

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820082

研究課題名(和文) 近接センサを備えたロボットハンドによる高速・ロバストな非接触センシング技術の開発

研究課題名(英文) Development of high-speed and robust non-contact sensing by using proximity sensors on robot fingertips

研究代表者

鈴木 陽介 (Suzuki, Yosuke)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・助教

研究者番号：20582331

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の成果として、種々の工業製品や農作物など、様々な大きさ・形状を有するものや正確な形状が不明なものを、多指ロボットハンドにより素早く把持する手法を提案しました。本手法を用いると、指先に搭載した光学反射型近接センサによる高速なセンシングを行いながらロボットハンド全体を対象物に近づけることで、ロボットハンドの各指が把持対象物の表面から一定距離だけ離れた面に沿ってなぞるような動かし方が可能になります。ビジョンセンサによって把持対象物の大まかな位置や反射特性を推定する手法と併せることで、りんごやぬいぐるみ等の把持が可能であることを示しました。

研究成果の概要(英文)：This study proposed a method that a multi-fingered robot hand quickly grasped various objects, such as industrial products and crops, which had different size and shape. In this method, the robot hand approaches to an object with the proximity sensors on the robot fingertips detecting the object in high-frequency. As a result, the fingers of the robot hand can be moved to trace the object's surface with keeping a constant distance. Combining the method with vision sensing which estimated the position and reflectance property of the object, it was shown that the robot hand could grasp various objects such as an apple, a soft toy, and so on.

研究分野：ロボティクス

キーワード：非接触センシング 近接センサ 未知物体把持 センサフュージョン

1. 研究開始当初の背景

【社会的背景】

近年の通信販売の利用拡大に伴い、配送センターでの製品の梱包作業をロボット化する動きが進んでいる。通信販売の利用拡大に伴い、配送センターでの製品の梱包作業をロボット化する動きが進んでいる。2015年には第1回 Amazon Picking Challenge が開催されたように、流通分野でのロボット化の需要は世界的にも高い。こうしたマテリアルハンドリングにおいては、ロボットには作業の実行精度と同様に、作業の実行速度もまた求められる。

【学術的背景】

マテリアルハンドリングの実行速度を低減する大きな要因として、ロボットが対象物を把持する直前の動作速度の遅さが挙げられる。接触時の製品の破損を防ぐには、ロボットのエンドエフェクタを低速で動かす必要があるためである。多種多様な材質・形状の製品を扱う場合、あらゆる製品を高い精度で整列しておくことや、ビジョンセンサで位置・姿勢推定をすることは難しい。結果として、予想される位置・姿勢誤差以上離れた距離からエンドエフェクタを低速で近づけ、接触を検知した時点で停止するといった制御の必要性が生じてしまう。

こうした位置・姿勢推定が難しい対象物を把持することを目的とした研究事例は、従来、主として柔軟機構を用いる方法と圧力センサ等を用いた制御による方法に大別される。しかしながら、前者では把持状態の推定が難しく、把持後の対象物を適切な位置に置くなどのタスクに不利である。また、後者では、対象物の柔らかさによってはセンサが接触を検知するまでに大変形が生じる可能性があり、製品の品質低下や把持失敗につながる。

2. 研究の目的

本研究課題では、マテリアルハンドリングにおける作業精度と作業速度を向上させる仕組みとして、近接センサ素子による条件反射的アクティブセンシング機能を備えたロボットハンドの研究開発を行うことを目的とした。多指ロボットハンド手掌部と指部の全体を近接センサ素子実装面とし、各指の旋回・屈曲動作によって素子配置をアクティブに変更可能とする。把持対象物の形状に合わせて最適なセンシング領域を物体に触れる前から、いわば“触れているかのような”手探り動作を可能とする。

具体的には、多指ロボットハンド手掌部と指部の全体を近接センサ素子実装面とし、各指の旋回・屈曲動作によって素子配置をアクティブに変更可能なセンシングシステムを開発することを目的とする。すなわち、小さな物体に対しては各指の間隔を狭めて包み込むように検出することで外部環境の影響を除去し、大きな物体に対しては指を開くことで物体の全貌を捉える。このとき、物体の

大きさや形が未知であっても、把持に至るまでの短時間のアクティブセンシングによって、検出に最適なハンド形状が形成されるようにする(図1)。



図1 対象物のサイズに応じたアプローチ

3. 研究の方法

従来我々が取り組んできた、赤外光の反射を利用した近接センサ素子を用いたネット状近接覚センサを応用する。すでに多指ロボットハンドの手のひらおよび各指先に同センサを実装し、手のひらからのセンシングでは対象物の位置を、各指先からのセンシングでは対象物面の傾きを検出することができている。しかしながら、これらのセンサ出力には対象物のサイズ・色・形状といった複数の要因が影響するため、ある時刻でのセンサ出力のみからでは対象物とハンドの関係を一意に決定することができない。

そこで、センサ出力に基づくフィードバック動作によって対象物との接触を回避することを優先的に行いながらハンドを近づけ、その過程での各指先のセンサの位置・姿勢およびセンサ出力の時系列の情報から対象物の状態を推定する手法を導入する。本手法により、対象物へのアプローチ速度を小さくしなくとも接触を回避でき、把持実行に適切な指配置となるようにハンドを制御することができる。

提案手法を実行するうえでのパラメータ設定および実用性の向上のため、幾何光学に基づく光学シミュレータを利用する。本シミュレータがネット状近接覚センサの出力特性を高い精度で予測できることは、既に確認されている。ただし、素子配置が動的に変化することを表現できるような修正を加える。

提案するアクティブセンシングシステムは、ハーモニック・ドライブ・システムズ社製の多指ロボットハンドに導入する。本ロボットハンドは、バックラッシュが少なく高速・高精度の動作が可能のため、提案するシステムの応用先として好適である。このとき、近接センサ素子として薄型の表面実装部品を用いることで、既存のハンドパーツに対してフレキシブル基板でカバーする形での実装を行う。実験データの集録は、本ロボットハンド・アームシステムのターゲットマシンである dSPACE (dSPACE 社製) を用いて行う。

完成したロボットシステムを用い、アクティブセンシングによって対象物の大きさ・形状に依らないロボスタ性と高速性を実現し、非接触手探り動作の制御アルゴリズムを開発する。理論的考察と実機実験による裏付けをもって手法の有用性を検証する。

4. 研究成果

【平成 26 年度】

未知形状物体の把持に対する戦略として、あらかじめ指を閉じた状態で物体への接近を行い、指部の近接センサ情報を利用して、物体の輪郭から数ミリメートル離れた位置をなぞるようにして指を移動させる手法を導入した。我々はこれを形状適応把持と呼んでいる。通常の把持戦略では、事前に推定された物体の大きさに合わせて指を開いて物体に接近させるのに対して、形状適応把持では、物体の大きさが未知であっても、ロボットハンド指先のセンサフィールドバックによって検出した物体面との平行および一定距離を維持することで、様々なサイズの対象物に対応できる。

また、シミュレーションに基づく検討から、形状適応把持の距離のフィードバック目標値を動作実行中に可変とする方法を提案することで、円柱、角柱を含む多様な形状の対象物に対して提案手法が適用できることを確認した。本手法により、ごく簡易的な視覚センサ情報処理を用いて把持目標物体の位置さえ把握できれば、その位置にロボットハンドを近づけるだけで形状に寄らず、物体の形状に合わせた適切な把持姿勢での把持が可能となった。

【平成 27 年度】

形状適応把持の性能向上を主として行った。Microsoft Kinect から得られるビジョン情報処理との融合により、形状適応把持が適切に実行されるために、各指先の初期アプローチ位置が近接センシングに有利な表面となるようなアプローチ軌道決定方法を導入した。近接センサの検出感度は検出面の曲率が小さいほど向上するため、シミュレータを用いて種々の曲率面に対する指先センサ位置を網羅的に変化させた結果から近似式を導き、複雑形状を有する把持対象物における指先アプローチ目標位置を決定する動作計画アルゴリズムを作成・実装した。

提案する把持動作計画のフローチャートを図 2 に示す。最初に、Kinect から得られた点群データから把持対象物に該当する点群のみが抽出する処理を行う。次に、抽出された点群の図心と主軸方向を算出することで、ロボットハンドのアプローチ目標位置・姿勢の初期値を設定する。さらに、対象物を構成する点群の RGB カラー情報、曲率半径、法線方向に基づいて、各点近傍における近接センサ感度を推定する。以上の情報を基に、ロボットハンドの初期姿勢として指同士を窄めた状態から対象物に向けてアプローチする。このプロセスにおいて、指先の近接センサの出力が有意な反応量を示したときに、姿勢と距離のフィードバックを開始する。さらにロボットハンドを押し込み、すべての指の中心における法線ベクトルの総和がアプローチ方向において釣り合ったときに、ロボットハンドの移動を停止して把持を実行する。

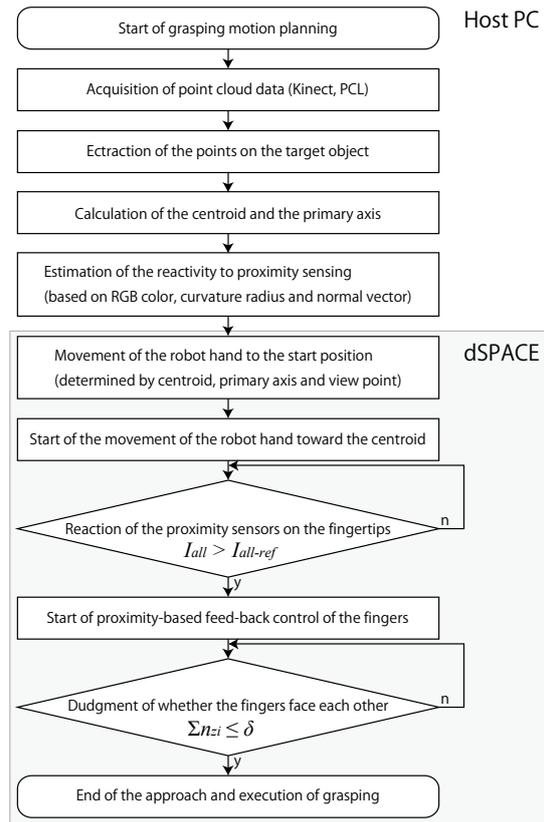


図 2 把持動作計画のフローチャート

本アルゴリズムの利点は、把持対象物のうちビジョン情報が得られた部分のみから直ちにロボットハンドのアプローチ動作を開始できることと(図 3)、近接フィードバックによって狭い動作範囲での指先の動作が実現されることである(図 4, 5)。この近接フィードバックは、ビジョンセンシングにより事前に得られた情報を利用することで、対象物の形状や表面正常に応じたフィードバック動作を実現することができる。ロボットアーム・ハンドシステムによる実機実験により、食品模型(りんご)やぬいぐるみを含む多様な形状の物体に対して提案手法が有用であることを示した。

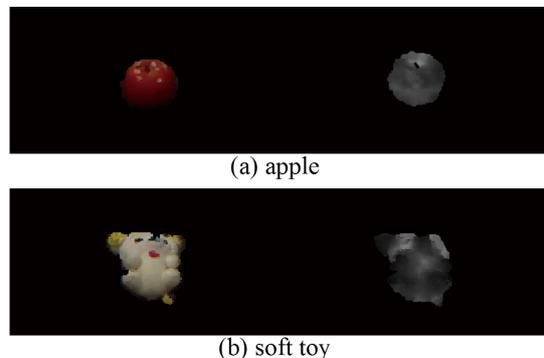


図 3 ビジョン情報に基づく近接覚感度推定結果(対象物:(a)りんご,(b)ぬいぐるみ)

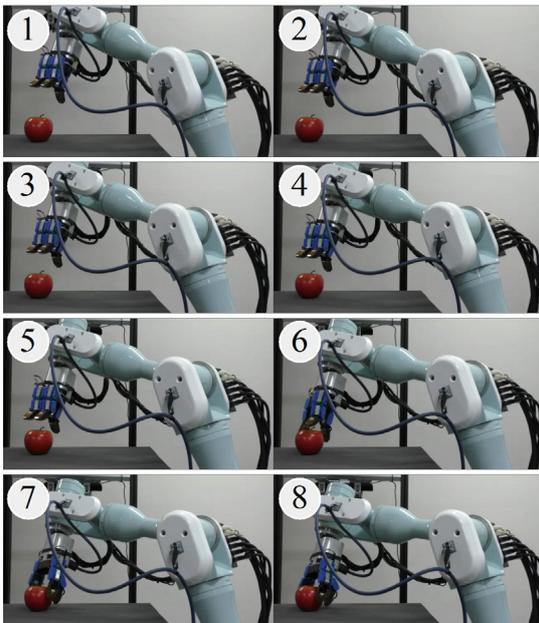


図4 ロボットハンド・アームシステムによる形状適応把持（対象物：りんご）

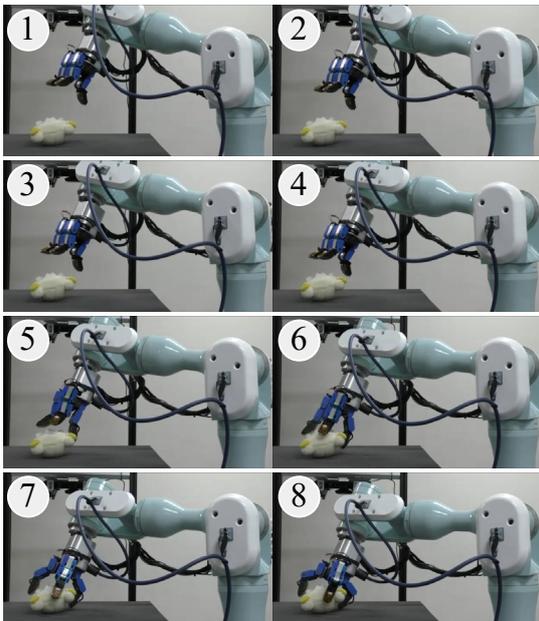


図5 ロボットハンド・アームシステムによる形状適応把持（対象物：ぬいぐるみ）

〔産業財産権〕
○出願状況（計 0 件）
○取得状況（計 0 件）

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 陽介 (SUZUKI Yosuke)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・
助教

研究者番号：20582331

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 1 件）

鈴木陽介 他，ネット状近接覚センサを用いた非接触手探り動作による未知物体把持の研究，第33回日本ロボット学会学術講演会，2015年9月3日～5日，東京電機大学東京千住キャンパス（東京）

〔図書〕（計 0 件）