

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01800

研究課題名(和文)複数種類のグリッパを仮定したロボットマニピュレータの作業計画と制御

研究課題名(英文)Task Planning for Robot Manipulators with Selective Use of Multiple Grippers

研究代表者

原田 研介 (Harada, Kensuke)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：50294533

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：ロボットによる組立作業において、ロボットは部品に応じてグリッパを取り換えながら作業を行うのが普通である。しかしながら、どのような作業においてどのようなグリッパを選択したら良いかは、ロボットシステムを設計するエンジニアの経験と勘に基づいてきた。このような問題に対して、本研究ではタスクやワークに応じてグリッパを自動的に設計し、かつ作業を通じてグリッパの数を最小化するような手法を確立する。さらに、各グリッパに対して適したフィードバック制御についても明確にする。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今まで、グリッパは人の経験と勘により設計されていたものに対して、自動設計の概念を導入した。これにより、ロボットシステムを設計する技術者の負担を低減し、組立工程のロボット化の進展が期待できる。また、学術的には、対象物の与えられた形状に対して、最適な指形状を決定する問題を定義した。これは、幾何学と力学が融合することによって実現される問題であり、学術的な観点からもグリッパの自動設計という新たな問題を見つけ、これを解決する道筋をつけたことは意義深い。

研究成果の概要(英文)：A robot usually performs an assembly task with exchanging the gripper according to the grasped object. However, the gripper was manually designed based on the experience of a robotic system designer. To cope with such a problem, this research provides a method for automatically designing an adequate gripper for given task. In addition, we minimize the number of grippers used to assemble a product composed of a number of works. We further make clear the feedback controller used for the designed gripper.

研究分野：知能ロボット学

キーワード：組立作業 ハンド グリッパ 動作計画

1. 研究開始当初の背景

近年、ロボットによる製品の組み立てはますます一般的になっている。製品は様々な形状の部品で構成されているため、通常は各部品を把持するための専用の把持ツールを多数用意する必要がある。この場合、ロボットは手首に備え付けた把持ツールを交換する装置を使い、複数の把持ツールの候補から使用する把持ツールを選択して、組立作業を行う。ここで、このような把持ツールはロボットによる組立工程を設計する技術者の経験に従って設計されてきた。そのため製品に含まれる部品の数が多いほど、多くの把持ツールを人手によって設計する必要が生じる。その結果、ロボットが組み立てる製品を頻繁に変更しなくてはならない場合、ロボットを含む製造装置をセットアップするために多くの時間と労力を要することになる。このような問題に対処するため、本研究は部品の形状解析に基づいてロボットによる組立作業のための把持ツールの総数が最小になるように自動的に設計し、把持ツールの交換も含めた組立作業計画を行う。

2. 研究の目的

ロボットによる組立作業において、ロボットは部品に応じてグリッパを取り換えながら作業を行うのが普通である。しかしながら、どのような作業においてどのようなグリッパを選択したら良いかは、ロボットシステムを設計するエンジニアの経験と勘に基づいてきた。このような問題に対して、本研究ではタスクやワークに応じてグリッパを自動的に設計し、かつ作業を通じてグリッパの数を最小化するような手法を確立する。さらに、各グリッパに対して適したフィードバック制御についても明確にする。

3. 研究の方法

1) グリッパの自動設計

部品の形状が与えられたときに、その作業に最も適したハンドを決定する問題を解く。複雑な形状をした部品を、2次曲面による近似手法に基づいて、円柱や直方体などシンプルな形状モデル（形状プリミティブ）の集合として近似する。円柱で近似した場合は、その円柱の半径に応じて円柱を端点から把持できるような3指ハンドの開閉幅を決定する。また、直方体で近似した場合は、直方体の辺長に応じて2指平行ハンドの開閉幅を決定する。

また、複雑な形状をした部品を単純な形状プリミティブで近似し、種々の形状プリミティブに適用可能な、新たなハンドの機構設計を行う。ハンドや部品のモデルをシミュレータ内に用意して、部品を組み立てるためのハンドをシミュレーションに基づいて計画する。提案するハンドにおける指の形状や開閉幅など詳細パラメータを対象物の形状分析により求める手法を構築する。

2) 複数種類のグリップを仮定したロボットの組立作業計画

最適なハンドを導出する手法を用いて、ロボットの作業計画手法を構築する。一連の作業動作を計画する場合、まず優先度の一番高いハンドを各作業要素に用いることを考え、その後、ツールチェンジの回数になるべく少なくなるように徐々に優先度が低いハンドを試すことを考える。

さらに、組立過程の途中では部品が合わさる条件などに応じて、指の形状や把持姿勢が限定される。このような組立作業における各シーケンスの特徴を考慮して、グリップの指形状の自動設計手法を開発する。提案する手法を、10個程度の部品から構成される製品を用いて、これを設計したグリップを用いてロボットで組み立てることにより確認する。また、実験においては、組立動作の自動計画手法を使って、動作を自動的に生成する。

3) 新たな組立作業用グリップ

組み立て作業において、一つのハンドで把持可能な部品の形状に関するクラスを広げることことを目的としてハンドの設計を行う。L字を有する固定指と可動指との組み合わせに基づくグリップを提案し、このグリップによって様々な形状を有するペグを穴に挿入する作業について考える。

4) 組立作業におけるセンサフィードバック

組み立て作業において、センサ情報をフィードバックすることで、単一のハンドで把持可能な部品や作業のクラスを更に広げること考える。組立作業において精密に位置・姿勢を計測して制御するために、視覚（近接覚）の情報を利用する。

複数方向からの拘束を受けている部品を操ることを想定し、手首に搭載された視覚センサにより継続的に対象物の姿勢をモニタリングする手法を構築し、これを組立作業に適用する。

さらに、ハンドに搭載したカメラを用い、組立対象物の姿勢を観測しながら組立実験を行う。ハンドで部品を把持した状態で、対象物の姿勢を手のひらに搭載されたカメラにより計測する。次に、部品を環境に押し付けることで姿勢を変形させ、その姿勢を計測しながら、組立可能な姿勢になるかどうかをチェックし、組立可能となった時点で組立を行う。

4. 研究成果

1) グリップの自動設計・組立作業計画

構築したロボットの作業計画手法、ならびに、より複雑な形状をした部品に対するハンド設計手法を用い、評価実験を行った。評価実験においては、飛行機の玩具における12個の部品の組み立て問題を考えた。各部品を把持し組立可能なハンドを設計した結果、12個の部品を5個のグリップで把持可能であることが分かった。ついで、実際にハンドを設計し、これと作業計画手法とを合わせることで、実機での組立実験を行った。

これにより、組立作業の概要が与えられると、グリップを自動的に設計し、更にロボットが組立作業を行う動作行うまでの工程が自動化された。

2) センサフィードバック

把持準備動作としてペグを水平方向に動かすことにより、視覚センサを併用することなしにペグの初期位置誤差に対応可能となるペグの形状を確認した。

ハンドに視覚センサ（近接覚センサ）を搭載し、対象物の貼り付けたARマーカの情報により対象物の位置・姿勢を計測した。それに基づいて、対象物姿勢をグリップの中で変えるExtrinsic Manipulationが有効に行うことができることを確認した。これにより、組立作業中に組立部品の姿勢を補正しながらロバストに組立作業を行うロボットの動作が実現した。

また、カメラの筐体の多指ハンドによる組立が可能であることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Mohamed Raessa, Damien Petit, Weiwei Wan, and Kensuke Harada	4. 巻 0
2. 論文標題 Visually Extrinsic Manipulation for Assembly Tasks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 202-207
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICARM.2019.8833631	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 -
1. 著者名 Kento Nakayama, Weiwei Wan, and Kensuke Harada	4. 巻 0
2. 論文標題 Designing Grasping Tools for Robotic Assembly Based on Shape Analysis of Parts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots	6. 最初と最後の頁 419-425
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/Humanoids43949.2019.9035040	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 -
1. 著者名 Kensuke Harada, Kento Nakayama, Weiwei Wan, Kazuyuki Nagata, Natsuki Yamanobe, and Ixchel G. Ramirez-Alpizar	4. 巻 0
2. 論文標題 Tool Exchangeable Grasp/Assembly Planner	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Intelligent Autonomous Systems 15 - Proceedings of the 15th International Conference IAS-15	6. 最初と最後の頁 799-811
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-030-01370-7_62	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 -
1. 著者名 Raessa Mohamed, Sanchez Daniel, Wan Weiwei, Petit Damien, Harada Kensuke	4. 巻 4
2. 論文標題 Teaching a robot to use electric tools with regrasp planning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CAAI Transactions on Intelligence Technology	6. 最初と最後の頁 54~63
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1049/trit.2018.1062	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8件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 中山 賢斗, 万 偉偉, 原田 研介
2. 発表標題 ロボットによる組立作業のための最適な把持ツール選択手法
3. 学会等名 第20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 2019年

1. 発表者名 Mohamed Raessa, Damien Petit, Weiwei Wan, and Kensuke Harada
2. 発表標題 Extrinsic Manipulation with Visual Feedback for Robotic Assembly
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中山賢斗, 万偉偉, Ramirez-Alpizar, Ixchel G., 原田研介
2. 発表標題 把持ツール選択及び交換を含む組立作業計画
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mohamed RAESSA, Damien PETIT, Weiwei WAN, Kensuke HARADA
2. 発表標題 Robust Extrinsic Manipulation using Vision Based Self Correction
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中山賢斗, 万偉偉, ラミレス・イクシエル, 原田研介
2. 発表標題 凸分解を用いたロボットによる組立作業のためのツール選択手法
3. 学会等名 第19回システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kensuke Harada, Kento Nakayama, Weiwei Wan, Kazuyuki Nagata, Natsuki Yamanobe, and Ixchel G. Ramirez-Alpizar,
2. 発表標題 Tool Exchangeable Grasp/Assembly Planner,
3. 学会等名 Proceedings of International Conference on Intelligent Autonomous Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口明彦, 松原崇充, 原田研介
2. 発表標題 マニピュレーションのためのロボット知能と学習
3. 学会等名 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 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 原田研介
2. 発表標題 人工知能を用いた多品種少量生産のロボット化
3. 学会等名 第3回KRPフォーラム「3回でつかむ『人工知能×ものづくり』～最先端のAI・ロボットと製造業の未来～ (招待講演)
4. 発表年 2017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
研究分担者	万 偉偉 (Weiwei Wan) (20760002)	大阪大学・基礎工学研究科・准教授 (14401)	
研究分担者	R A M I R E Z I X C H E L (Ixchel Ramirez) (00780850)	大阪大学・基礎工学研究科・助教 (14401)	

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