

## 並進関節を用いた柔軟3指による把持対象物の姿勢制御

### Controlling Orientation of Object Grasped by Three-Fingered Hand with Soft Fingertips Driven by Translational Joints

石川 淳一 (立命館大学) 岩政 恒史 (立命館大学) 平井 慎一 (立命館大学)

Junichi ISHIKAWA, Ritsumeikan University

Hisashi IWAMASA, Ritsumeikan University

Shinichi HIRAI, Ritsumeikan University

This article focuses on the three dimensional posture control of the grasped object by robotic hand with soft fingertips driven by translational joints. This hand can grasp an object with appropriate grasping force and regulate two degrees of freedom a grasped object orientation. We have applied a 3-axis acceleration sensor to measure the orientation of a grasped object. We control the orientation of a grasped object by driving translational joints 2 fingers. We experimentally show that this hand can tilt the grasped object at least 20 degrees toward any direction. We also experimentally show that this hand can tilt a grasped object up to 35 degrees.

*Key Words:* Handling, Finger tip soft material, Translational Joint

### 1. 緒言

人間は、指先を用いて比較的容易に対象物を把持し、対象物の姿勢を操作することができる。人間がこのように、対象物を安定して把持することができる要因のひとつに、人間の指先が柔軟であることが考えられる。この点に着目し、回転関節を用いた柔軟指口ロボットハンドの研究が進められてきた。

回転関節を用いた柔軟指ハンドは、ハンドの持つ自由度と、ハンドが把持対象物に対して操作できる自由度が一致する。たとえば、1自由度の回転関節で駆動される柔軟指2本から成るハンドは、把持対象物の傾き角と把持力を制御できる [1]。また、1自由度の回転関節で駆動される柔軟指3本から成るハンドは、把持対象物の傾く角度と傾いた方向の2種類の姿勢、把持力を制御できる [2]。ただし、把持対象物の傾き角は最大 10 deg. にとどまる [3]。

ハンドにおいては回転関節の代わりに並進関節を用いることができる。1自由度の並進関節で駆動される柔軟指2本からなる成るハンドは、把持対象物の傾き角をより大きく制御できることがわかっている [4]。したがって、並進関節で駆動される柔軟指3本より成るハンドにより、把持対象物の姿勢をより大きく制御することが期待できる [5]。

本報告は、並進関節を用いた柔軟な指先を有する柔軟3指ハンドの制御を行い、把持対象物を全方位に傾けられることを示す。

### 2. 回転・並進関節の特徴

図1に1自由度2指ハンドの回転関節の特徴を、図2に1自由度2指ハンドの並進関節の特徴を示す。図1に示した回転関節の特徴として、このハンドの1指どうしの形状を等しくすることができる。構造を簡易的に行うことができる。ただし、姿勢操作を行うさいに、把持対象物にかかる把持力を一定にして制御することが、困難であるため、姿勢操作中に把持物体を落下する恐れがある。

図2に示した並進関節の特徴として、把持用、姿勢操作で役割分担することができる。そのため、姿勢操作時の把持力を一定に保ちながら姿勢制御を容易に行うことができる。さらに、把持対象物の姿勢操作を行うとき、ハンドの最大可動範囲は、関節の最大長に等しい。このことから、1自由度2指ハンドの場合、並進関節は把持対象物が落下するまで、把持対象物を把持し続ける。よって、並進関節は把持対象物の傾きを大きくすることができる。

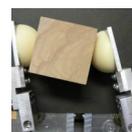


Fig. 1 Motion of two-fingered hand with soft fingertips using rotational joints



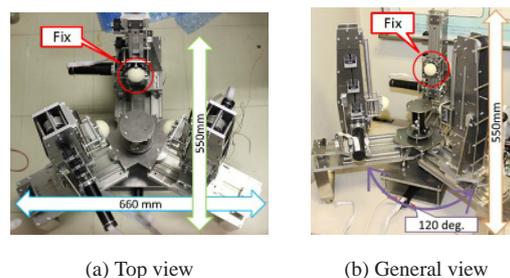
(a) Before

(b) After

Fig. 2 Motion of two-fingered hand with soft fingertips using translational joints

### 3. 並進関節を用いた柔軟3指

図3(a)、図3(b)に、実機の上面図、全体図を示す。実機のサイズは縦 550 mm、横 660 mm、高さ 550 mm であり、重量



(a) Top view

(b) General view

Fig. 3 Three-fingered hand with soft fingertips using manual translational joints

は指機構同士のなす角度は等間隔に 120 deg. である。なお、姿勢操作を行うさいは、指機構のモータは 2 つのみ使用する。そのため、把持機構に 1 自由度、姿勢操作に 2 自由度の計 3 自由度のロボットハンドとなる。

## 4. 把持対象物の姿勢計測

### 4.1 把持対象物の 2 種類の姿勢変化

本研究では、把持対象物の姿勢変化を計測する必要がある。図 4 に把持対象物の外観を示す。把持対象物の形状は三角柱であり、寸法は 1 辺 50 mm、高さ 30 mm である。把持対象物の中に 3 軸加速度センサを取り付け、2 種類の姿勢変化を計測する。センサを中に入れることで、2 種類の姿勢変化を直接計測することができる。1 つ目は、図 5(a) に示す把持対象物を横からみたときに、対象物が傾いた角度の変化を姿勢角とする。2 つ目は、図 5(b) に示す把持対象物を上からみたときに、対象物が傾いた方向の変化を方向角とする。

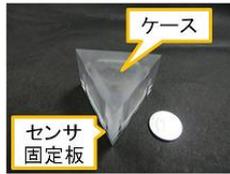


Fig. 4 Grasped object

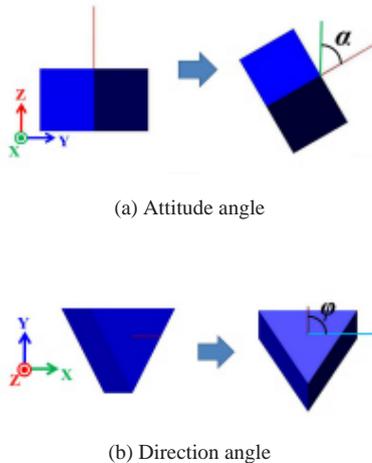


Fig. 5 Change of orientation of grasped object

### 4.2 3 軸加速度センサから姿勢角、方向角を算出方法

把持対象物の 2 種類の姿勢変化の計測を行うセンサを、図 6 に示す。この 3 軸加速度センサは重力の変化によってセンサの傾きを検出する。センサからの信号は Y 軸回転、X 軸回

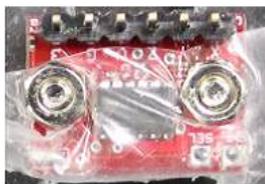


Fig. 6 3-axis acceleration sensor

転、センサの表裏の 3 つである。今回は X 軸回転、Y 軸回転の 2 つのセンサ信号から把持対象物の姿勢角、方向角を求める。図 5 より、姿勢角を  $\alpha$  [rad.]、方向角を  $\phi$  [rad.] で表す。このときの回転軸  $a$  は、

$$a = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_\phi \\ S_\phi \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

と表すことができる。単位ベクトル  $a$  まわりの角度  $\alpha$  の回転を表す行列 [6] は、

$$R(a, \alpha) = \begin{bmatrix} C_\alpha + \tilde{C}_\alpha a_x^2 & \tilde{C}_\alpha a_x a_y - S_\alpha a_z & \tilde{C}_\alpha a_x a_z + S_\alpha a_y \\ \tilde{C}_\alpha a_y a_x + S_\alpha a_z & C_\alpha + \tilde{C}_\alpha a_y^2 & \tilde{C}_\alpha a_y a_z - S_\alpha a_x \\ \tilde{C}_\alpha a_z a_x - S_\alpha a_y & \tilde{C}_\alpha a_z a_y + S_\alpha a_x & C_\alpha + \tilde{C}_\alpha a_z^2 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} C_\alpha + \tilde{C}_\alpha a_x^2 & \tilde{C}_\alpha a_x a_y - S_\alpha a_z & S_\alpha S_\phi \\ \tilde{C}_\alpha a_y a_x + S_\alpha a_z & C_\alpha + \tilde{C}_\alpha a_y^2 & -S_\alpha C_\phi \\ -S_\alpha C_\phi & S_\alpha S_\phi & C_\alpha \end{bmatrix}. \quad (2)$$

この回転行列の (3,1) 要素、(3,2) 要素に、センサからの  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  が対応し、

$$-S_\alpha S_\phi = \sin \theta_2, \quad (3)$$

$$S_\alpha C_\phi = -\sin \theta_1, \quad (4)$$

が成り立つ。これより次式を得る

$$\alpha = \sin^{-1} \left( \sqrt{\sin^2 \theta_1 + \sin^2 \theta_2} \right), \quad (5)$$

$$\phi = \text{atan2}(-\sin \theta_2, -\sin \theta_1). \quad (6)$$

## 5. 実機実験

本実験では、今回製作した並進関節を用いた柔軟 3 指ハンドと 3 軸加速度センサによる把持対象物の姿勢計測方法を用いて、把持対象物の姿勢角  $\alpha$  と方向角  $\phi$  を 2 つの角度の計測を行い、対象物を全方向に傾けられることを示す。並進関節の初期配置を図 7 に、に示す。表 1、表 2 において、A、B の並進関節の初期位置は 0 mm の状態にしてから、把持対象物を把持し姿勢操作を行う。パターン 1 からパターン 6 の順に動かしてから、パターン 1 に戻す。

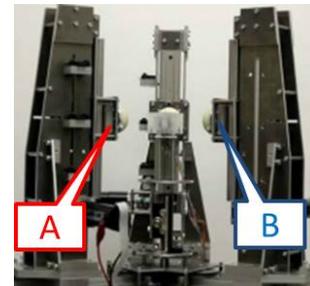


Fig. 7 Position of translational joints

Table 1 Adjustable range of translational joints 1

	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3
A	0 ~ 20 mm	20 mm	20 ~ 0 mm
B	0	0 ~ 20 mm	20 mm

Table 2 Adjustable range of translational joints 2

	Pattern 4	Pattern 5	Pattern 6
A	0 ~ -20 mm	-20 mm	-20 mm ~ 0 mm
B	20 ~ 0 mm	0 ~ -20 mm	-20 mm

A,Bの並進関節の初期位置は0mmの状態にしてから,把持対象物を把持し,姿勢操作を行う.実験結果を図9に示す.図9から把持対象物の姿勢角を最大35deg.まで傾けることができた.また,把持対象物の姿勢角を最低20deg.以上は傾けることができた.

実験結果を図8と図10に示す.図8は,各パターンのA,Bの並進移動量の絶対値が,20mmのときのものを,並進関節を用いた柔軟3指ハンドの上から撮影したものである.また,図8と図10から把持対象物を全方向に傾けることができた.

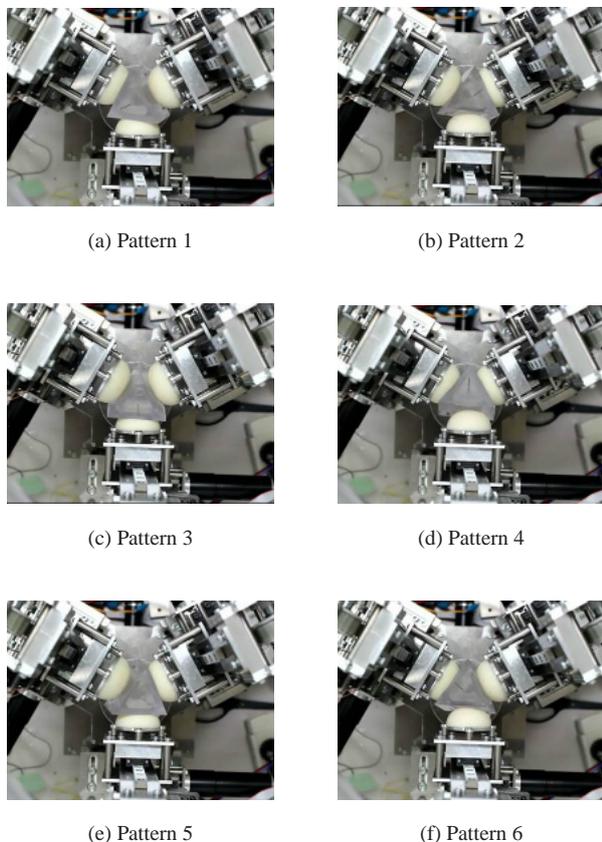


Fig. 8 Direction angle of each pattern

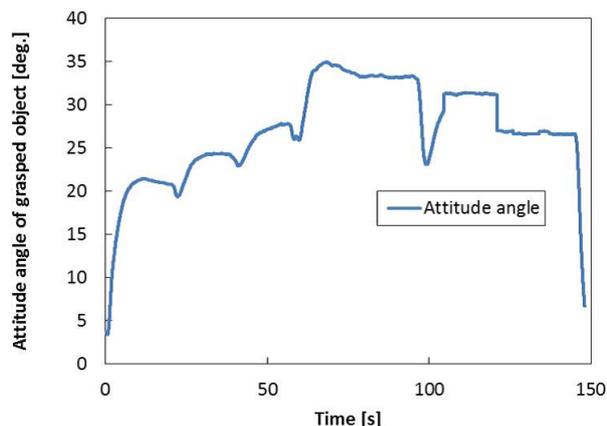


Fig. 9 Time and attitude angle

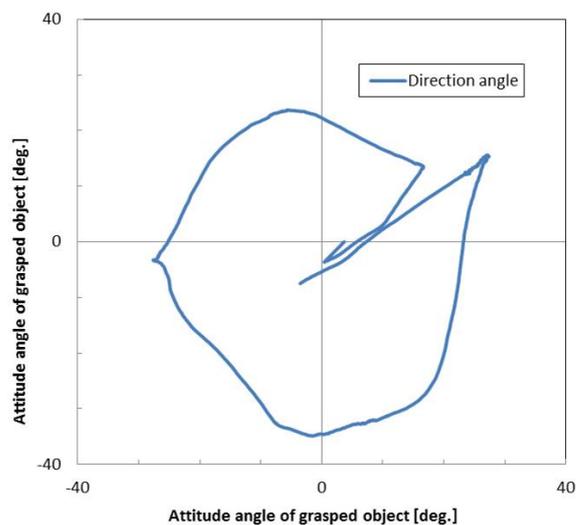


Fig. 10 Attitude angle and direction angle

## 6. 結言

本報告では,並進関節を用いた3柔軟3指ハンドの指の位置を,上下に並進移動させることで,全方向に対象物の姿勢操作ができることを示した.

今後の課題として,対象物の大きさ,形状,指機構の配置の変更し,操作を行う.また,現状の実機の大きさや重量では,現在使用されているロボットアームの先端に,取り付けることが不可能であるため,実機の小型化や軽量化を試みる.

## 文献

- [1] 井上 貴浩, 平井 慎一, “柔軟指による物体操作のダイナミクス”, ロボティクスシンポジウム予稿集, pp.156-162, 2007.
- [2] 平井 慎一, 井上 貴浩, “柔軟指による三次元把持と操作”, 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 神戸, Sept. 2008.
- [3] 上本 宏明, “柔軟3指による把持対象物の姿勢角制御”, 立命館大学修士論文, p.30, 2011.
- [4] 中谷 泰隆, 平井 慎一, “並進関節による把持物体操作”, 第29回日本ロボット学会学術講演会, 豊洲, Sept. 7-9, 2011.
- [5] 石川 淳一, 平井 慎一, “並進関節を用いた柔軟3指による把持対象物の姿勢操作”, ロボティクス・メカトロニクス'12講演会予稿集 CD-ROM, 浜松, May 28-29, 2012.
- [6] Takahiro Inoue, Shinichi Hirai, "Mechanics and Control of Soft-fingered Manipulation", Springer-Verlag, pp185-186, 2008.