

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2015

課題番号：25700028

研究課題名(和文) 感覚フィードバックと体勢感覚情報の融合による巧みな物体マニピュレーション手法

研究課題名(英文) Dexterous object manipulation by combining sensory-feedback control and proprioceptive feed-forward control

研究代表者

田原 健二 (TAHARA, KENJI)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80392033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,500,000円

研究成果の概要(和文)：指先接触モデルについて、エッジ部分への接触を考慮したモデルへ拡張し、その有効性を実験で確認した。また、透明シリコンゴムとカメラを用いた柔軟接触センサを開発し、接触面位置・接触力計測が可能であることを示した。そして柔軟触覚センサを用いた物体把持手法を開発し、触覚情報に誤差や遅れが含まれている場合でも安定に物体把持が可能であることをシミュレーションおよび実験で示した。また、Kinect v2を用いた把持物体の位置・姿勢推定手法を提案し、位置・姿勢推定が100ms以内で行えることを確認した。また、これまでの把持手法では指の本数が3本の場合に限定されていたが、3本以外の多指ハンドへの拡張を行った。

研究成果の概要(英文)：A commonly-used contact model of a soft fingertip was enhanced to the model which can consider a contact with an edge of an object. It's plausibility was established through experiments. A new soft fingertip contact sensor was developed which is composed of a transparent silicone rubber and camera, and it's capability to measure a contact position in addition to a contact force was demonstrated through experiments. A new object grasping and manipulation method using fingertip contact sensor was developed, and it's effectiveness was shown through numerical simulations and experiments. An object position and attitude estimation method using Kinect v2 was developed, and it made sure that it can estimate an object position and attitude with 100ms or less. In addition, our object grasping and manipulation controller was enhanced to use a general multi-fingered robotic hand having any number of fingers.

研究分野：ロボティクス

キーワード：多指ハンド 物体把持 時間遅れ フィードフォワード フィードバック

1. 研究開始当初の背景

人間は、様々な感覚器から得た外界センシング情報をフィードバックすることで運動を生成している。しかし、感覚器からの情報には無視できない時間遅れがあることが知られており、例えば鍛え上げられたアスリートでさえ、センシング情報をフィードバックして運動を生成するまでおよそ100ms~200msの遅れがある。よって、単純に感覚フィードバックのみを用いた運動戦略では、素早い運動が困難である。一方で、人間は学習などによる蓄積情報と内界センシング情報を基に体勢感覚を生成し、これを基にフィードフォワード制御を取り入れることによって、フィードバックに含まれる時間遅れを意識させない実時間運動生成を実現している。しかし、人がどのようにフィードバック制御とフィードフォワード制御を組み合わせることで運動を生成しているのかについては、明確な解は得られていない。これまでの物体マニピュレーションに関する研究の多くは、把持物体の形状や質量が予め与えられており、それを基にした把持計画により物体把持を行っている。しかし、把持計画に頼った物体把持では、把持対象が既知であるという前提でのみ有効であり、事前知識と実際の情報の乖離が無視できない大きさになると、綿密な把持計画はむしろ障害となると、不確定な環境においても、適応的でロバストな物体把持が未だ実現困難である理由は、主にここにある。

2. 研究の目的

本研究では、外界センサを用いた感覚フィードバック制御手法と、内界センサを用いた体勢感覚情報によるフィードフォワード制御手法の、理論的枠組みでの融合を行い、全く未知の物体に対して安定かつロバストに動的把持・操作が可能となる新しい動的物体把持・操作を実現する制御基盤の構築を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 柔軟指先モデルの構築

柔軟指先の転がり接触モデルを確率的手法によりモデル化する。その際、柔軟性による大変形と転がりを同時に考慮できるモデルを構築する。

(2) フィードフォワードとフィードバックが渾然一体となった制御則の構築

外界センサ情報を利用せず、ロボットハンドの内界センサのみを用いて構築した物体の仮想位置・姿勢情報を物体把持の制御量として利用する。同時に、時間遅れやノイズを含んだ外界センサ情報を視覚や触覚センサによって獲得し、その情報を基に仮想情報の目標値を更新していく制御則を構築する。

(3) 多指ハンドアームシステムへの実装

6 自由度アーム先端に 3 本指ロボットハンド

を搭載したハンドアームシステムを構築し、提案した制御手法の有効性を確認するための実験を行う。

4. 研究成果

(1) 柔軟指先モデルの構築について

これまで平面に限定されていた指先の柔軟変形に伴う転がり接触モデルについて、物体のエッジ部分への接触を考慮した変形モデルへ拡張した。エッジ部分における柔軟接触部分においてモーメントが発生し、これによって変形部分にポテンシャルが生成され、ポテンシャル最小点で安定となる仮説をたて、これを基にしたモデリングを行い実験によってそのモデルの有効性を確認した。

また、柔軟指の構造を利用した新しい安価で柔軟な接触センサを開発した (Fig.1 参照)。透明なシリコンゴムで指先を成形し、内部からカメラを用いて接触面の变形を計測することで、大変形にも対応可能なセンサとした。画像処理技術を用いて指先の接触面位置および接触力の計測が可能であることを示した。

(2) フィードフォワードとフィードバックが渾然一体となった制御則の構築について

これまで視覚センサのみを用いる事を前提としていたが、新たに触覚センサを用いた手法を開発し、触覚情報に誤差や遅れが含まれている場合において、安定・正確に物体把持・操作が実現可能であることを数値シミュレーションにより示し、また EPFL の共同研究グループの協力により、実験による有効性の確認を行った。Fig.1 に従来手法 (センサーレス把持手法) を用いた場合の物体姿勢 (姿勢行列の 9 つの要素) を示す。仮想物体情報と真値の物体姿勢が異なるため、明らかに大きな誤差が存在する。一方、Fig.2 に新たに提案した手法 (触覚センサ情報を用いて、目標仮想物体姿勢を逐次更新していく方法) による物体姿勢を示す。触覚センサによる接触点位置情報に、無視できない大きさのノイズと時間遅れが含まれているが、概ね真値が目標姿勢へ収束しており、姿勢制御性能が大



Fig.1: 透明シリコンを用いた柔軟指接触センサ

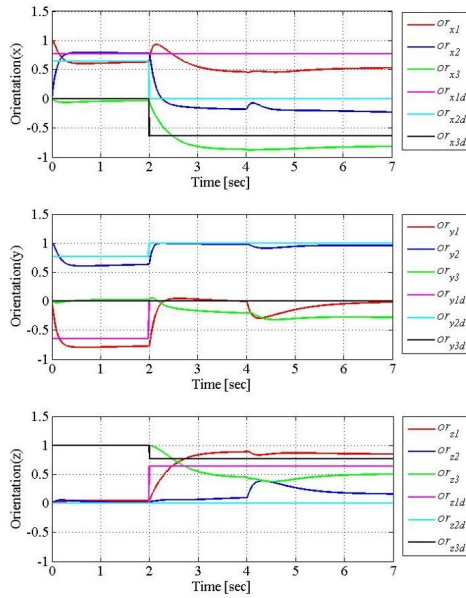


Fig.2: 従来手法による物体姿勢制御

幅に向上していることが確認できる。また、視覚センサとして Kinect v2 を用いた把持物体の位置・姿勢推定手法を提案した。本手法では、パーティクルフィルタもしくは ICP を用いた把持物体の位置・姿勢推定を実時間で行うが、直接フィードバック情報として利用しないため精度や高速性が不要ない。よって安価・容易に計測可能なセンシング手法として開発した。結果として、3次元物体の位置・姿勢推定がおよそ 100ms 以内で行えることを確認した。また、ロボット制御用 PC と物体位置・姿勢推定用 PC をネットワークで接続することにより、概ね 100ms の時間遅れで物体の位置・姿勢推定値を制御系に組み

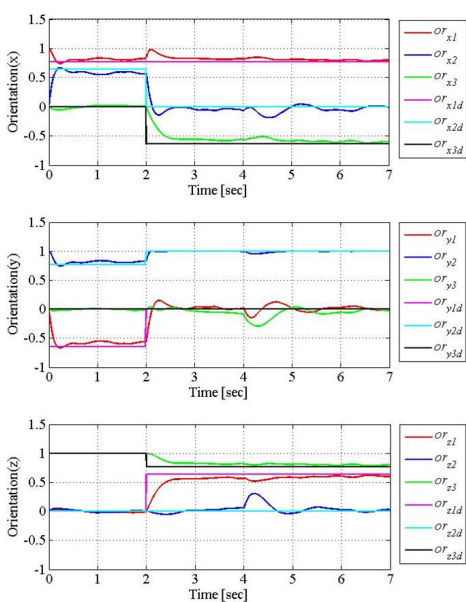


Fig.3: 提案手法による物体姿勢制御

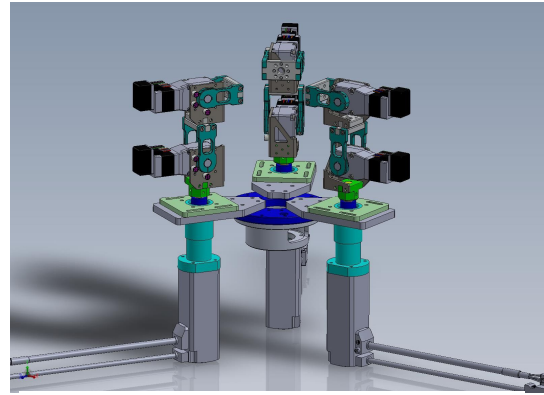


Fig.4: 3本指9自由度ロボットハンド

ことが可能となった。また、これまで利用していた仮想物体位置・姿勢情報では、指の本数が3本の場合に限定されていたが、制御則の構築方法を一般化することにより、3本以外の多指ハンドへの利用が可能となった。

(3) 多指ハンドアームシステムへの実装について

トルク制御可能な6自由度汎用シリアルリンク型ロボットアームの設計・製作を行い、また、エンドエフェクターとして3自由度の指3本で構築された多指ロボットハンドを設計・製作した (Fig.4 参照)。NI 社製の CompactRIO を用いてシステム全体を構築しており、実時間トルク制御を実現している。本研究で提案した制御手法について、本実験システムを用いて実証を行っており、今後も引き続き様々な条件で実験を行っていく予定である。

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)

[学会発表](計5件)

M. Li, H. Yin, K. Tahara, and A. Billard, "Learning Object-Level Impedance Control for Robust Grasping and Dexterous Manipulation," Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat. pp. 6784-6791, 2014.

土井佑介, 田原健二, "触覚情報に基づく仮想物体情報を用いた物体把持・操作", 第19回ロボティクスシンポジウム, pp. 446-452, 2014.

大藤康平, 辻徳生, 田原健二, "パーティクルフィルタによる物体の位置・姿勢推定値を用いた物体把持・操作手法", ROBOMECH2015, 1P2-008, 2015.

T. Tsuji, K. Baba, K. Tahara, K. Harada, K. Morooka and R. Kurazume, "Grasp stability evaluation based on energy tolerance in potential field," Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots, Syst. pp. 2311-2316, 2015.

吉川裕貴, 田原健二, "透明シリコンとカ

メラを用いた柔軟指先の剪断力推定センサの開発”,第16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論文集, 2L3-1, 2015.

辻徳生,馬場恒星,田原健二,原田研介,諸岡健一,倉爪亮,“柔軟指先と関節変位によるポテンシャル場の許容外力エネルギーに基づく把持安定性評価”,第33回日本ロボット学術講演会予稿集, 1G3-02, 2015.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.hcr.mech.kyushu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

田原 健二 (TAHARA, Kenji)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 80392033