

# 柔軟指ハンドによる把持対象物の姿勢積分制御手法の実験的検証

南谷 康雄 (立命館大学) 井上 貴浩 (岡山県立大学) 平井 慎一 (立命館大学)

## Experimental Verification of a New Integral Control Method for Object Orientation

Yasuo Minamitani, Takahiro Inoue, and Shinichi Hirai

Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan Univ.,

1-1-1 Noji-Higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

E-mail: rr009024@se.ritsume.ac.jp

**Abstract**— In this paper, we show an efficiency of a new integral control method that is able to achieve a posture control of an object grasped by two-softfingered robot hand using visual feedback. This control method consists of two parts: a PD controller of joint angles and an integral controller of an object orientation. We verify conformance this control method with softfingered robot hands by the experiment. Finally, we show that this control method is possible to control an object orientation and a grasping force at a time by two-softfingered robot hand.

**Key Words:** Soft-fingerd robotic hand , Visual feedback , Manipulation

### 1. 緒言

ロボットハンドによる物体操作に関する研究は、近年様々な手法により行われている。安定して物体を把持するためには、指先は剛体ではなく人間のように柔らかい柔軟指であることが好ましい<sup>1)</sup>。材料の非線形性を伴う柔軟指により物体を操作するためには、視覚フィードバックが重要である。

そこで井上らは、両指関節角と物体姿勢角情報のみを用いて物体操作を行う姿勢積分制御手法を提案し、シミュレーションにより有効性を確認した<sup>2)</sup>。本稿では、柔軟2指ハンドを用いて姿勢制御の実機実験を行い、姿勢積分制御手法が柔軟指ハンドに適した制御手法であることを検証する。

### 2. 制御手法の提案と制御入力

本稿で用いる柔軟2指ロボットハンドにより把持される対象物の運動方程式を導出するために、我々は半球形状柔軟指の弾性モデルを2次元平面で定式化している<sup>3)</sup>。現在のところ Fig.1 のように2次元運動に限定しているため、指先に関わる変数は指先最大変位量  $d_n$ 、接線方向への変位量  $d_t$ 、対象物の姿勢角  $\theta_p$  の3つを考慮している。対象物の姿勢角  $\theta_p$  は式(1)のように定義している。ここで、 $\theta_{fi}$  は第  $i$  指関節角、 $\theta_{obj}$  は把持対象物の姿勢角である。

$$\theta_p = \theta_{fi} + (-1)^i \theta_{obj} \quad (1)$$

次に、把持対象物を任意姿勢へ姿勢制御するためのシステムのブロック線図を Fig.2 に示す。制御則は次式のように表される。

$$u_{Ini} = -K_P(\theta_{fi} - \theta_{fi}^d) - K_D \dot{\theta}_{fi} + f_{const} \quad (2)$$

$$\theta_{fi}^d = -(-1)^i K_I \int_0^t (\theta_{obj} - \theta_{obj}^d) d\tau \quad (3)$$

本制御則には3つの特徴がある。一つ目は、式(3)の対象物姿勢に対する積分制御であり、姿勢偏差の蓄積に

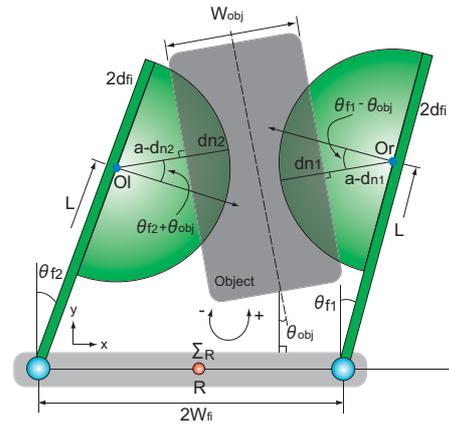


Fig.1 2DOF soft-fingered modeling.

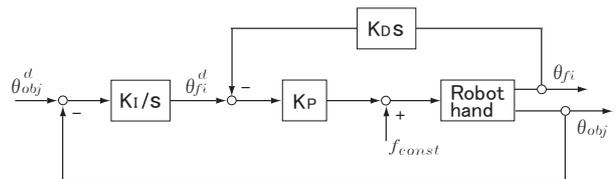


Fig.2 Block diagram of proposal control method.

より目標関節角を決定している点にある。二つ目は、式(2)のバイアス定数トルク  $f_{const}$  である。これはフィードフォワードトルクではなく、安定把持を成立させるため必要となる把持力を生み出すものであり、ユーザーが自由に設定して良い入力トルクである。三つ目は、式(3)において関節角PIDでなくPDにしている点である。安定点(LMEEwC)における独立変数解である把持対象物姿勢角  $\theta_{obj}$  と関節角  $\theta_{fi}$  の解の組み合わせは一通りのみである。式(3)で生成された目標関節角  $\theta_{fi}^d$  が安定点である保証はない。よって  $\theta_{fi}$  が  $\theta_{fi}^d$  に収束することを避けるためにPD制御にしている。

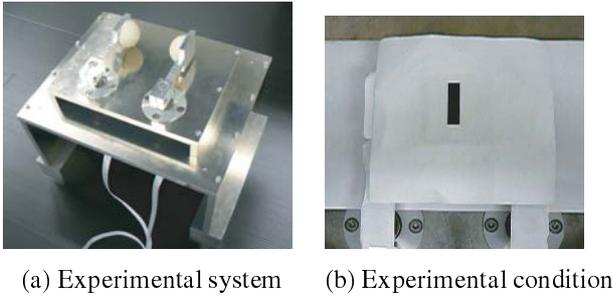


Fig.3 2DOF softfingered robotic hand.

Table 1 Experimental gains

Parameters	Values
$K_P$	120
$K_D$	15
$K_I$	20
$f_{const}$	15

Table 2 Mechanical parameters

Parameters	Values
$L$	76 [mm]
$2W_{fi}$	97 [mm]
$a$	20 [mm]
$W_{obj}$	49 [mm]
$M_{obj}$	0.3 [kg]
$d_{fi}$	4 [mm]

### 3. 姿勢制御の実機実験

式(2)(3)で示した制御則の有効性を検証するために、Fig.3-(a)の2自由度柔軟2指ハンドを用いて姿勢制御の実機実験を行った。本制御則に必要な把持対象物姿勢角は、Fig.3-(b)のように物体にマーカを付け、東芝テリー製 CCD カメラにより取得した画像データから算出している。なお、CCD カメラの撮像速度は 33[fps] であり、制御周波数は 1[ms] である。未把持状態から制御開始し、把持対象物の目標姿勢角を 0, 3, 8, -5, 0[deg] と 3[s] 毎に切り替えた実験結果を Fig.4-(a), (b), (c), (d) に示す。それぞれ (a) は把持対象物の姿勢角、(b) は把持対象物の重心  $x, y$  方向、(c) は両指関節角、但し破線は式(3)で動的に生成した目標関節角  $\theta_{fi}^d$ 、(d) は両指への出力電圧である。各ゲインは Table 1, メカニカルパラメータは Table 2 に示す値とする。

実験結果から分かるように、両関節角は目標通りに収束していないにも関わらず、把持対象物姿勢角は目標値に収束している。Fig.4-(d) で 9~12[s] のとき両指の出力電圧が変化している。これは、積分項が姿勢角に残っている 0.13[deg] の偏差に起因しているからである。逆に 12~15[s] のときは偏差がほぼ無く、式(3)の目標関節角  $\theta_{fi}^d$  が一定となるので、出力トルクはバイアス定数トルク  $f_{const}$  のみという理想的な状態になっていることがわかる。

また、姿勢制御中に把持力を変化させる実験を行った。目標姿勢角を 0, 3, 8, 8[deg] と 3[s] 毎に切り替え姿勢制御を行い、加えて最後の 9~12[s] でバイアス定数トルク  $f_{const}$  を 15~30 に上昇させた結果を Fig.5 に示す。このことからバイアス定数トルク  $f_{const}$  は、ユーザが自由に指定できる定数であることが分かる。Fig.5 より目標姿勢角である 8[deg] を維持したまま両指関節角は共に上昇していることから、把持力が上昇していることがわかる。これは、把持対象物姿勢と把持力を同時に制御できる可能性を示している。

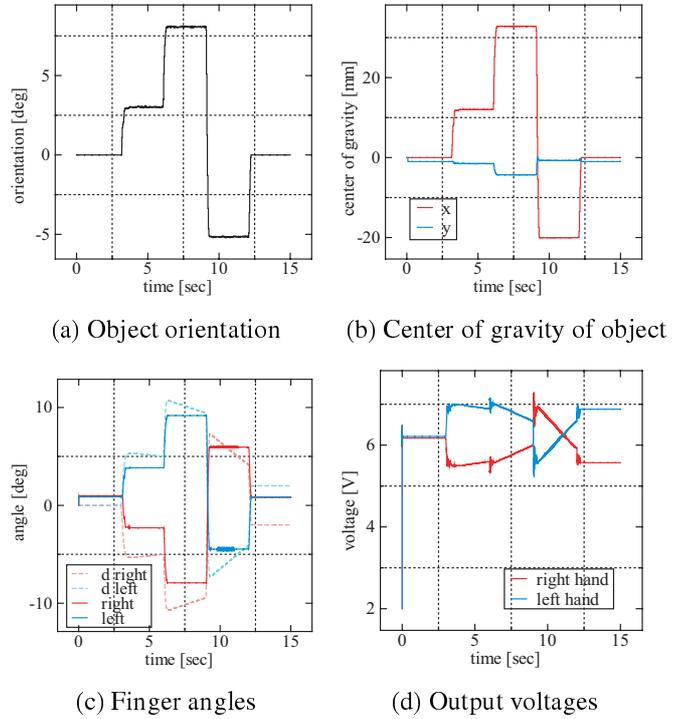


Fig.4 Results of posture control.

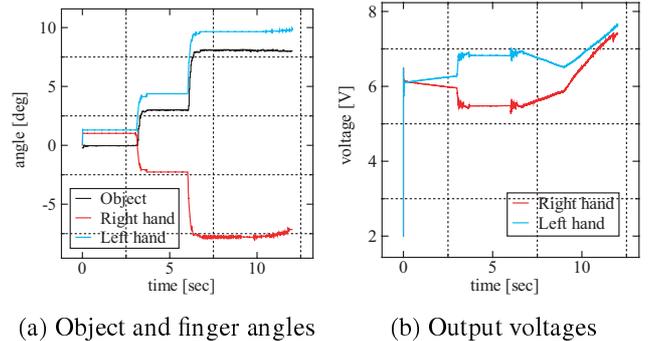


Fig.5 Control of an object orientation + change grip force.

### 4. 結言

本稿では、2自由度柔軟2指ハンドを用いて把持対象物の姿勢積分制御手法により、姿勢角制御の実機実験を行った。実機実験において、把持対象物姿勢を任意に操れることを確認でき、本制御則の有効性を示した。

この結果から、ポテンシャルエネルギーに安定点が存在する柔軟指の特性を利用した本制御則は、柔軟指ハンドの操りに適した制御手法であると言える。

#### 参考文献

- 1) Takahiro Inoue, Sshinichi Hirai: "Dynamic Stable Manipulation via Soft-fingered Hand", IEEE Int. Conf on Robotics and Automation, pp.586-591, 2007.
- 2) 井上, 平井: "力制御入力を必要としない把持対象物姿勢積分制御手法の提案", 日本ロボット学会学術講演会, 2M26, 2007
- 3) 井上, 平井: "ソフトフィンガー型最小自由度ハンドを用いた把持・操り動作における安定把持効果", 計測自動制御学会論文集, Vol.43, No.2, pp.135-144, 2007.