

並進関節による把持物体操作

中谷泰隆 (立命館大学) 平井慎一 (立命館大学)

1. はじめに

人の手は驚くほど把持物体を巧みに操ることができる。人の手の構造を考えると、指は回転関節によってできているが、実際に把持物体を回転させるとき、指先は物体に対して並進運動をしていると考える。また、注目すべき点は、指先の形状を利用し、把持物体を転がすことによって物体を回転させている点である。従来の井上らの研究 [1][2] では回転関節を用いて把持物体操作を行っていた。一方、このように人の指先の動きを参考に並進運動で把持物体を操作すれば、容易に物体の姿勢を変えることが可能と考えられる。

本報告では、井上らの研究で使用した半球柔軟指を並進運動させ並進移動量と姿勢角の関係を調べる。ただし、今回は並進移動による物体操作に主眼をおいたため、半球の変形は考慮していない。そしてさらに、今回は柔軟関節指という指先を新たに製作した。半球柔軟指と同様に並進移動量と姿勢角の関係を調べ、半球柔軟指と比較する。

2. 指先形状

指先の形状は図1のようなポリウレタンでできた半径 18.5mm の半球柔軟指と、図2のような球ジョイントの周りにポリウレタンを巻いた柔軟関節指の2種類を用いる。球ジョイントの周りにポリウレタンを巻くことにより、バネの役割を果たし復元力を持つ。



図1 半球柔軟指

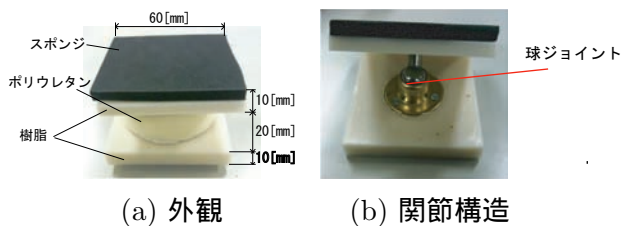


図2 柔軟関節指

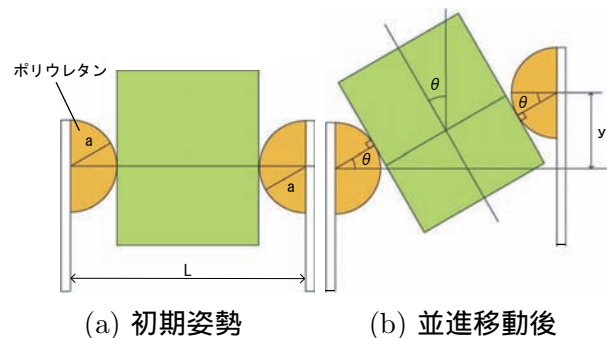


図3 半球柔軟指による物体操作図

3. 動作理論

3.1 半球柔軟指

半球柔軟指の動作概略図を図3に示す。この図のように、初期状態の左右の指の間隔を L とする。そして一方の指を固定し、もう一方を鉛直上向きに動かしたときの移動量を y 、そのときの把持物体の姿勢角を θ 、半球の半径を a とし半球の形状変化を無視すると、 y と θ の幾何学的関係は次のようになる。

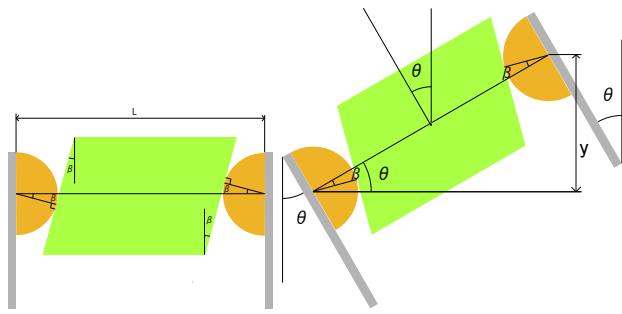
$$y = L \sin \theta - 2a\theta \cos \theta \quad (1)$$

ただし、把持物体が長方形でない台形や平行四辺形では理論式が異なる。例えば平行四辺形の場合を例に考えてみる。まず初期状態を図4(a)に示す。この状態で指と物体が接触している角度を β とし、その角度を保ったまま仮想的に回転できたとすると、図4(b)のようになる。このとき指は把持物体と一体化して動いたとみなせるため、把持物体の傾きを θ とすると、指も θ だけ傾いていることになる。このとき指の移動量 y は $L \sin \theta$ となる。最後に図4(c)のように指は本来回転運動をしないため、もとの垂直に立った位置まで θ 回転させて戻す。このとき把持物体の側面を $a\theta$ だけ転がりもとの位置へ戻ることになる。ただし、斜面の角度は平行四辺形では長方形の場合と異なり、 $\theta - \beta$ 傾くことになるので、もとの位置までもどるときに、 $2\pi a\theta \cos(\theta - \beta)$ だけ左右の指は垂直方向に近づくことになる。よって y と θ の関係は、

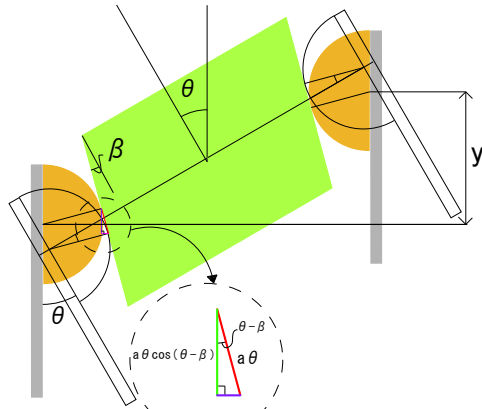
$$y = L \sin \theta - 2a\theta \cos(\theta - \beta) \quad (2)$$

と表される。同様に、図5のような台形を把持、回転させたときの関係は、

$$y = L \sin \theta - 2a\theta \cos(\theta) \cos(\beta) \quad (3)$$



(a) 初期状態 (b) 仮想回転



(c) 最終状態

図4 把持物体形状

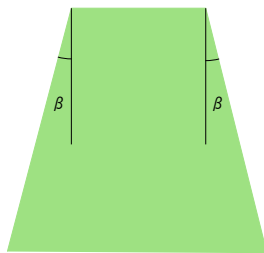


図5 把持物体形状 (台形)

と表される。

3.2 柔軟関節指

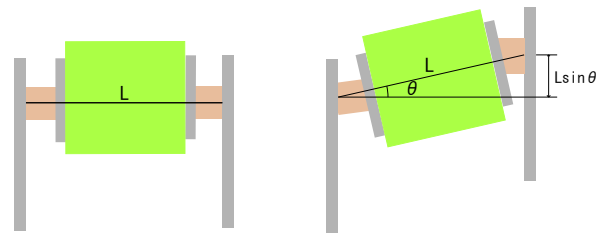
動作方法は半球柔軟指と同様である。柔軟関節指の場合、把持物体は指先を転がるのではなく、図6のように柔軟関節の角度が変わる。また、幅Lは二指の球ジョイントの回転中心間の幅である。このときyとthetaの関係は、

$$y = L \sin \theta \quad (4)$$

と表される。柔軟関節指の場合、この式(4)のみで様々な把持物体形状に対応できる。

4. 実機実験

図7に示す実験装置を用いて式(1),(2),(3),(4)を検証する。指を鉛直上向きに動かすために、



(a) 初期姿勢 (b) 並進移動後

図6 柔軟関節指による物体操作図

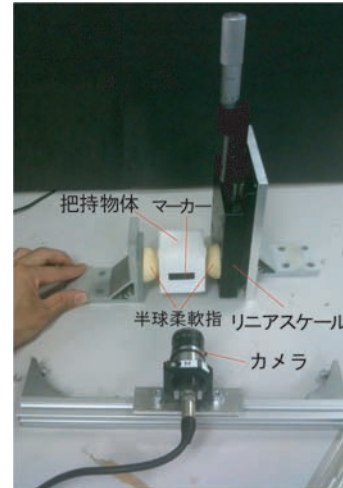
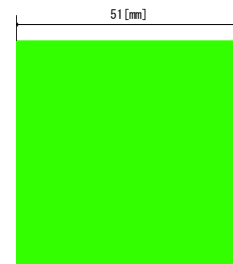
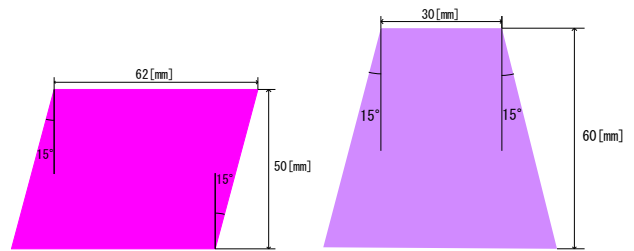


図7 システム



(a) 正方形



(b) 平行四辺形 (c) 台形

図8 把持物体形状

今回は100分の1ミリの精度で移動距離を測れるリニアスケールを用いた。そのスケールに半球柔軟指、または柔軟関節指を貼りつけ、もう一方の垂直台にも指を固定し実験を行った。把持物体の姿

表 1 正方形の姿勢角変化の結果

角度 [deg]	実験値 [mm]	理論値 [mm]	誤差 [mm]
5	4.42	4.49	-0.07
10	9.68	9.00	0.68
15	14.42	13.53	0.89

表 2 平行四辺形の姿勢角変化の結果

角度 [deg]	実験値 [mm]	理論値 [mm]	誤差 [mm]
5	5.37	5.69	-0.32
10	10.52	11.24	-0.72
15	16.30	16.66	-0.95

表 3 台形の姿勢角変化の結果

角度 [deg]	実験値 [mm]	理論値 [mm]	誤差 [mm]
5	5.23	4.95	0.28
10	9.93	9.91	0.02
15	14.48	14.90	-0.42

表 4 正方形の姿勢角変化の結果

角度 [deg]	実験値 [mm]	理論値 [mm]	誤差 [mm]
5	9.04	9.13	-0.09
10	17.84	18.19	-0.35
15	26.60	27.11	-0.51

表 5 平行四辺形の姿勢角変化の結果

角度 [deg]	実験値 [mm]	理論値 [mm]	誤差 [mm]
5	8.72	9.17	-0.45
10	17.67	18.28	-0.61
15	26.78	27.24	-0.46

表 6 台形の姿勢角変化の結果

角度 [deg]	実験値 [mm]	理論値 [mm]	誤差 [mm]
5	8.73	8.75	-0.02
10	17.25	17.44	-0.19

姿勢角には図 7 のようなマーカーを付けておき、カメラで画像を取得し、画像処理によって角度を計測する。5, 10, 15 度になったときの鉛直上向きの移動量をリニアスケールで計測し、理論で出した移動量と比較する。今回の実験では、把持物体は図 8 に示す正方形、平行四辺形、台形を用いる。

4.1 実験結果

4.1.1 半球柔軟指

半球柔軟指を用いた実験結果を表 1, 2, 3 に示す。この実験結果からわかるように、最大で誤差は 0.95mm である。これは、理論値に対して 5.62% であり、ほぼ理論通りになることがわかる。図 7 のように手で押さえつけて把持をしているため、把持力が変わると物体が微小に動いてしまう点、また、柔軟体の変形を考慮に入れていない点から誤差が出たのではないかと考えられる。

4.1.2 柔軟関節指

柔軟関節指を用いた実験結果を表 4, 5, 6 に示す。この実験結果からわかるように、最大で誤差は 0.61mm であり、これは、理論値に対して 3.34% であり、ほぼ理論通りになることがわかる。また同じ角度回転させるのに必要な並進移動量は、半球柔軟指と比べて柔軟関節指の方が大きいことがわかる。最後に、柔軟関節指では様々な形状に対して、1つの理論式で対応できることが証明できた。

5. まとめ

本報告では大きく 2 つのことを述べた。1 つ目は並進関節を用いて把持物体の姿勢角を変えられる点である。また並進移動量と姿勢角の関係を導き、実機による実験によって理論が正しいことを証明した。2 つ目は新しく柔軟関節指を考えたことで

ある。この指の特徴は様々な形状に対して、シンプルな理論式で姿勢角と並進移動量がわかる点であり、その理論が正しいことも証明した。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金（課題番号 2324604）の支援を受けた。ここに心よりお礼申し上げる。

参考文献

- [1] 井上貴浩, 平井慎一: “ロボットハンドによる把持・操り動作を実現する半球型ソフトフィンガの幾何学的・材料学的非線形性を考慮した弾性力モデル”, 日本ロボット学会誌, 25, 2, pp.221-230, 2007.
- [2] 井上貴浩, 平井慎一: “力制御入力が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, 2007.