ロボットフィンガによる内力外力インピーダンス制御を用いた 物体把持におけるカフィードバック補償の効果について

Study of Effect of a Force Feedback Compensation on Grasping an Object using Finger Robot with Internal and External Impedance Control

○学 堀 良太 (横国大) 学 佐野 嘉則 (横国大)
正 藪田 哲郎 (横国大)

Ryota HORI, Yokohama National Univ.
Yoshinori SANO, Yokohama National Univ.
Tetsuro YABUTA, Yokohama National Univ.

In order for robots to work around the human, soft stiffness of robots is required for safety. As control methods to realize a robot soft grasp, internal/external impedance and admittance controls were proposed. Comparison results show that responses of the internal/external impedance control become low due to movement difficulty of gears because it has no closed feedback loop compensation. Therefore, the closed feedback loop was studied in the internal/external impedance control in this study. Cyclic finger movement experiments show the effectiveness of this closed loop control. The results were confirmed that its characteristics were improved by P compensation control, but it cannot be enough improvement.

Key Words: Multi finger hand, Handling, Impedance control

1. 緒言

近年, ロボットには工場や作業現場における決まった動きをするタスクだけではなく, 人の周りで柔軟に活動することも求められるようになってきている. 周囲の環境を敏感に察知できるよう, センサ類を充実させることも重要であるが, 仮に接触が生じた場合への配慮として, ロボットに柔らかさをもたせることは安全性の観点から重要である.

人間の基本的なタスクである把持においても, 柔らかさを実現することは重要である. 把持対象への安全性はもちろんのこと, 外部との接触に対しても柔らかさを考慮する必要がある. 物体把持タスクについて, 川井・吉川は, 物体把持により生じる力を内力成分と外力成分に分離し個別に介在インピーダンスを設定することでより安定的な仮想物体把持を行う手法を提案している[1].

そこで, 我々は川井・吉川の手法および長谷川らの改案[2]を参考に, 実機マルチフィンガロボットに安定的で柔らかい把持を実現させるため, 内力外力インピーダンス制御を提案した[3]. また, 柔らかさの実現手法である力制御型のインピーダンス制御と対になる位置制御型のアドミッタンス制御を用いた内力外力アドミッタンス制御も提案[4]し, その特性を比較した[5]. その結果, 内力外力インピーダンス制御ではギアの摩擦などによる動きづらさの影響を大きく受けるため, 内力外力アドミッタンス制御に比べ応答性が低いことがわかった. 内力外力アドミッタンス制御は出力の実現に関して,

出力を観測しフィードバック制御を行う閉ループ制御であるのに対し, 内力外力インピーダンス制御は開ループ制御である. 単純な開ループ制御では動きづらさを補うことができず, 大きな影響を受けてしまう.

以上を踏まえ, 本稿では, 内力外力インピーダンス制御においても閉ループ制御を行うことを目的とし, カフィードバックを適用する. 特性を調査するため, 把持物体に振動的な目標軌道を与える振動操作実験を行い, 有効性を評価する.

2. 実験システム

本研究では図 1 に示すように 3 自由度フィンガロボット ((株) 安川電機) を 2 台用いたマルチフィンガロボットを用いる. フィンガロボット先端には 6 軸力センサ (ビー・エル・オートテック (株)) が取り付けられており, 力情報を取得できる.

3. 制御アルゴリズム

3.1 内力外力インピーダンス制御

内力外力インピーダンス制御では, システムに与えた目標位置に追従しようとする力を外力成分, 把持しようとする力を内力成分として考え, 個別にインピーダンスを設定する. 内力外力インピーダンス制御のモデルを図 2 に示す. ここで, k_{ep} , k_{ed} はそれぞれ外力成分のばね係数, 減衰係数を示し, k_{ip} , k_{id} はそれぞれ内力成分のばね係数, 減衰係数を示す. また, x_e は両フィンガ先端位置の中心位置, x_d はその目標値

Fig. 1 Multi finger robot system

Fig. 2 Internal external impedance model

Fig. 3 Block diagram of impedance control

であり, x_i はフィンガ先端間の距離である.

外力成分を f_e , 内力成分を f_i を次式で定義する.

$$f_e = k_{ep}(x_d - x_e) + k_{ed}(\dot{x}_d - \dot{x}_e) \quad (1)$$

$$f_i = k_{ip}x_i + k_{id}\dot{x}_i \quad (2)$$

両フィンガに発生する力をそれぞれ f_1, f_2 とし, 分配は以下のようにする.

把持方向 (x 軸方向) について

$$f_1 = f_e + |f_e| + f_i \quad (3)$$

$$f_2 = f_e - |f_e| - f_i \quad (4)$$

把持方向 (y 軸・ z 軸方向) について

$$f_1 = f_e + f_i \quad (5)$$

$$f_2 = f_e - f_i \quad (6)$$

3.2 フィードバックのあるインピーダンス制御について

従来のインピーダンス制御では, 位置情報から仮想モデルによって計算された力をフィードフォワード的に出力している. 本研究では, 計算された目標力と力センサより得られる実際に出力された力の差から得られる補償項を目標力に加算し, 新たな目標力とみなすフィードバック補償を導入した. ブロック線図を図3に示す. このフィードバックにより, フィンガロボット部で生じる動きづらさの影響を補償する. 離散時間系において, モデルより算出された目標力を F'_d , 補償後の新たな目標力を F_d , 力センサより得られた実際に出力された力を F とすると, 定義式は以下ようになる.

$$F_d(k) = F'_d(k) + K_p(k) + K_i(k) \quad (7)$$

$$\Delta F(k) = F'_d(k) - F(k) \quad (8)$$

$$K_p(k) = k_p \Delta F(k) \quad (9)$$

$$K_i(k) = k_i \sum \Delta F(k) \Delta T \quad (10)$$

これらの補償を各フィンガの力制御に適用することで, 特性の改善を目指す.

4. 振動操作実験

フィンガにビニル製カラーボールを把持させた状態で, フィンガに正弦波の目標軌道を与えることで軌道の追従性および力の実現性を評価する. ここで, システムへの入力値が飽和しない範囲で可能な限り大きいパラメータとして, 外力パラメータは $k_{ep} = 80\text{N/m}$, $k_{ed} = 30\text{N}\cdot\text{s/m}$ とし, 内力パラメータは $k_{ip} = 20\text{N/m}$, $k_{id} = 15\text{N}\cdot\text{s/m}$ とする.

また, 目標軌道について, 振幅を A , 角周波数を ω , 時刻を t とすると, 目標軌道 x_d は次式で表せる.

$$x_d = A \sin \omega t \quad (11)$$

今回は, 一例として補償なしの内力外力インピーダンス制御において実際の軌道の振幅が目標軌道の振幅に比べて約半分になった, $A = 30\text{mm}$, $\omega = 0.5\pi\text{rad/s}$ を用いる.

補償なしにおける実験結果より目標軌道 x_d およびフィンガ先端中心位置 x_e の様子を図4に示す. 図4より, 補償なしにおける内力外力インピーダンス制御では実現された振幅が半

Fig. 4 The position of target and center of fingers (none)

Fig. 5 The position of target and center of fingers ($k_p = 0.7$)

分ほどであり, 目標軌道への追従性が低いことが確認できる.

一方, 例として P 補償において, 安定的に動作する範囲で可能な限り大きいゲインである $k_p = 0.7$ における同様の実験結果を図5に示す. 図5より, P 補償を加えた内力外力インピーダンス制御では振幅が目標軌道に近づいており, 追従性が改善できていることが確認できる. また, この時の把持力となる内力成分 f_i も補償なしに比べ P 補償での実験結果は目標値に近づいており, 特性の改善が確認できた.

以上より, P 補償を用いることで内力外力インピーダンス制御における特性が改善できることを確認できた. しかし, 補償後の軌道も目標軌道に十分追従しているとは言えず, さらなる改善の余地が残されている. I 補償を導入することで実現性へのより強い補償が見込まれるが, 応答性と安定性への懸念からパラメータ設定について慎重な検討が必要と考えられる.

5. まとめ

内力外力インピーダンス制御手法の振動操作実験において P 補償を導入することで, 目標軌道への追従性および把持力の実現性の改善が確認できた. 今後は I 補償を導入し, 更なる改善を目指す. 一方で, アドミッタンス制御との比較検討を行い, 安定的で実用的な柔らかい把持手法を比較, 検討する.

文 献

- [1] 川井昌之, 吉川恒夫, "内力・外力分離型介在インピーダンスを用いた仮想物体把持の力覚提示", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 vol.6-1, pp.43-48, 2001.
- [2] 長谷川晶一, 小池康晴, 佐藤誠, "フォースディスプレイを用いた剛物体操作のための物体形状と外力の提示方法", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 vol.7-3, pp.323-328, 2002.
- [3] 佐野嘉則, 堀良太, 堀貴之, 藪田哲郎, "内力外力インピーダンスモデルを用いたロボットフィンガによる実在物体把持", 第18回ロボティクスシンポジウム, 2013.
- [4] 佐野嘉則, 堀良太, 堀貴之, 藪田哲郎, "内力外力アドミッタンス制御を用いたロボットフィンガによる物体把持に関する研究", 日本ロボット学会第30回帰年学術講演会, 2012.
- [5] 堀良太, 佐野嘉則, 堀貴之, 藪田哲郎, "マルチフィンガロボットによる内力外力分離型把持システムの制御手法による差異", 日本ロボット学会第30回帰年学術講演会, 2012.