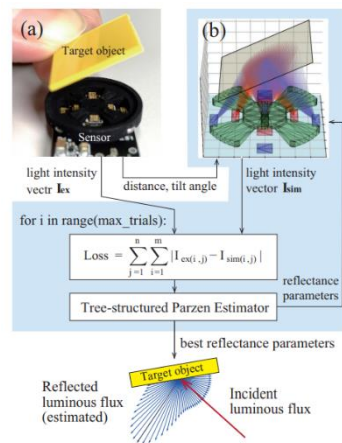


図 4: 近接覚センサ値から物体表面の反射パラメータを推定する手法の処理フロー

なお、第五の取り組みは当初の計画にはなかったが、第三の成果に関する研究を進める過程で派生した研究成果である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Taku Senoo and Masatoshi Ishikawa	4. 巻 3
2. 論文標題 High-Speed High-Precision Proximity Sensor for Detection of Tilt, Distance, and Contact	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 3224-3231
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2018.2850975	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Keisuke Koyama, Kenichi Murakami, Taku Senoo, Makoto Shimojo and Masatoshi Ishikawa	4. 巻 4
2. 論文標題 High-Speed, Small-Deformation Catching of Soft Objects Based on Active Vision and Proximity Sensing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 578-585
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2019.2891091	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 3件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 北村凌, 小山佳祐, 万偉偉, 原田研介
2. 発表標題 二段階NNモデルによる近接覚センサの高速・高精度キャリブレーション
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小山佳祐, 黒田和樹, 万偉偉, 原田研介
2. 発表標題 触覚機能を内包する高速・高精度近接覚センサ
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020 in Kanazawa
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小山佳祐, 下条誠, 万偉偉, 原田研介
2. 発表標題 近接覚センサを用いたプリグラスプ制御の過渡応答と安定性の解析
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2020 in Kanazawa
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小山佳祐
2. 発表標題 近接覚センサを含むデプスセンサの開発状況とロボット応用
3. 学会等名 第26回画像センシングシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keisuke Koyama
2. 発表標題 Reactive Control for High-Speed Grasping Using Optical Proximity Sensors
3. 学会等名 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS, 1st Workshop on Proximity Perception in Robotics, Mo-WS20) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Taku Senoo and Masatoshi Ishikawa
2. 発表標題 High-Speed High-Precision Proximity Sensor for Detection of Tilt, Distance, and Contact
3. 学会等名 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Koyama, Kenichi Murakami, Taku Senoo, Makoto Shimojo and Masatoshi Ishikawa
2. 発表標題 High-speed, Small-deformation Catching of Soft Objects based on Active Vision and Proximity Sensing
3. 学会等名 2019 IEEE/RAS International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小山佳祐, 村上健一, 妹尾拓, 下条誠, 石川正俊
2. 発表標題 触覚機能を内包する高速・高精度近接覚センサー第2報: 柔軟物を潰さずに高速キャッチするための視覚・近接覚制御の提案 -
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小山佳祐, 妹尾拓, 下条誠, 石川正俊
2. 発表標題 触覚機能を内包する高速・高精度近接覚センサ 第三報: Super tactile-based active touchによる薄板部品的高速・低反力挿入
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2019 (ROBOMECH2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山下智史, 小山佳祐, 万 偉偉, 原田研介
2. 発表標題 高精度近接覚センサによる物体表面の反射パラメータ探索とNNモデルを用いた高速化
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2022 in Sapporo
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山佳祐
2. 発表標題 ハードウェア開発から始める触・近接覚センサベースド・マニピュレーション
3. 学会等名 SICE SI部門 マニピュレーション部会, マニピュレーション 冬の学校(2021) (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 近接覚センサ	発明者 小山佳祐	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-084273号	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ロボットハンド、ロボットハンドの制御装置、およびロボットシステム	発明者 小山佳祐	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-095392号	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 アレイ型近接覚センサ	発明者 小山佳祐	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-106937号	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

高速・高精度近接覚センサを用いた紙風船キャッチ (2018-) <a href="http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/fusion/prox1/index-j.html">http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/fusion/prox1/index-j.html</a> 高速視覚・近接覚を用いたマシュマロキャッチ (2018-) <a href="http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/fusion/vision_proximity1/index-j.html">http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/fusion/vision_proximity1/index-j.html</a>
--

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
---------	---------