

ロボットハンド指表面の Active Friction Control

Active Friction Control on the Surface of Finger Link of Robot Hand

○白井 達也 (広島大) 金子 真 (広島大) 辻 敏夫 (広島大)

Tatsuya Shirai Makoto Kaneko Toshio Tsuji
Hiroshima University, 1-4-1, Kagamiyama, Higashi-Hiroshima-Shi, Hiroshima

Abstract: While the *wedge-effect* can be conveniently utilized when a multi-fingered robot hand detaches a cylindrical object from a table, such an approach easily fails under a significant contact friction. To cope with this problem, *Active Friction Control* is introduced for reducing the contact friction between the object and the fingertip. We first show that by adding an active vibration on a surface with high friction, the friction can be heavily reduced. We also discuss how to apply the basic idea to a multi-fingered robot hand.

Key Words : Friction coefficient, Active Friction Control, Multi-fingered Robot Hand

1 はじめに

多指ロボットハンド (以下, ロボットハンド) を使ってテーブル上に置かれた円柱物体にアプローチし, 最終的に包み込み把握する問題を考えてみよう. この際, Fig.1のように, ロボットハンドの指先を対象物の底部に押し込む (くさび効果) ことにより, 多くの場合, 円柱をテーブルから持ち上げることができる. しかし, Fig.1(a)のように対象物の表面摩擦が大きい場合, 指先間で接触力がバランスし, くさび効果を利用した方法は, うまくいかななくなる. ところが, このような場合でも, もし, Fig.1(b)のように接触点の摩擦を十分小さくすることができれば, 対象物の持ち上げが可能となる. 以上の点を踏まえ, 本研究では, ロボットハンド表面の摩擦を能動的に変える制御方法 (*Active Friction Control*) について考察する. はじめに, 実験により指表面上の摩擦係数が人工的に変更可能であることを示す. さらに, ロボットハンドへ応用する際にどのような機構を用いて実現すれば良いかを考察する.

2 Active Friction Control

2.1 関連研究

菅野ら²⁾はヒトの手指の構造に着目し, ヒューマンミメティックな設計に基づくロボット指を開発している. 嶋田ら¹⁾は, ヒトおよび人工指の摩擦特性を解析し, 対象物と指表面の接する角度, 接触面積, 相対運動方向によって摩擦係数が変化することを実験的に明らかにしている. しかし, ヒトの手指には能動的に摩擦係数を変更するメカニズムは存在しない. 強いて挙げれば, 皮膚表面が乾燥した状態では滑り易くなり, 発汗によって多少, 滑り難さが変化するが, 意識的にこれを制御できない.

Watanabe and Fukui³⁾は, 物体表面に超音波振動を与えることで触感 (滑らかさ) を表示する触覚ディスプレイの手法を提案している. 松島ら⁴⁾は, 物体界面の摩擦特性と弾性変形特性をセンシングする目的で振動型触覚センサを開発するとともに, 物体表面に加える振動周波数と摩擦係数の関係を論じている. 金子ら⁵⁾は, 2パラメータPWM制御を用いることで超音波モータの静止保持トルクをLock状態からFree状態まで任意に制御できることを報告している.

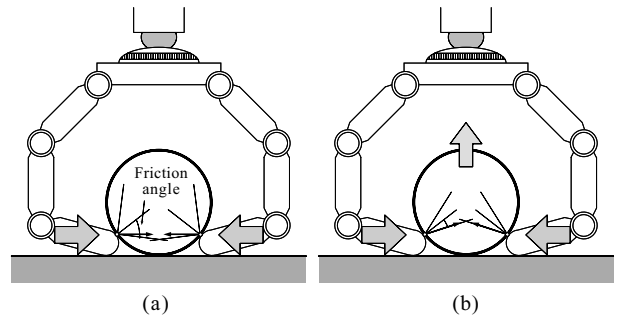


Fig.1 Expected effect of Active Friction Control

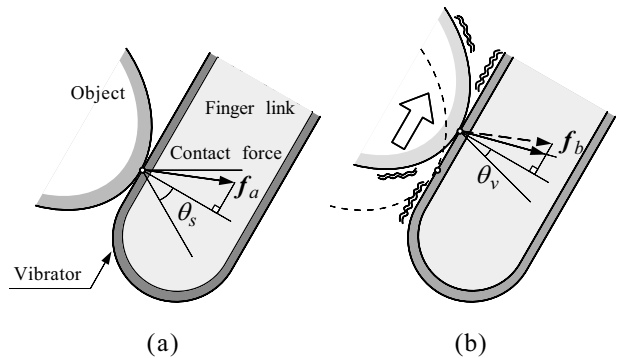


Fig.2 Basic idea of Active Friction Control

2.2 基本動作

本研究ではロボットハンド指表面に高周波の振動を与えて人工的に摩擦係数を制御する. いま, Fig.2(a)のように指と対象物間の静止摩擦角を θ_s , 接触力 f_a は摩擦円錐内で釣り合っているとす. ここで, Fig.2(b)のように指表面に振動を与えたらどうなるか. 巨視的には静的に釣り合っているように見えるが, 微視的には動的な相対運動が生じており, 摩擦角は一般に θ_b に減少する. その結果, 接触力 f_a は摩擦円錐境界に制限されて f_b となり, 対象物はリンク表面を滑り始める. この現象は *Squeeze air film effect* として知られており, 触覚ディスプレイ装置³⁾ や空気軸受式リニアスライダ⁶⁾ に応用されている.

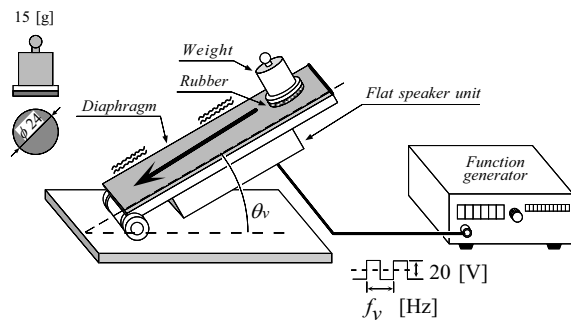


Fig.3 Experimental system

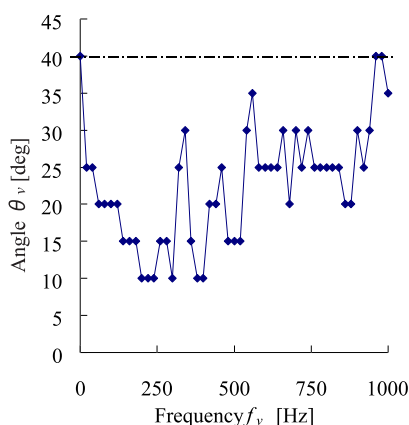


Fig.4 Experimental result

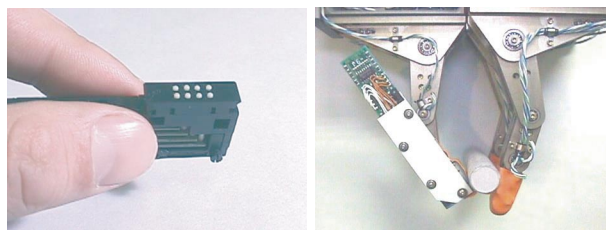
2.3 実験結果

Fig.3は、指表面上に発生させた振動と摩擦角の関係を調べるのに用いた実験装置のシステム構成である。ファンクションジェネレータより矩形波信号(周波数 f_v [Hz], 振幅 $20[V_{p-p}]$)を出力し、平面スピーカ(新潟キャノテック株式会社製: AUDIOSTORM FS2)を駆動する。平面スピーカは一般のコーン紙を用いるスピーカとは異なり、振動板全面が振動する。平面スピーカは水平面に対して角度を変更可能である。平面スピーカを振動させ、表面上に置いた対象物が滑り落ちる角度を摩擦角 θ_v とする。実験に用いた対象物は質量 $15[g]$ 、底面には $\phi 24[mm]$ のゴムシートを貼った板が取り付けられている。

Fig.4は実験結果である。横軸は周波数 f_v [Hz]、縦軸は摩擦角 θ_v [deg]である。平面スピーカに振動を与えない時($f_v = 0$)の対象物の摩擦角 θ_v (静止摩擦角)は $40[deg]$ である。振動板に振動を加えると、明らかに摩擦角 θ_v が減少する。特に $500[Hz]$ 以下の領域で $10[deg]$ から最大で $30[deg]$ も減少していることが分かる。

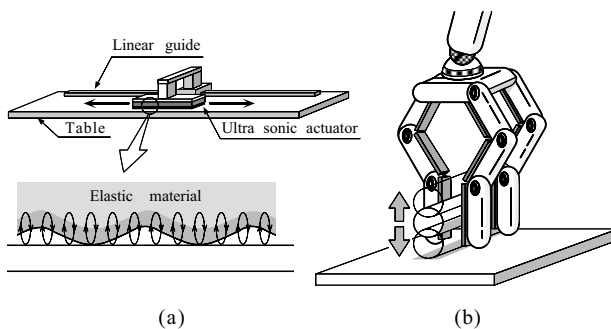
3 ロボットハンドへの応用

ロボットハンド指表面上に振動を発生させる機構について考察する。Fig.5(a)は小型の点字ユニット(KGS株式会社製: SC2)である。8本のピンが、ストローク $0.7[mm]$ 、押圧力 $10[gf]$ で出入りする。Fig.5(b)は三関節三本指ロボットハンドの1本の指先に点字ユニットを取り付けた例である。Fig.6(a)は、直線変位を発生する超音波リニアモータである。超音波アクチュエータは位相のズレた駆動電圧を圧電素子に与えることによって弾性体表面に楕円運動を伴う振動を発生させる。Fig.6(b)のように超音



(a) (b)

Fig.5 Example: Braille unit



(a) (b)

Fig.6 Example: Ultra sonic linear motor

波アクチュエータをロボットハンド表面上に配置することで、指表面上に高周波の振動を発生させることができる。超音波アクチュエータを指表面に配置することで、Active Friction Controlによる摩擦係数の変更だけではなく、表面の振動波を制御することで、Fig.6(b)のように接点において接線方向に力を発生させて対象物を操る能力も秘めている。

4 まとめ

ロボットハンド指表面の摩擦係数を能動的に制御するActive Friction Controlの概念を提案した。実験によってActive Friction Controlの実現可能性を示し、ロボットハンドに実装する方法について考察した。今後は、改良を加え、実際にロボットハンドに装着してActive Friction Controlの検証実験を行う予定である。

参考文献

- 1) 嶋田, 韓, 川村: “人間の手指の摩擦特性の解析”, 計測自動制御学会論文集, Vol.32, No.12, pp. 1581-1587, 1996.
- 2) 菅野, 森田, 児嶋, 岩田, 蔭: “指先柔軟性・関節連動性を備えたロボットハンドの開発”, 第17回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp. 939-940, 1999.
- 3) T. Watanabe, S. Fukui: “A Method for Controlling Tactile Sensation of Surface Roughness Using Ultrasonic Vibration,” IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1134-1139, 1995.
- 4) 松島, 石垣, 小西, 近藤: “振動型触覚センサの開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, 1998.
- 5) 金子, 西原, 辻: “2パラメータPWM制御による超音波モータの機能拡大”, 計測自動制御学会論文集, Vol.31, No.8, pp. 1152-1159, 1995.
- 6) 吉本, 阿武, 佐藤, 浜中: “弾性ヒンジを用いた動圧形スクイーズ空気案内面”, 日本機械学会論文集, Vol.60, No.574, pp. 2122-2127, 1994.