

視覚・力覚センサを用いた柔軟物の操り

○森 宏滋 (立命大) 古池伸好 (立命大) 和田隆広 (香川大) 平井慎一 (立命大)

Manipulation of Deformable Objects with Vision and Force Sensors

*Hiroshige Mori, Nobuyoshi Koike, Takahiro Wada[†], and Shinichi Hirai
(Ritsumeikan Univ., [†]Kagawa Univ.)

Abstract— A new approach to the manipulation of deformable objects is presented. Manipulation of deformable objects is a primitive task in garment industry, food industry and so on. At present, it is difficult to realize these tasks by mechanical systems due to their complex deformation characteristics. In this paper, we will realize manipulation with grasping of deformable objects utilizing robust control method based on their coarse model with vision and force sensors.

Key Words: deformable objects, manipulation, vision sensor, force sensor

1. はじめに

柔軟物の操りは、衣料産業や食品産業など幅広い分野における基本的な作業である。しかし、対象物体の変形特性の多様さにより、機械システムによる実現は難しいのが現状である。

これまでに、視覚センサを用いることによって、粗いモデルに基づく多点同時位置決め制御が可能であることが示された[1]。本研究では、粗いモデルに基づくロバストな制御則により、視覚・力覚センサを用いた柔軟物の操りを実現することを目的とする。

2. 柔軟物の操り

柔軟物の操りとは、柔軟物を把持し、物体の位置・姿勢と変形の両方を同時に制御することである。柔軟物の把持においては、対象物体に変形が生じるため、点接触ではなく、面接触が生じる。また、操りにおいては指と対象物体との相対位置が、すべりや転がりのため、変化することが多い。

対象物体の並進、回転、変形を表現するために、対象物体上に有限個の代表点を選ぶ。このとき柔軟物の操りは、Fig.1に示すように、代表点をそれぞれの目標点に案内することとみなすことができる。

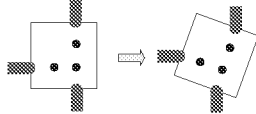


Fig.1 Manipulation of deformable objects

3. 制御則

柔軟物の把持を保ったまま操りを実現するためには、把持力制御と代表点の位置決め制御が必要である。前者では、指が物体に与える把持力を制御する。把持力制御においては、手先に取り付けた力覚センサにより把持力を計測する必要がある。後者では、代表点の位置を制御する。位置決め制御においては、視覚センサにより代表点の座標を計測する必要がある。

まずは、2自由度機構による1次元での操りの実現を目指す。Fig.2に示すように対象物体をモデル化する。

操作点を P_1, P_4 、位置決め点を P_2, P_3 とし、各点間を線形ばねで接続する。 P_i の座標を x_i 、点 P_i と P_j を結ぶばねのばね定数を k_{ij} 、ばね k_{ij} により P_i に作用する力を f_{ij} 、また、点 P_i に作用する外力を f_{ext}^i で表わす。

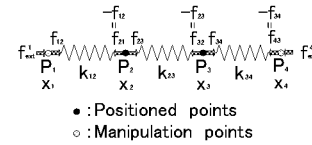


Fig.2 Model of deformable object

3.1 間接同時位置決め

位置決め点における静的な力のつりあい式は、次式で表わせる。

$$\begin{cases} -f_{12} + f_{23} = 0 \\ -f_{23} + f_{34} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

(1) 式を線形化することにより次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} x_1^{k+1} \\ x_4^{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^k \\ x_4^k \end{bmatrix} + \alpha \begin{bmatrix} \frac{k_{12} + k_{23}}{k_{12}} & -\frac{k_{23}}{k_{12}} \\ -\frac{k_{23}}{k_{34}} & \frac{k_{23} + k_{34}}{k_{34}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2^d - x_2^k \\ x_3^d - x_3^k \end{bmatrix}$$

ただし、 α はゲインとする。

3.2 把持力制御

操作点における静的な力のつりあい式は、次式で表わせる。

$$\begin{cases} f_{12} + f_{ext}^1 = 0 \\ -f_{34} + f_{ext}^4 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 f_{ext}^1, f_{ext}^4 はそれぞれ左指、右指が与える力である。その大きさ $|f_{ext}^1|, |f_{ext}^4|$ は力覚センサにより計測できるものとする。

(2) 式を線形化することにより次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} x_1^{k+1} \\ x_4^{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^k \\ x_4^k \end{bmatrix} + \beta_1 \begin{bmatrix} x_2^d - x_2^k \\ x_3^d - x_3^k \end{bmatrix} + \beta_2 \begin{bmatrix} \frac{1}{k_{12}} \delta F(|f_{ext}^1|) \\ -\frac{1}{k_{34}} \delta F(|f_{ext}^4|) \end{bmatrix}$$

ただし、 β_1, β_2 はゲインとする。

把持力の大きさを f で表す。 f の値は、力覚センサにより計測できる。把持力の大きさ f に対して、把持力の目標変化量 δF を対応させる。把持力制御においては、把持力の大きさをある閾値 f_0 より大きくすることを目標とする。すると、 $f \geq f_0$ のとき δF は 0 でよい。一方、 $f < f_0$ のとき、 δF は正の値を持つ必要がある。また、 f の大きさが f_0 より小さくなるほど、 δF の大きさは大きくなる必要がある。したがって、 f に対する δF は Fig.3 に示すように表される。これは例えば次式のような関数である。

$$\delta F = \begin{cases} -\log\left(\frac{f}{f_0}\right) & f \leq f_0 \\ 0 & f \geq f_0 \end{cases} \quad (3)$$

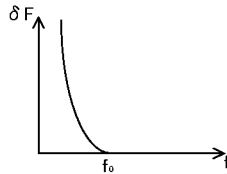


Fig.3 Desired increment of grasping force

4. 間接同時位置決めと把持力制御のシミュレーション

シミュレーションにより、第3節で提案する制御則の有効性を検証する。 α, β_1 は位置決めゲインであり、 β_2 は把持力ゲインとする。そこで、 β_1 を0とし、間接同時位置決めを行いながら、把持力のみを補正を行う。

シミュレーションは Fig.4 のようなモデルを用いる。操作点を P_1, P_4 、位置決め点を P_2, P_3 とし、各点間を線形ばねとダンパーで接続する。 P_i の座標、質量をそれぞれ x_i, m_i 、点 P_i と P_j を結ぶばねのばね定数を k_{ij} 、自然長を l_{ij} 、ダンパーの減衰係数を b_{ij} で表す。

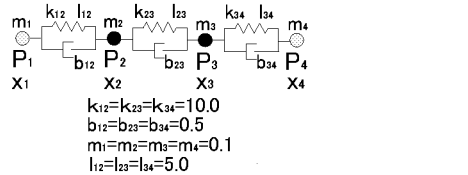
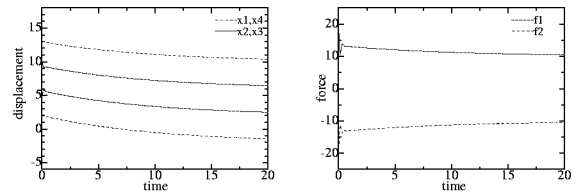


Fig.4 simulation model of deformable object

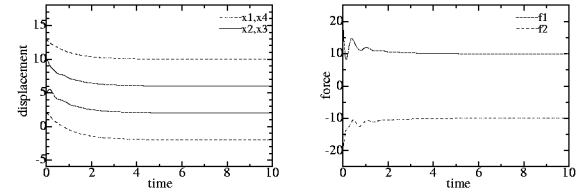
まず、位置決めゲインの調整のために、力の大きさが把持力目標 $f_0 = 5.0$ を下回ることをない $(x_2^d, x_3^d) = (2, 6)$ を目標値とし、把持力ゲインを 1.0 に固定して、位置決めゲインを変えながらシミュレーションを行う。ただし、操作点、位置決め点の初期座標をそれぞれ $x_1 = 0, x_2 = 5, x_3 = 10, x_4 = 15$ とする。また、Fig.4,5はそのシミュレーション結果である。その結果 $\alpha = 0.1$ では、Fig.5に見られるように収束速度が遅すぎ、また $\alpha = 10$ では発散した。よって、位置決めゲイン α は 1.0 程度が妥当でであると考えられる。

次に、把持力ゲインの調整のために、力の大きさが把持力目標 $f_0 = 5.0$ を下回る $(x_2^d, x_3^d) = (2, 7)$ を目標値とし、位置決めゲインを 1.0 に固定し、把持力ゲインを変えながら同様に進行。Fig.6,7,8はそのシミュレーション結果である。

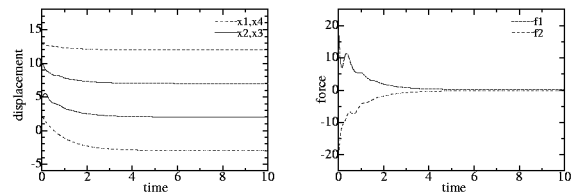
その結果、把持力ゲインを大きくすれば、位置決め誤差が大きくなるのが分かる。そこで、力の大きさがどれくらいであれば把持状態を保つことができるか



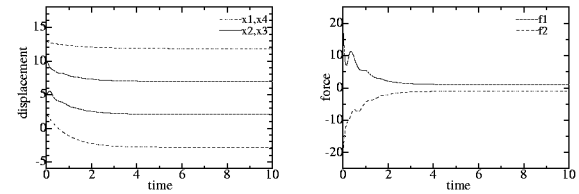
(a)displacement (b)force
Fig.5 Result of simulation($\alpha = 0.1, \beta_2 = 1.0$)



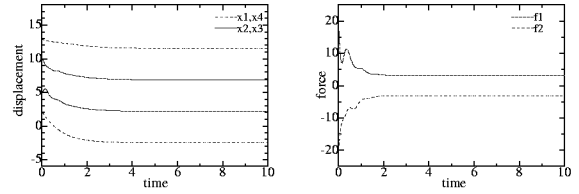
(a)displacement (b)force
Fig.6 Result of simulation($\alpha = 1.0, \beta_2 = 1.0$)



(a)displacement (b)force
Fig.7 Result of simulation($\alpha = 1.0, \beta_2 = 0.1$)



(a)displacement (b)force
Fig.8 Result of simulation($\alpha = 1.0, \beta_2 = 1.0$)



(a)displacement (b)force
Fig.9 Result of simulation($\alpha = 1.0, \beta_2 = 10$)

考え、把持力ゲインを適切に調整しなければならない。

5. おわりに

本報告では、柔軟物の把持を保ったまま操りを実現するための制御則を提案し、シミュレーションを行った。今後の課題としては、指先をはじめとしたシステム全体を完成させ、その後、実験によって制御則の有効性の検証していくことである。

参考文献

- 1) 和田隆広, 平井慎一, 川村貞夫, “伸縮柔軟物体上の複数点の間接的同時位置決め作業の実現,” 日本ロボット学会誌, vol.17,no.2,pp.126-134,1999.