

視覚・力覚センサを用いた柔軟物操作制御則の実験的評価

Evaluation based experiment of control rule manipulated the Deformable Objects with Vision and Force Sensors

古池 伸好 (立命大) 森 宏滋 (立命大)
 和田 隆広 (香川大) 平井 慎一 (立命大)

Nobuyoshi KOIKE, Ritsumeikan Univ., Nojihigasi1-1-1, Kusatsu-si, Siga
 Hiroshige MORI, Ritsumeikan Univ
 Takahiro WADA, Kagawa Univ
 Shinichi HIRAI, Ritsumeikan Univ

abstract In this paper, we evaluate control rule manipulated the Deformable Objects with Vision and Force Sensors by experiment. We proposed a novel control method for indirect simultaneous position decision. This method controls simultaneously position and posture of deformable objects. We define manipulation as moving several points on the objects to their respective positions. The points cannot be manipulated directly, so they must be moved by manipulating other points on the object.

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

1. はじめに

これまで、視覚センサを用いることにより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] さらに、新たに力覚センサを加えた制御則によってシミュレーションを行った結果、視覚・力覚センサを用いた粗いモデルに基づくロバストな制御則についての有用性が示された。本研究では、この制御則について実験的評価という観点から検証することを目的とする。

2. 柔軟物操作の定義

柔らかい物体の特徴は「変形しやすい」ことである。したがって一定動作が一定の結果を生み出すとは限らない。つまり柔軟物操作は、予測することも、計測することもできない不確定性を表している。

そこで対象物体上に有限個の代表点を選ぶ。Fig.1 のように代表点を各々の目標点に導くことにより柔軟物の位置と姿勢を同時に制御する。これを柔軟物操作と定義する。

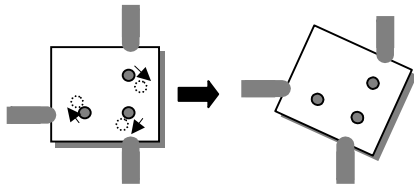


Fig.1 Manipulation of deformable object

3. 制御則

本研究ではまず1次元による柔軟物操作を実現させる。そのためには1次元による把持力制御と代表点の位置決め制御が必要である。対象物を Fig.2 に示すようにモデル化する。操作点を P_1, P_4 , 位置決め点を P_2, P_3 とし各点間を線形バネにより接続する。点 P_1 から点 P_4 の座標をそれぞれ x_1 から x_4 とする。バネ定数を k_{12}, k_{23}, k_{34} とし、バネによる力をそれぞれ f_{12}, f_{23}, f_{34} とする。

両端に作用する外力を、それぞれ f_{ext}^d, f_{ext}^r は外力とする。

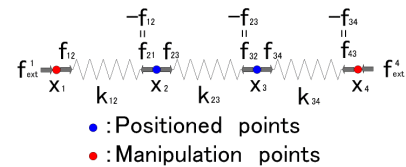


Fig.2 Model of one-dimensional deformable object
 ここで位置決め点における静的な力のつりあい式を線形化することにより位置決め制御則が導かれる。

$$\begin{bmatrix} x_1^{k+1} \\ x_4^{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^k \\ x_4^k \end{bmatrix} + \alpha_1 \begin{bmatrix} x_2^d - x_2^k \\ x_3^d - x_3^k \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし、 α_1 はスケーリングファクターである。

同様に操作点における静的な力のつりあい式を線形化することにより把持力の制御則が導かれる。

$$\begin{bmatrix} x_1^{k+1} \\ x_4^{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^k \\ x_4^k \end{bmatrix} + \beta_1 \begin{bmatrix} x_2^d - x_2^k \\ x_3^d - x_3^k \end{bmatrix} + \beta_2 \begin{bmatrix} \delta F(|f_{out}^1|) \\ -\delta F(|f_{out}^4|) \end{bmatrix} \quad (2)$$

ただし、 β_1, β_2 はスケーリングファクターである。

把持力の大きさを f とし、力覚センサにより計測できるものとする。 f は次式の関数で表される。

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

これは把持力 f が閾値 f_0 より小さくなった場合、その値に応じて f だけ把持力を増やすことを意味する。

(1)式, (2)式を足し合わせるにより、柔軟物操作の制御則が得られる。

$$\begin{bmatrix} x_1^{k+1} \\ x_4^{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^k \\ x_4^k \end{bmatrix} + \alpha_1 \begin{bmatrix} x_2^d - x_2^k \\ x_3^d - x_3^k \end{bmatrix} + \beta_2 \begin{bmatrix} \delta F(|f_{out}^1|) \\ -\delta F(|f_{out}^4|) \end{bmatrix} \quad (3)$$

4. システム構成

Fig.3に1次元位置決めシステムを示す。まず視覚センサからの位置情報と力覚センサにおける計測値をPCに取り込む。次にそれらの計測値と目標値に基づき(3)式に従って操作点の移動量を計算しモータに指令する。

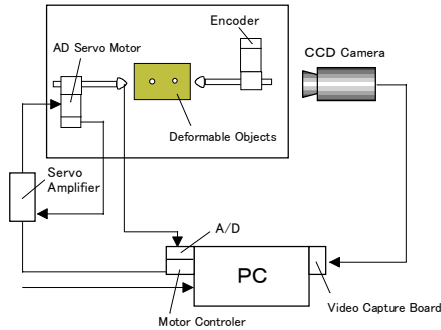


Fig.3 Experimental setup

5. 実験

5.1 実験方法

本節では提案する制御則の有効性を実験により検証する。対象物としてポリウレタンフォームのスポンジ 90[mm] × 150[mm] × 45[mm]を使用し、そして 150[mm]の辺を3つの格子に区切る。両端に操作点を配置し、内側の2点を位置決め点として実験を行なう。把持力の閾値は指をスポンジに3 ~ 4 [mm]押し込んだ状態の把持力に相当する力として行なう。

5.2 実験結果

まず位置決め制御則の実験を行った。初期状態として最初に左右の指をスポンジに 5[mm]ずつ押し込んだ状態から始める。そのとき位置決め点の位置を x^{init}_2, x^{init}_3 とする。位置決め点 P_2, P_3 の目標値をそれぞれ x^{d}_2, x^{d}_3 とする。圧縮運動をさせるために $(x^d_2, x^d_3) = (+10, +5)$ と設定する。今回は(3)式の位置決め制御項に関する実験のため、把持力スケールリングファクターの α_2 を 1.0 に固定し、位置決めスケールリングファクター α_1 を 4.0, 2.0, 1.0, 0.5, 0.25 に設定し実験を行った。その結果スケールリングファクター $\alpha_1 = 1.0$ のとき、最も安定した収束が見られた。このときのグラフを Fig.4 の(a), (b)に示す。(a)は圧縮実験における位置決め点と操作点の運動の代表例であり、(b)は、実験を 10 回行なったときのノルムの変化を表したものである。

次に把持力制御則に関する実験を行う。こちらは最初に左右の指をスポンジに 10[mm]ずつ押し込んだ状態から始める。わざと把持が崩れる可能性のある運動を行ない、把持力制御がうまく働いているかどうかを確認する。そのための設定として、 $(x^d_2, x^d_3) = (+8, +10)$ とする。ここでは位置決め制御則の実験結果を参考にして、位置決めスケールリングファクター α_1 を 1.0 に固定し、把持力スケールリングファクターの α_2 を 2.0, 1.5, 1.0, 0.75, 0.5 に設定し実験を行った。その結果スケール

リングファクター $\alpha_2 = 0.75$ のとき最も安定した把持力を保つことができた。このときのグラフを Fig.4 の(c), (d)に示す。(c)に把持力変化、(d)は実験を 10 回行なったときのノルムの変化を表す。

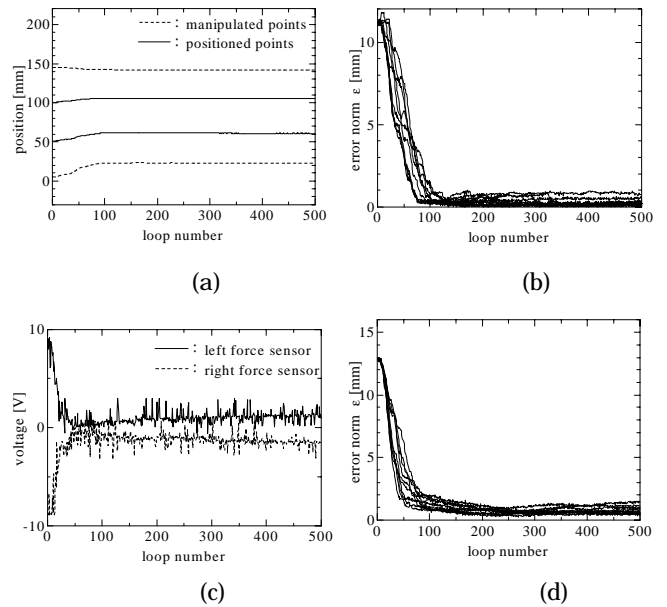


Fig.4 experiment result

5.3 考察

位置決めに関するスケールリングファクターは大きくなるほど収束が早くなると予想できるが、実際には 1.0 以上では、さほど違いが見られない。これは制御法によるところが大きいと思われる。また 1.0 以下では小さくなるほど収束速度が遅くなるものと思われる。把持力に関するスケールリングファクターは大きくなるほど目標への収束性が低くなりノルムが大きくなっている。一方小さくなるほど把持力を表す電圧値は小さいところで安定し、把持力が弱くなると考えられる。これは閾値を下回ると位置決めを邪魔する方向にロボット指を動かそうとする場合があるからである。

6. おわりに

本研究では視覚・力覚センサを用いた柔軟物操作制御則に対して、実験によるアプローチからその有効性についての評価を行なった。その結果、スケールリングファクターを適切な値に設定することで安定した収束が得られることを確認した。今後の課題としては2次元での柔軟物操作の実現である。しかし2次元では把持力をどの方向に増加させるかという問題点が挙げられる。また、把持力の閾値を正確に同定する必要もある。

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間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