

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 13 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560222

研究課題名（和文） シームレスマニピュレーションのための運動の選択と制御

研究課題名（英文） System description and control for seamless manipulation

研究代表者

長瀬 賢二 (NAGASE KENJI)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：70303667

研究成果の概要（和文）：

本研究では、多指ハンドロボットが移動物体を捕獲～運搬～設置する場合など、接触状態が動的に変化する状況を、継ぎ目なく滑らかに（シームレスに）自動制御するためのフィードバック制御系の解析・設計法について考えた。特に、複数の接触状態にあるシステムを連続的に記述する大域的な運動変数の選択という観点から、指先ならびに対象物上の接触点を頂点とする二つの多面体（把握多面体と呼ぶ）を考え、両者の相対運動に基づく定式化法ならびに制御系設計法の提案を行った。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we considered a new feedback control design methodology for multi-fingered robot hands applicable to tasks with multiple contact situations, such as catching/releasing task preceding to or followed by grasping/manipulation. To realize smooth transition of the contact situations, we were especially concerned with selection of the system variables to describe the system dynamics continuously over the multiple contact situations. As one of the possible choices, we selected the relative motion of the grasp polyhedrons, and proposed a control design method based on this system expression.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：多指ハンドロボット、把握・操りの制御、シームレスマニピュレーション

1. 研究開始当初の背景

近年、ロボットによる人間のような器用な作業の実現を目指し、多指ハンドロボットによる物体の把握・操りの制御に関する研究が盛んに行われている。従来、把握・操りの制御系は、特定の接触状態（固定接触、転がり接触など）を仮定し、その接触状態を表す拘束条件を用いて変数の消去を行うことにより、対象物運動と内力に関する制御系の設計が行われることが多かった。しかしながら、その場合、指と対象物の相対運動を表す変数は制御系の設計モデルに陽に含まれないため、対象物を捕獲～運搬～設置する場合など、接触状態の移行を伴う作業を直接取り扱うのは難しく、そのような作業を滑らかに実現するためのフィードバック制御系の設計手法は確立されていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、上記研究背景に基づき、多指ハンドロボットが移動物体を捕獲～運搬～設置する場合（図1参照）など、接触状態が動的に変化するロボットを継ぎ目なく滑らかに（シームレスに）自動制御するためのフィードバック制御系の解析・設計法の確立を目指した。

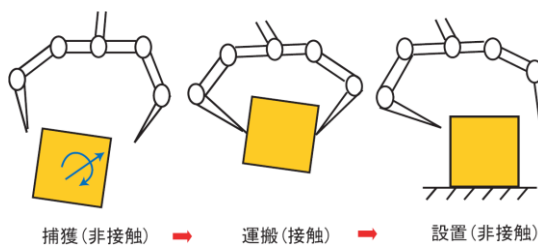


図1 捕獲～運搬～設置作業

特に、複数の接触状態を連続的に接続する大域的な運動変数を、力学的にも好ましい（解

析・制御しやすい）特性を有するように、適切に選択するという観点から、そのような運動変数の選択と、それに基づくフィードバック制御系設計法の確立を目指した。

3. 研究の方法

上記で述べたように、従来、把握・操りの制御系の多くは、把持状態（接触状態）を想定して議論がなされており、非把持状態（非接触状態）を含む、複数の接触状態を想定した大域的な運動変数の選択方法は確立されていない。これまでに、接触状態における運動変数については、対象物運動と内力が標準的なものとして認知され、様々な性質が調べられている。そこで、本研究では、非接触状態の運動変数が、上記接触状態の運動変数の自然な拡張となるような、大域的な運動変数の選択方法について考えた。また、それらの運動変数を用いたシステム表現を利用することで、接触状態の移行を伴う作業を滑らかに実現するためのフィードバック制御系の設計方法の提案を行った。

4. 研究成果

接触状態の移行のための大域的な運動変数の選択という観点からは、接触状態における指と対象物の関係を、両者の接触点を頂点とする多面体（把握多面体と呼ぶ。図2参照）の位置・姿勢が一致している状況ととらえることにより、指と対象物の相対関係を、二つの把握多面体の相対運動として表現可能であることを明らかにした。この運動変数は、接触状態および非接触状態の両方で大域的に定義され、また、両接触状態の移行は、把握多面体の相対運動を0とすることで実現できる。

また、シームレスマニピュレーションのため

のフィードバック制御系の設計手法の確立という観点からは、上記把握多面体の相対運動を運動変数にとるとともに、両接触状態においてあえて冗長な運動変数を導入することで、複数の接触状態にあるシステムを形式的に一組の運動方程式で表現することが出来ることを明らかにした。これにより、両接触状態で有効な単一構造の線形化補償器の設計が可能となった。接触状態の移行は、上記線形化補償器への目標軌道を適切に指定すればよく、コントローラ自体の切り替えは必要としない(図3参照)。

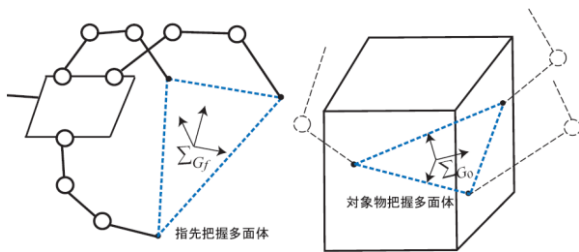


図2 把握多面体

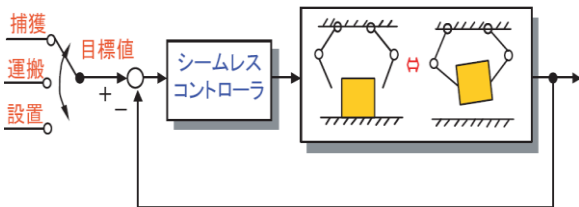


図3 フィードバック制御系

本研究では、上記アイデアを、最も単純は平面運動を想定した2指ハンドロボット系からはじめ、より現実的な問題へ順次拡張を行った。まず、3次元運動を想定した3指ハンドロボット系、指先がゴムなどの柔軟物体で構成されている場合を想定したソフトフィンガー系、ハンドロボットをアームロボットの先端に取り付けたハンド・アームロボット系への拡張を行った。また、物体の捕獲の後に把持位置の変更が必要な場合を想定し、持ち

替え動作を想定した制御系設計法の提案や、近年の産業用ロボットなどには事前に関節の位置制御系が組み込まれていることが多いため、そのような場合に対する制御系設計法の提案も行った。図4~6にハンド・アームロボット系において、上記提案手法により、物体の捕獲~運搬~設置作業を行った場合のシミュレーション結果を示す。これらの作業における目標軌道の多くは単純に一定値としているが、そのような簡便な方法によっても、上記作業が提案手法により滑らかに実現されているのが確認できる。

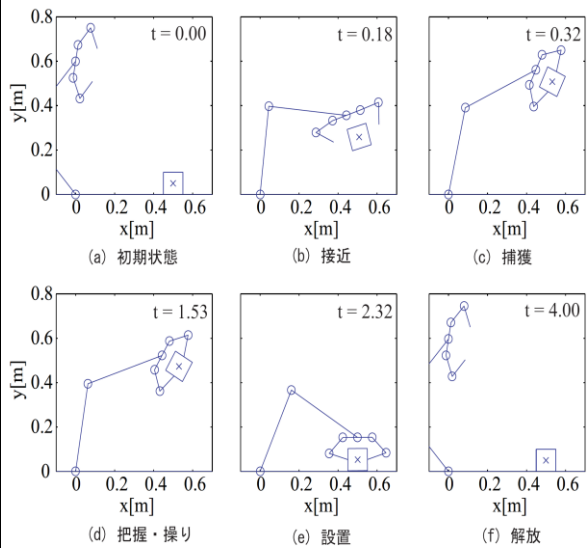


図4 捕獲~運搬~設置作業の様子

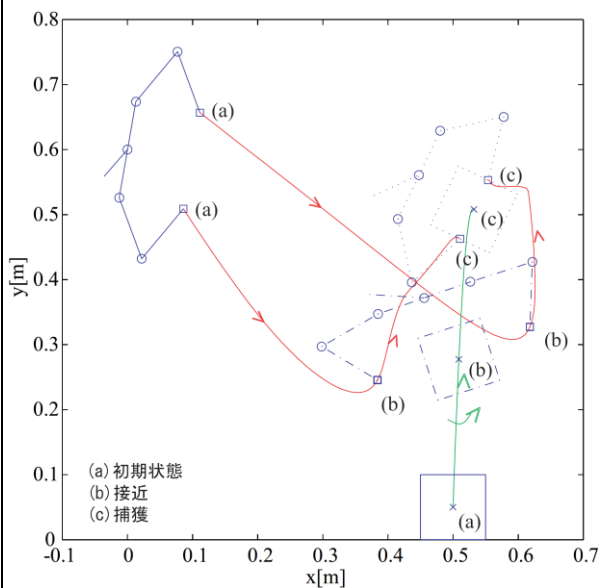


図5 捕獲にいたる指先の軌跡

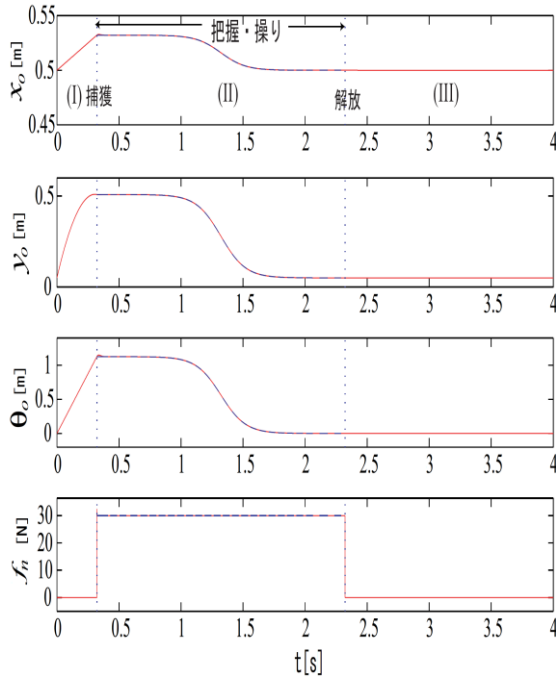


図6 物体の運動と把握力

また、今後より高速で精密な作業を実現するためには、上記シームレスコントローラに対する系統的な目標軌道の生成方法や、より軽量のロボット機構の開発も重要と考えられる。そこで、波動制御法を用いた指令値生成方法の検討やテンセグリティ構造を利用したロボットアーム（図7参照）の検討も合わせて行った。

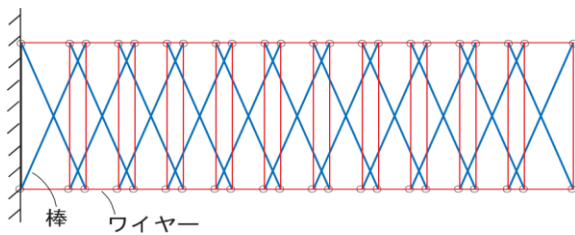


図7 テンセグリティアーム

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9件）

- ① 菊地範夫、長瀬賢二、把握多面体の相対運動に基づく多指ハンドロボットによる

物体のシームレスマニピュレーション（アーム・ハンドロボット系への拡張）、第13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講演論文集、査読無、2012、pp. 1826-1830.

- ② R.E. Skelton、K. Nagase、Tensile Tensegrity Structures、International Journal of Space Structures、査読有、Vol. 27、2012、pp. 131-137.

- ③ 菊地範夫、長瀬賢二、把握多面体の相対運動に基づく多指ハンドロボットのシームレスマニピュレーション、第30回日本ロボット学会学術講演会講演論文集、査読無、2012、RSJ2012AC301-5.

- ④ K. Nagase、Y. Takeuchi、Vibration Control of Flexible Structures Based on Impedance Matching Index、Proc. of 18th IFAC World Congress、Vol. 18、査読有、Vol. 18-1、2011、pp. 11562-11567.

- ⑤ 長瀬賢二、林剛史、把握多面体の相対運動に基づく多指ハンドロボットのシームレスマニピュレーション（ソフトコンタクトの場合）、日本機械学会論文集（C編）、査読有、Vol. 77-779、2011、pp. 2720-2733.

- ⑥ 長瀬賢二、藤田健次、自由度が制限された多指ハンドロボットにおける対象物運動と内力の選択と制御、計測自動制御学会論文集、査読有、Vol. 47-4、2011、pp. 181-190.

- ⑦ 梅澤哲也、長瀬賢二、把握多面体の相対運動に基づく多指ハンドロボットのシームレスマニピュレーション（画像特徴量を用いた場合）、第28回日本ロボット学会学術講演会講演論文集、査読無、2010、RSJ2010AC103-7.

- ⑧ 竹内康之、長瀬賢二、インピーダンスマッチング指標を用いた柔軟構造物の振動制御（受動ダンパと動吸振器の最適調整）、日本機械学会論文集（C編）、有、Vol. 76-766、2010、pp. 358-367.

- ⑨ K. Nagase、S. Shirai、T. Hayashi、Seamless Control of Multi-fingered Robot Hands based on Grasp Polyhedrons、SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration、査読有、Vol. 3、No. 5、2010、pp. 358-367.

〔学会発表〕（計4件）

- ① 菊地範夫、長瀬賢二、把握多面体の相対運動に基づく多指ハンドロボットによる物体のシームレスマニピュレーション（アーム・ハンドロボット系への拡張）、第13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、2012. 12. 19、福岡国際会議場（福岡）

- ② 菊地範夫、長瀬賢二、把握多面体の相対

運動に基づく多指ハンドロボットのシームレスマニピュレーション、第30回日本ロボット学会学術講演会、2012.9.19、札幌コンベンションセンター（北海道）

- ③ K. Nagase、Y. Takeuchi、Vibration Control of Flexible Structures Based on Impedance Matching Index、Proc. of 18th IFAC World Congress、2011.9.1、Universita Cattolica del Sacro Cuore (Milano, Italy)
- ④ 梅澤哲也、長瀬賢二、把握多面体の相対運動に基づく多指ハンドロボットのシームレスマニピュレーション（画像特徴量を用いた場合）、第28回日本ロボット学会学術講演会、2010.9.22、名古屋工業大学（愛知）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長瀬 賢二 (NAGASE KENJI)
和歌山大学・システム工学部・准教授
研究者番号：70303667

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：