

ソフトインターフェースによる機構と制御の単純化

平井 慎一 (立命館大学 ロボティクス学科)

Soft Interface Simplifies Mechanism and Control

Shinichi Hirai (Dept. Robotics, Ritsumeikan Univ.)

Abstract— This paper summarizes how soft interface would simplify mechanism and control in object grasping and manipulation. In planar manipulation, a pair of 1-DOF fingers with soft fingertips can control object orientation and grasping force while a pair of 2-DOF fingers can control the position and orientation of the object as well as the grasping force. In spatial manipulation, a triplet of 1-DOF fingers can control the two components of object orientation and the grasping force. All can be performed through two-phase controller, which excludes inverse dynamics or Jacobian matrices.

Key Words: soft interface, grasping, manipulation, mechanism, control.

1. 緒言

著者は、柔軟な指先による物体把持・操作を典型的な例として、ソフトインターフェースの概念を提唱した [1]. 本報告では、ソフトインターフェースを導入することにより、物体の把持・操作の機構と制御がいかに単純になるかを述べる。

2. 一対の一自由度柔軟指による把持と操作

Fig. 1 に示す一対の柔軟指により、把持力と物体の姿勢の双方を独立に制御できることがわかっている。この柔軟指は柔らかい半球形状の指先を持ち、柔軟な指先の背後は硬い部材で支持されている。この硬い部材が爪に相当する。著者らは、この現象を解析することにより、一対の一自由度回転指で把持力と物体の姿勢の双方を独立に制御できるのは、背後が硬い部材で支持された柔らかい指先を有することに起因することを示した [2]. このような指が物体表面に接触して変形するとき、指に蓄えられるポテンシャルエネルギーは、指の凹み量のみならず物体表面と指の背後の硬い部材との相対角度に依存する。したがって、モーメントを陽に制御していないにも関わらず、ハンドに把持された物体はモーメントの平衡という物理制約を満たすように動く。すなわち、背後が硬い部材で支持された柔軟な指先は、モーメントの平衡という物理制約を満たすためのソフトインターフェースとして作用している。

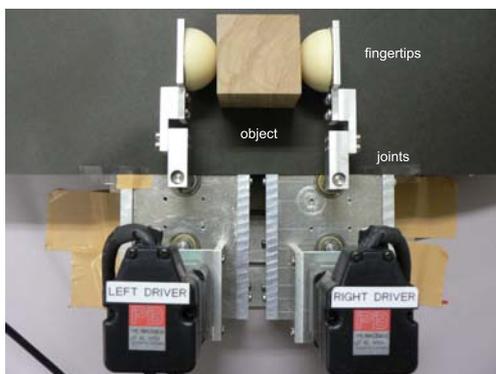
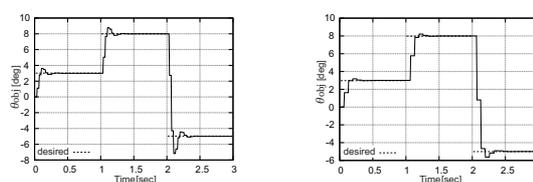
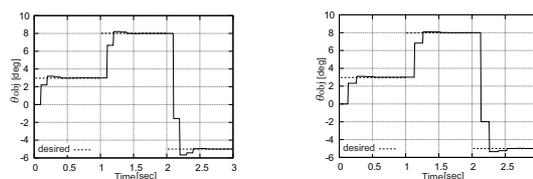


Fig.1 A pair of 1-DOF fingers with soft fingertips.



(a) 33 msec time delay (b) 66 msec time delay



(c) 99 msec time delay (d) 132 msec time delay

Fig.2 Object orientation control under time delay.

柔軟指による把持や物体操作を制御するために、著者らは二段階制御法を提案した [2]. 二段階制御法は、逆動力学やヤコビ行列の計算を必要としない。逆動力学やヤコビ行列の計算が不要であるため制御則が単純になり、ローコストのコントローラに制御則を実装できると期待される。二段階制御法では、誤差（ここでは物体の姿勢の誤差）から各関節の仮想目標値を生成し、各関節では仮想目標値に対して PD 制御を適用する。PD 制御を用いているので、関節の角度は、一般的に仮想目標値には収束しない。これにより、系全体としての整合性を保つと考えられる。

さらに、二段階制御法が視覚情報の遅れに対してロバストであることを示した [3]. 柔軟指による把持物体の姿勢制御において、視覚システムに遅れを導入しても、Fig. 2 に示すように物体の姿勢を制御することができる。これは、通常のビデオフレームレートのビジョンシステムで、柔軟指による把持と物体操作を制御できることを示唆する。以上のように、柔軟指を導入することにより、機構と制御が単純化される。

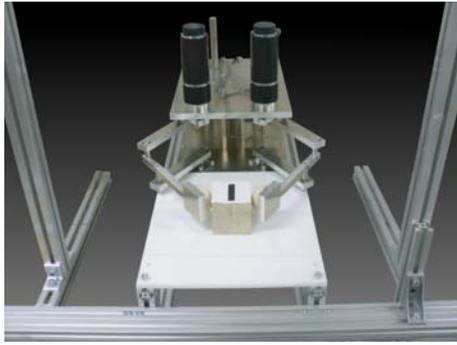


Fig.3 A pair of 2-DOF fingers with soft fingertips.

3. 一対の二自由度柔軟指による把持と操作

柔軟な指先を有する一対の二自由度指 (Fig. 3) により, 対象物の位置と姿勢を制御する. 指の自由度はすべて回転関節とする. ビジョンシステムにより物体の位置と姿勢を検出できるとする. すると, 一対の柔軟指による物体の把持・操作と同様に, 二段階制御法を用いることにより, 対象物の位置と姿勢を制御することができる [4]. このとき, リンク系の運動学的形態が Fig. 3 に示す形態と同じであることが要求される. これは, 逆運動学が一対一写像であることを意味する. このとき各指の中間関節は, 人間の肘関節や指関節のように, 伸ばした状態から一方向にのみ回転することが必要である. このような機構は容易に実現することができる.

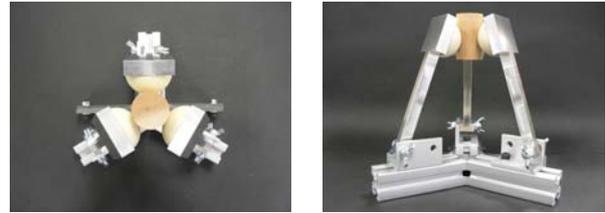
4. 三本の一自由度柔軟指による把持と操作

三本の一自由度柔軟指による物体の把持と操作を観察しよう. Fig. 4 は, 半球柔軟指先を有する三本の指による円筒物体の把持を表す. Fig. 4-(a) は初期状態であり, 三つの関節角はすべて 71° である. 円筒物体の軸は鉛直方向に沿っている. Fig. 4-(b) では, 関節角はそれぞれ 67° , 71° , 74° である. 円筒は傾いていることがわかる. Fig. 4-(c) では, 関節角はそれぞれ 71° , 71° , 69° である. 円筒物体は, 関節角度 69° の指の方向に傾いている. これらの実験から, 円柱物体の姿勢の二自由度と円柱物体に作用する把持力が制御可能であることがわかる. すなわち, 三本の一自由度柔軟指により三つの変数を制御できる.

ビジョンシステムにより物体の姿勢を検出できるとする. すると, 一対の柔軟指による物体の把持・操作と同様に, 二段階制御法を用いることにより, 物体の姿勢の二自由度を制御できることが示されている [5]. したがって, スカラロボットの先端に三本の一自由度柔軟指から成るロボットハンドを装着することにより, 把持物体の位置の三自由度と姿勢の三自由度, ならびに物体に作用する把持力を独立に制御することが可能である.

5. 結言

本報告では, ソフトインターフェースを導入することにより, 物体の把持・操作の機構と制御が単純になることを示した. その鍵は, 柔軟な指先が生得的に持つポテンシャルエネルギーの性質と, その性質を利用した制御則にある. これにより, より少ない自由度の



(a) 71° , 71° , 71°



(b) 67° , 71° , 74°



(c) 71° , 71° , 69°

Fig.4 Grasping by a triplet of 1-DOF fingers with soft fingertips.

ロボットハンドと一般的なカメラを用いて, 物体の把持や操作が可能になる.

今後とも, 本報告で紹介した柔軟指による物体把持や操作のように, 柔らかい部材を積極的に使うことにより, 機構や制御が単純化される可能性を探りたい.

Q1

- [1] 平井 慎一, 物理世界と情報世界をつなぐソフトインターフェース, 日本ロボット学会誌, ロボティクス・サイエンス論文特集号, Vol.28, No.4, pp.503-511, May, 2010.
- [2] Takahiro Inoue and Shinichi Hirai, *Mechanics and Control of Soft-fingered Manipulation*, Springer-Verlag, ISBN 978-1-84800-980-6, January, 2009.
- [3] Takahiro Inoue and Shinichi Hirai, *Robotic Manipulation with Large Time Delay on Visual Feedback Systems*, IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2010), Montreal, Canada, July 7-9, 2010.
- [4] Yujiro Yamazaki, Takahiro Inoue, and Shinichi Hirai, *Two-Phased Controller for a Pair of 2-DOF Soft Fingertips Based on the Qualitative Relationship between Joint Angles and Object Location*, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 4294-4301, Anchorage, May 3-8, 2010.
- [5] 上本 宏明, 平井 慎一, 柔軟 3 指による把持対象物の姿勢制御, ロボティクス・メカトロニクス'10 講演会予稿集 CD-ROM, 旭川, June, 2010