

随意運動による反射運動の抑制を模倣したロボットハンドの把持・操り制御

A Novel Control Method for Multi-fingered Robot Hand Imitating Suppression Between Reflex and Voluntary Movement in Conducting Grasping/Manipulation Tasks

非 今関 一飛(慶大) 正 前野 隆司(慶大)

Kazuto IMAZEKI, Keio Univ. 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama

Takashi MAENO, Keio Univ. 3-14-1, Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama

In this paper, a novel control method for manipulation/grasping tasks using multi-fingered robot hands proposed in our previous paper is applied for a real robot hand. The proposed method imitates motion control of human. Motions of human are divided into reflex and voluntary movement. And, reflex is suppressed by voluntary movement. In the proposed method, grasping corresponds to reflex and manipulation corresponds to voluntary movement. We constructed a multi-fingered real robot hand with 4 fingers. And we also constructed controller that have manipulation controller, grasping controller and suppresser. Finally, we confirmed the validity of the proposed method using a real robot hand.

Key Words : Multi-fingered Robot hands, Manipulation, Grasping, Hierarchical Control

1. 序論

ロボットハンドは、ロボットが外界に対し働きかける際のエンドエフェクタとして必須である。特に、人間が直接手を用いることのできない状況下において、ロボットハンドが必要とされている。高機能かつ汎用性を有する多指ロボットハンドは、精密性を要する作業において有効であるものの、その実用化にはハードウェアの進歩と並んで、制御手法の確立が必要である。多指ロボットハンドの動作は、対象とする物体を安定に支持し続ける把持動作と、物体の位置または姿勢を変化させる操り動作の2つに大きく分類される。吉川らは指先が物体に与える指先力を操り力と握力に分解し、別個に制御することを提案した[1]。この考え方に基づいた制御系は、ロボットハンドを構成する指と物体が接触を保つような把持・操り動作に対しては有効であると考えられる。しかし、指と物体が接触を保つことを前提としているため、持ち替え動作のように指と物体の接触が保たれない場合の制御系の有効性については議論されていない。一方、中村らは反射行動の重ね合わせによる制御手法を提案した[2]。しかし、この制御系では反射行動として与えられた運動の重ね合わせ以外は実現できないという欠点があり、任意の操り動作を実現できないと考えられる。

著者らは、以上で述べた問題点を解決するため、ヒトの運動制御法を模倣した新しい制御手法を提案し、計算機シミュレーションによりその有効性を示した[3]。本研究では、提案した制御手法を実ロボットハンドに適用し、提案した制御手法の実ロボットハンドにおける有効性を示す。

2. 提案した制御手法

ヒトの運動は反射運動と随意運動に大別できる。本研究では刺激と反応の関係から以下のように分類する。反射運動は刺激に対し一定の反応を返す運動である。反射運動では可能な動作は単純な動作に限定されるもののフィードバックが速い。随意運動は、刺激に対し考えられる複数の反応から選択された反応を示す運動である。随意運動は複雑な動作が可能であるものの、フィードバックは遅い。さらに、ヒトの運動では多くの場合、随意運動が反射運動を抑制するという階層性が存在することが知られている[4]。ヒトは随意運動と反射運動の協調により複雑かつ円滑な行動を行っている。

以上のようなヒトの運動制御に見られる特徴を模倣し、ロボットハンドの制御系に適用することで、ヒトのように複雑かつ円滑な運動をロボットハンドに実現させることができると考えられる。提案した制御手法では、把持・操り動作にお

いて、単純な運動である把持動作を反射運動、複雑な動作である操り動作を随意運動に対応させ、操り運動が反射運動を抑制することにより両運動の協調を図る。

提案した制御手法の概念図を Fig. 1 に示す。

把持制御器は、指先と物体の接触を保ち、指先と物体の間で滑りが生じないためのトルクを発生する。また、把持制御器により発生する指先力は各指の合力が0になるように制御される。把持制御器のフィードバックループはフィードバック間隔が小さくなるように構成される。操り制御器は物体の位置及び姿勢を変化されるためのトルクに加え、指の姿勢を変化させるためのトルクを発生させる。また、操り制御器のフィードバックループはフィードバック間隔が長くても良い。持ち替え動作などでは指を物体から離す必要があり、この際、指を物体から離そうとする操り制御器の出力と指と物体を接触させ続けようとする把持制御器の出力が競合してしまうと考えられる。競合を避けるために、本手法では抑制器を導入する。抑制器は操り制御器の出力に応じて把持制御器の出力を抑制し、把持制御器と操り制御器の協調を図る。

提案した制御手法の利点を以下に示す。

まず、把持制御器のフィードバックが速いため、外乱に対して素早い対応が可能である。次に操り制御器のフィードバックは遅くて良いため、複雑で計算に時間を要する操り制御を実行することができる。最後に、抑制器により把持制御器と操り制御器の出力の競合を防ぐことができる。

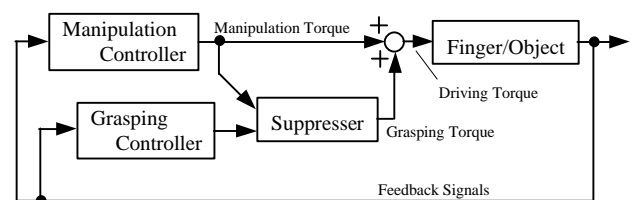


Fig. 1 Hierarchical Control Method

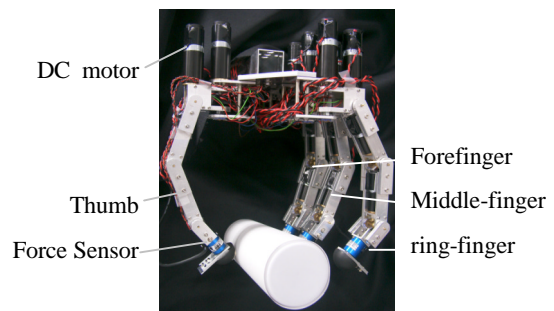
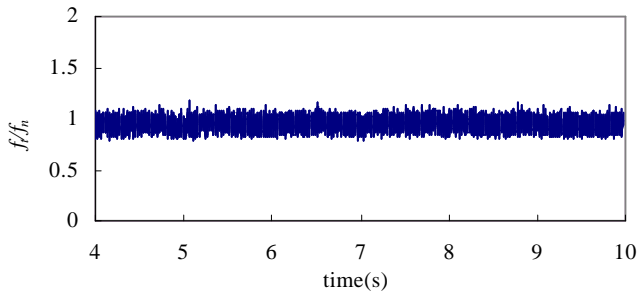
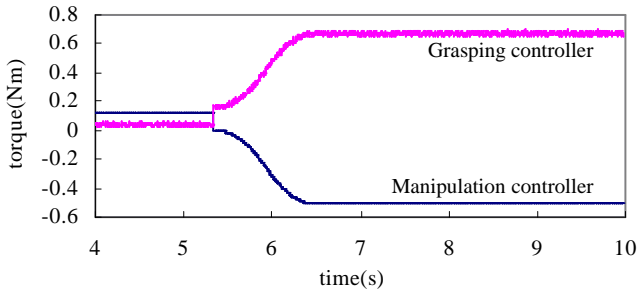


Fig. 2 Manufactured Robot Hand



(a) History of tangential/normal force ratio (f_t/f_n)



(b) Output history of grasping controller and manipulation controller
Fig. 3 Result of re-grasping task with no suppressor

3. 提案手法の実ロボットハンドへの適用

提案手法の有効性を確認するため、実ロボットハンドを製作した。製作したロボットハンドを Fig. 2 に示す。ロボットハンドは4指を有し、1指につき4自由度を有する。4指はすべて同一形状であり、1指は残り3指と対向して取り付けられている。また、各関節はDCモータにより駆動される。関節角度はポテンショメータによりセンシングされる。各指先には6軸力覚センサを搭載し、指先に働く力およびモーメントを検出可能である。また、指先に働くモーメントの方向が接触点の法線方向に一致するという仮定の下で、指先と物体の接触点の法線方向を検出することが可能である。

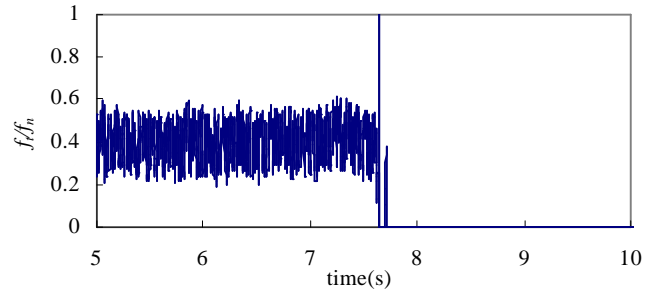
製作したロボットハンドについて、単純なPID制御器を用いた位置制御実験および力制御実験を行い、本ハンドが適切に位置制御および力制御可能であることを確認した。

次に、制御系を構築した。把持制御器としては、指・物体間の静止摩擦係数を既知として、物体と接触しているすべての指について指先力が摩擦円錐内に入るように、かつ、把持制御器の発生する指先力の総和が0になるように制御する方法を用いた。センシング情報としては、各関節角度、各指先力・モーメントを用いた。操り制御器としては、操り軌道を既知とし、単純な軌道追従制御を行う方法を用いた。センシング情報としては各関節角度を用いた。フィードバック間隔は把持制御器が2ms、操り制御器が10msとした。

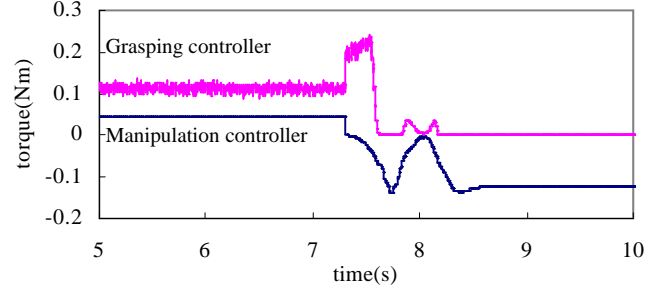
4. 実ロボットハンドを用いた評価

製作した実ロボットハンドおよび制御系を用いて、提案した制御手法の有効性を検証した。

タスクは把持動作と持ち替え動作とした。把持動作では、把持物体に外乱が印加された場合であっても外乱によらず物体を滑らせることなく把持し続けることを確認した。持ち替え動作は母指、示指および中指で物体を把持した状態から中指を離すという動作とした。比較のため、抑制器を持たない制御系についても同様の実験を行った。抑制器を持たない制御系を用いた場合の実験結果を Fig. 3 に、抑制器を持つ場合の結果を Fig. 4 に示す。Fig. 3(a)は示指の指先力の法線方向成



(a) History of tangential/normal force ratio (f_t/f_n)



(b) Output history of grasping controller and manipulation controller
Fig. 4 Result of re-grasping task with suppressor

分と接線方向成分の比 f_t/f_n の履歴である。ただし、指先が接触していない場合は $f_t/f_n=0$ とした。また(b)は示指のMP関節における把持制御器と操り制御器の出力の履歴である。Fig. 3(a)および Fig. 4(a)を見ると、抑制器がある場合は $f_t/f_n=0$ となり指先が物体から離れているのに対し、抑制器が無い場合は f_t/f_n の値が変化せず、指先が物体から離れていないことがわかる。Fig. 3(b)を見ると、抑制器が無い場合は操り制御器の出力の増加とともに把持制御器の出力が拮抗するように増加し両出力が競合していることがわかる。しかし、抑制器がある場合は、Fig. 4(b)に示すように操り制御器の出力の増加に伴い把持制御器の出力が抑制され、把持制御器の出力が0になっている。この結果、物体から指先が離れたと考えられる。

以上の結果から、提案した制御手法ではフィードバックの速い把持制御器により外乱に対し素早い対応が可能であるといえる。また、抑制器の存在により操り制御器と把持制御器の出力を適切に協調させることが可能であるといえる。提案した制御手法では複雑な操り制御を実行することができるため、操り制御器が適切な出力を発生することによりヒトのような複雑で円滑な把持・操り動作が実現できると考えられる。

5. 結論

ヒトの運動制御法を模倣した制御手法の検証のため、各指4自由度を有する、4指ロボットハンドを製作した。製作したロボットハンドおよび制御系を用いて実ロボットハンドに把持動作および持ち替え動作を行わせ、提案した制御手法の有効性を確認した。

参考文献

- [1]吉川, 永井: “多指ハンドの操り力と握力”, 計測自動制御学会論文集中, Vol.23, No.11, pp.1206-1213, 1987
- [2]中村, 山崎: “反射行動の重ね合わせ理論とその多指ハンドの反射的把握動作への応用”, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.3, pp.448-459, 1997
- [3]今関, 前野: “ロボットハンドの把持・操り動作の階層的制御手法”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会予稿集, 2003
- [4]渡辺, 森田, 伊藤, 天野: “神経科学講座 5 運動と制御”, 理工学社, 初版, pp.106-08, 1978