

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20360117

研究課題名（和文）ロボットハンドにおける動的柔軟指先のモデル化と動的物体把持の実現

研究課題名（英文）Dynamic contact modeling of a soft fingertip and realization of dynamic object grasping for a multi-fingered robotic hand

研究代表者

田原 健二（TAHARA KENJI）

九州大学・システム情報科学研究所・特任准教授

研究者番号：80392033

研究成果の概要（和文）：これまでの2本指による動的把持手法から3本指へ拡張することで持ち替え動作を導入し、把持物体の大きな姿勢変化を実現させた。また、外界センサレスで把持物体の位置・姿勢を制御する手法を提案した。さらに指先捻転自由度を用いた新しい外界センサレス動的物体操作手法を提案し、実験によりその有効性を確認した。また、指先および物体形状を任意曲面とした場合の把持モデルを提案し、シミュレーションでその有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：We extend the dynamic stable object grasping method by a pair of robotic fingers, in which we have been proposed previously, to that by a triple robotic fingers. A regrasping task could be accomplished by this extension and it realized a drastic object attitude control. An external sensorless dynamic object manipulation method was newly proposed, which can realize an object position and attitude control without use of any external sensor. Another dynamic object grasping and manipulation method by using a novel robotic fingers system, in which each fingertip owns torsional joint, was newly proposed, and its usefulness was verified through experiments. A new object grasping model, in which both contour of fingertip and object are arbitrary smooth curve, was newly proposed, and its effectiveness was verified through numerical simulations.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2009年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，知能機械学・機械システム

キーワード：ロボティクス，ロボットハンド，柔軟モデル，ダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

ロボット工学においてこれまで数多くの多指ロボットハンドが開発されている。しかしその多くは実用化されておらず、人の手のような動的で器用な把持を実現させた例は極めて少ない。理由の一つはそれを実現可能な制御則を見出すことが困難なことである。こ

れまでの多指ハンドによる物体把持戦略は、プランニングによるフィードフォワード入力を基本とした制御手法が主流であり、対象物やロボットハンドの正確な物理パラメータが必要とされるため、実用性において多くの課題が残されていた。しかし、有本等により、プランニングに頼らずセンソリーフィー

ドバックのみによって動的に対象物の安定把持および姿勢制御を2本指ロボットハンドで行えることが示された。その後、外界センサレスへ拡張された。本制御手法は、物体の物理パラメータを必要とせず、実用的でロバストな把持が可能であるが、まだ理論的枠組みの基礎を構築した段階であり、実世界で役立つロボットハンドを構築するために残された課題を解決することである。

2. 研究の目的

本研究では、具体的に下記①～⑤の課題を解決する事を目的とする。

- ① 3本以上の指を有するハンドシステムを用いた物体把持への拡張。
- ② 動的な柔軟指のモデル化。
- ③ 柔軟指先モデルによる3次元回転接触拘束の厳密なモデル化。
- ④ 任意形状の指先を用いた物体把持手法への拡張。
- ⑤ 実機を使った物体把持についての十分な実験検証。

3. 研究の方法

2で述べた課題①～⑤について、以下のような方法で解決を試みた。

- ① 理論モデルを3本指へ拡張することにより、物体の持ち替えや姿勢制御を可能とする制御則を構築し、安定性や制御性能について理論的に明らかにする。
- ② これまでの静的な集中定数系柔軟指先モデルから、動力学を考慮した指先モデルとして拡張を行う。試作した柔軟指先について、運動中の変位と力の関係式を実験的に求め、それらのデータを元に動的モデルの構築を行う。
- ③ 柔軟指先モデルを用いて、接触面法線方向の変位だけでなく、接触面接線方向の変形や捻りによる変形を考慮した3次元回転接触拘束をモデル化し、接線方向や捻り方向に発生する拘束力がシステム全体へ与える影響を定性的・定量的に明らかにする。
- ④ 弧長パラメータを用いた3次元曲面指先のモデル化を行い、半球形状指先との比較を行うことにより、指先形状が把持制御性能に与える影響を定性的・定量的に明らかにする。

- ⑤ 3本指柔軟ロボットハンドの設計・試作を行い、実験検証によって構築した制御手法の有用性を定量的に明らかにする。

4. 研究成果

本研究での成果を以下の①～⑦に示す。

- ① 有本等によって提案されていた2本指ロボットモデルによる外界センサレス把持制御手法を3本指へ拡張した。また、閉ループダイナミクスの解析により、動的な力・トルク平衡を実現するための条件を導出した。さらに、安定把持だけでなく物体の位置および姿勢を外界センサレスで操作可能となる制御則を、仮想フレームを新たに構築することで導入し、数値シミュレーションにより有用性を確認した。
- ② リーマン距離を平衡多様体の近傍として導入することにより、多様体上の安定性理論を用いた収束性の証明について、より明確に安定領域を定義することが可能となった。
- ③ 2次元物体把持モデルにおいて、物体および指先のどちらも任意形状とした把持モデルを提案し、妥当性を数値シミュレーションによって確認した。人間の指や把持対象物を実測した離散点から滑らかな曲線を作り出し、その曲線を指先と物体の輪郭線とした場合の数値シミュレーションに成功した。
- ④ 多指ハンド部分だけでなく、アーム部分も考慮に入れたハンドアームシステムのモデル化を行い、これまで提案してきた動的物体把持・操作手法が、ハンド部分、アーム部分を統一的に扱えることを数値シミュレーションで示した。
- ⑤ 柔軟指先として用いた柔軟構造体や人工筋肉などのインピーダンスモデルを、分布定数ポートハミルトン系としてモデル化する手法の提案を行い、これまで提案してきた入出力間の受動性を用いた安定化手法の導入が可能となった。
- ⑥ 新たに柔軟半球状指先に捻転自由度を付加することにより、新しい物体操作手法の提案を行い、2本指で3次元的に物体操作が行えることを数値シミュレーションおよび実験により示した。物体接触面に対して法線方向の弾性力だけでなく、指先の捻転方向に関するひずみエネルギーモデルを提案し、シミュレーション結果と実験結果を比較することに

より、提案モデルの妥当性を示した。

- ⑦ 2本指から3本指への持ち替え動作をシームレスに行う新しい制御手法を開発し、試作した3本指ロボットハンドを用いた実験により、その有効性を確認した。本制御則は、これまで提案してきた外界センサレス物体把持手法を拡張し、動的な物体把持をセンサレスで実現するために設定する仮想物体中心を、これまでは3本指の各位置から決まる幾何中心位置としていたが、それを任意に設定することにより、力・トルク平衡条件を満たしながら、各指先から加えられる力のバランスを変えることで、3本指把持から2本指把持へのシームレスな持ち替え動作を実現した。

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18件)

- ① 田原健二, 有本卓, 吉田守夫, 柔軟3指ハンドによる仮想フレームを用いた把持物体の外界センサレス位置・姿勢制御, 日本ロボット学会誌, 査読有, vol. 29, no. 1, pp. 89-98, 2011.
- ② S. Arimoto, M. Yoshida, M. Sekimoto, and K. Tahara, A Riemannian-geometry approach for control of robotic systems under constraints, SICE J. of Control, Measurement, and System Integration, 査読有, vol. 2, pp. 107-116, 2009.
- ③ S. Arimoto, M. Yoshida, M. Sekimoto and K. Tahara, Modeling and control of 2-D grasping of an object with arbitrary shape under rolling contact, SICE J. of Control, Measurement, and System Integration, 査読有, vol. 2, pp. 379-386, 2009.

[学会発表] (計35件)

- ① K. Tahara, K. Maruta and M. Yamamoto, External sensorless dynamic object manipulation by a dual soft-fingered robotic hand with torsional fingertip motion. IEEE Int. Conf. Robot. Automat. 3-8, May, Anchorage, AK, 2010.
- ② K. Tahara, S. Arimoto and M. Yoshida, Dynamic object manipulation using a virtual frame by a triple soft-fingered robotic hand, IEEE Int.

Conf. Robot. Automat. 3-8, May, Anchorage, AK, 2010.

- ③ S. Arimoto, M. Yoshida, M. Sekimoto, and K. Tahara, A Riemannian-geometry approach for dynamics and control of object manipulation under constraints, IEEE Int. Conf. on Robot. Automat., 12-17, May, Kobe, Japan, 2009.
- ④ M. Yoshida, S. Arimoto and K. Tahara, Pinching 2D object with arbitrary shape by two robot fingers under rolling constraints, IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots, Syst., 11-15, Oct., St. Louis, MO, 2009.
- ⑤ G. Nishida, K. Takagi and B. Maschke, Multi-scale distributed port-Hamiltonian representation of ionic polymer-metal composite, IFAC World Congress, 6-11, July, Seoul, Korea, 2008.

[図書] (計1件)

- ① S. Arimoto, M. Yoshida and M. Sekimoto, Computational modeling, visualization, and control of 2-D and 3-D grasping under rolling contacts, Robot Vision, 2010.

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: マニピュレータ装置及びマニピュレータの制御装置

発明者: 田原健二, 郭士傑

出願人: 東海ゴム工業株式会社

種類: 特許

番号: 特開2011-062788

出願年月日: 平成21年9月18日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.ssp.isee.kyushu-u.ac.jp/~tahara/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田原 健二 (TAHARA KENJI)

九州大学・システム情報科学研究所・特任准教授

研究者番号: 80392033

(2)研究分担者

有本 卓 (ARIMOTO SUGURU)

立命館大学・総合理工学研究機構・教授

研究者番号：00029399

吉田 守夫 (YOSHIDA MORIO)

独立行政法人理化学研究所・環境適応ロボ
ットシステム研究チーム・研究員

研究者番号：20455372

西田 豪 (NISHIDA GOU)

独立行政法人理化学研究所・環境適応ロボ
ットシステム研究チーム・研究員

研究者番号：80435669