

# 視覚センサを用いた柔軟物の操り

○森 宏滋 和田隆広 古池伸好 平井慎一  
(立命館大学 ロボティクス学科)

## Manipulation of Deformable Objects with Visual Sensors

\*Hiroshige Mori, Takahiro Wada, Nobuyoshi Koike, and Shinichi Hirai  
(Ritsumeikan University)

**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 of deformable objects utilizing robust control method based on their coarse model with a visual sensor.

**Key Words:** deformable objects, manipulation, visual 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入力多出力の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、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。実際の柔軟物の操りでは、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、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位置決め点を選ぶ。このとき柔軟物の操りは、Fig.1の示すように、位置決め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。

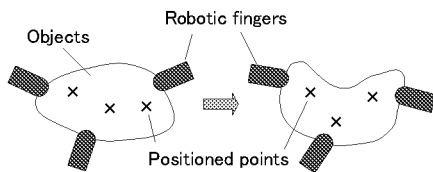


Fig.1 Manipulation of deformable objects

### 3. モデルに基づく制御則

柔軟物の操りでは、指は物体と面接触する。指と物体の接触面内の一点を操作点とする。このとき、Fig.2に示すように、操作点、位置決め点を通るように、対象物体上に格子を設ける。各格子点間をバネで結合して、物体の弾性変形をモデル化する。

結局、格子点は以下の3種類に分類される。

**操作点:** ロボット指で拘束を与える点。

**位置決め点:** 操作点を適切に制御することにより位置

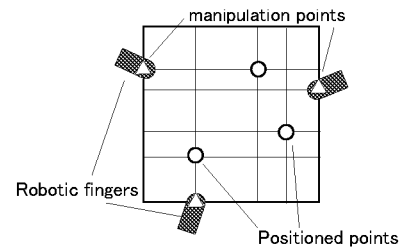


Fig.2 lattice model of deformable objects

決めする点。

**非対象点:** 操作点でも、位置決め点でもない点。

操作点、位置決め点および非対象点の数をそれぞれ、 $m, p, n$ , とする。ただし、操作点の数と位置決め点の数は等しい( $m = p$ )とする。また、すべての操作点の  $x, y$  座標を並べた  $2m$  次元ベクトル  $\mathbf{r}_m$  を定義する。同様に、位置決め点、操作点に対し、それぞれ  $\mathbf{r}_p, \mathbf{r}_n$  を定義する。

ここで、各格子点における釣り合いの式を線形化すると、次式の制御則が導かれる[1]。

$$\mathbf{r}_m^{k+1} = \mathbf{r}_m^k - dS_U F_k^{-1} C_k (\mathbf{r}_p^d - \mathbf{r}_p^k) \quad (1)$$

$$\mathbf{r}_n^{k+1} = \mathbf{r}_n^k - dS_L F_k^{-1} C_k (\mathbf{r}_p^{k-1} - \mathbf{r}_p^k) \quad (2)$$

ただし、 $S_U = [I | \mathbf{o}]$ ,  $S_L = [\mathbf{o} | I]$  である。 $\mathbf{r}_p^d - \mathbf{r}_p^k$  は目標値との誤差、 $\mathbf{r}_m^k$  は操作点の位置である。添字  $k$  は、 $k$  回目の試行を表し、 $d$  はモデル化誤差が生じても安定化するように用いたスケーリングファクターである。行列  $F_k, C_k$  は、 $\mathbf{r}_m^k, \mathbf{r}_p^k$ , および  $\mathbf{r}_n^k$  の関数となる。

第  $k$  回の試行において、視覚センサにより位置決め点の位置を計測する。式(1)により、位置決め点の誤差を減少させるための、操作点変位を決定する。ロボット指を制御することにより、操作点の位置をこれに一致させる。その後、 $k+1$  回目の位置決め点の誤差が再び計測される。この手順を繰り返すことによって、位置決め点が目標値へ収束される。ただし、非対象点  $\mathbf{r}_n^k$  に関しては、数が多いために視覚センサによる計測が効果的でない場合が多いので、式(2)で推定する。

この制御則は、指と対象物体が離れないということを前提にして導かれている。したがって、作業中に指が離れないという保証はない。

## 4. 実験

### 4.1 実験方法

本節では、実際の柔軟物体を用いて操りを行い、提案する手法の有効性を示す。対象物体として、ポリエーテルフォームのスポンジを90[mm]×90[mm]×30[mm]に切り取って使用した。ただし、今回は、2次元平面内での変形を扱うため、厚さ方向は無視する。Fig.3のように位置決め点、操作点を3点ずつ、次式の通り配置した。

$$\mathbf{r}_p = [30, 30, 60, 30, 60, 60]^T$$

$$\mathbf{r}_m = [60, 0, 0, 30, 90, 60]^T$$

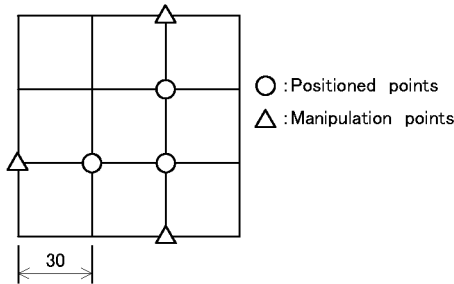


Fig.3 Location of positioned points and manipulation points

Fig.4のように6パターンに分け実験を行う。パターン1は並進のみ、パターン2は並進しながらの圧縮、パターン3は並進しながらの伸長、変形パターン4は回転、パターン5は圧縮、パターン6はパターン1の並進とパターン4の回転の組み合わせである。目標値はそれぞれ以下の通りである。

$$\text{パターン1: } \mathbf{r}_p^d = [35, 30, 65, 30, 65, 60]^T$$

$$\text{パターン2: } \mathbf{r}_p^d = [35, 30, 62, 30, 62, 60]^T$$

$$\text{パターン3: } \mathbf{r}_p^d = [32, 30, 65, 30, 65, 60]^T$$

$$\text{パターン4: } \mathbf{r}_p^d = [27.6, 32.8, 57.2, 27.6, 62.4, 57.2]^T$$

$$\text{パターン5: } \mathbf{r}_p^d = [32, 32, 58, 32, 58, 58]^T$$

$$\text{パターン6: } \mathbf{r}_p^d = [32.6, 37.8, 62.2, 32.6, 67.4, 62.2]^T$$

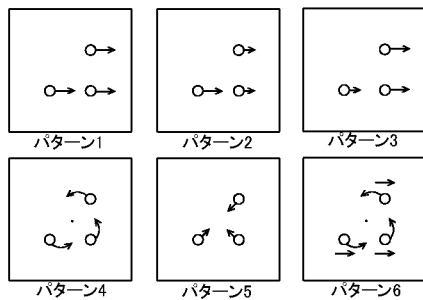


Fig.4 Motion pattern of positioned points

### 4.2 実験結果

実験結果をTable1に示す。操りが成功したか否かを、ノルム $\epsilon$ が、あるしきい値 $\epsilon_t$ より小さくなったか否かで判定する。ただし、ノルム $\epsilon$ は位置決め点の誤差ベクトルのユークリッドノルムである。Table1の各パターン1段目は、○： $\epsilon_t = 1.0$ で収束、△： $\epsilon_t = 2.0$ で収束、×：収束なし、を表し、2段目、3段目はそれぞれ $\epsilon_t = 1.0$ 、 $\epsilon_t = 2.0$ のときの収束回数である。Fig. 5 (a),(b)はそ

Table 1 Convergence of norm

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
パターン1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	5	9	4	10	3	4	4	5	5	4
	3	4		4				4	4	
パターン2	○	△	○	△	△	△	△	△	○	△
	4		16						12	
		3	4	4	3	4	3	3	4	4
パターン3	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
パターン4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	4	3	4	9	4	9	4	4	7	4
	3			7	3	3	3	3	3	
パターン5	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
								25		
	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3
パターン6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	9	4	7	8	6	14	10	4	8	5
	4		4	4	4	5	5		5	4

れぞれ変形、回転の代表的な例の運動を表す。

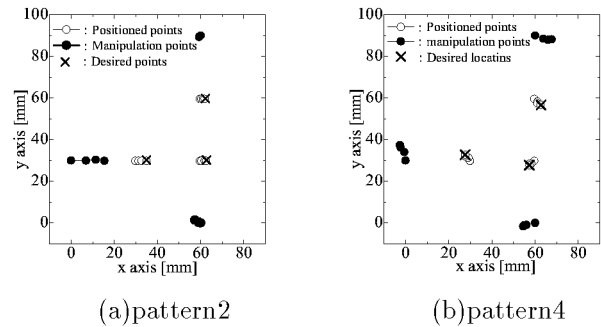


Fig.5 Measured motion of positioned points and manipulation points

### 4.3 考察

今回の実験では、Table1に示すように、パターン1,4,6のような変形を含まない操りに関しては、 $\epsilon_t = 1.0$ で収束している。一方、変形を含む操りに関しては、 $\epsilon_t = 2.0$ で収束した。これは、視覚センサの分解能が0.72mmであること、ならびに、操作点の配置が不適切であったことが原因であると考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、柔軟物の操りを有限個の代表点の運動で表すことを提案した。その際に、視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が適用できることが示された。さらに、実験によりその有効性を確認した。

今後の課題として、分解能の向上、操作点の配置問題などが挙げられる。また、今回は対象物体と指が離れないことを前提としていた。しかし実際には、対象物体と指が離れないように制御の必要がある。そのため、指先に作用する力、あるいは接触面積を計測して、制御する必要がある。

### 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.