

拡張二段階法による把持物体の位置姿勢制御

山崎 雄二郎, 平井 慎一 (立命館大学)

Control of grasped object coordinate via extended two-phased scheme

Yujiro YAMAZAKI, Shinichi HIRAI (Ritsumeikan Univ.)

Abstract— This paper proposes a control method to control an object's coordinate with soft-fingered hand that has two 2DOFs-soft-fingers. We introduce a new control method for the soft-fingered hand that is derived from the two-phased object orientation controller. Moreover we show that the control of object's coordinate can be achieved by applying the proposed method.

1. 緒言

柔軟指は剛体指より容易に物体と柔軟指の間に面接触を作ることができ、安定な把持を行える。過去の研究¹⁾のLMEEwCなどからもわかるように、物体把持においてその性質が適していることが考えられる。ゆえに、ロボットの新しい指としての役割が期待できる。

しかしながら、これは静的な範囲でのことであって、柔軟指の特徴を動的な範囲で考えると話は異なってくる。柔軟な指先を持つロボットハンドでは、物体把持を行うときに柔軟部材の変形によって今まで用いられてきた制御則では制御できないことが起こりうる。またその変形によって振動などの問題が発生することが容易にわかる。このような変形や振動などの問題を解決すべく、本論文では2自由度柔軟2指ハンドによる把持物体の位置姿勢操作の制御則を提案する。

2. 2自由度柔軟2指ハンド

本研究では物体の位置および姿勢角を制御することを目標としているため、理論上制御が可能となる2自由度2指柔軟ハンドを用いた。本実験で用いた柔軟ハンドをFig.1に示す。柔軟ハンドが持つ2指は、2自由度の平行リンク機構を有している。アクチュエータとして、DCモータを両指の根元関節の上下に取り付け使用した。本制御方法は、フィードバック情報として各関節角度と物体の位置および姿勢角を必要とする。そのため、エンコーダおよびカメラを用いた。把持物体の操作平面鉛直上方向に設置したCCDカメラを使用して、把持物体に取り付けたマーカの画像重心位置および画像モーメントを算出する。これによって、物体の位置姿勢情報を取得する。

3. 拡張二段階法

拡張二段階法は先に考案された、最小自由度を有する柔軟2指ハンドの制御則である把持対象物姿勢積分制御手法¹⁾を基にしている。以降では、姿勢積分法と略記する。最小自由度柔軟ハンドの左右両指を物体を把持した状態で時計回りに回転させると、物体は反対方向の反時計回りに回る。逆に、左右両指を反時計回りに回転させると物体はその動きの反対側である時計回りに回る。姿勢積分法はこのような幾何関係を基に非常に簡単な形で表されるようになっている。このような関係を2自由度2指柔軟ハンドにおいて考えることで、本稿で示す拡張二段階法を作り出すことが可能である。

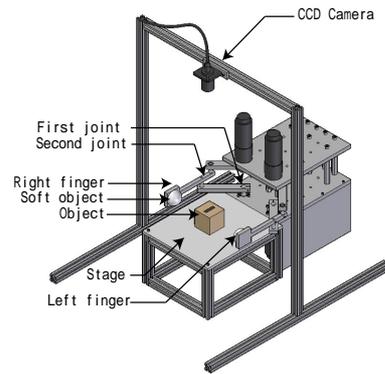


Fig.1 Soft-fingered hand

まず、拡張二段階法に用いられる積分項の説明のため、姿勢積分法を例に説明する。姿勢積分法は制御対象物体の姿勢角偏差の積分値を各リンクの目標関節角決定に用いる。姿勢角の積分地を関節目標角生成に用いることで、実際の関節角が生成された目標関節角から定常偏差をのこしたままでも、操作対象物体を目標姿勢角へ収束をさせることができる。このように、姿勢を制御することができる。ただし、この制御則では把持を維持するための入力トルクを用いる必要がある。なぜならば、積分項によって得られる制御入力には物体の位置姿勢を制御するためのものであり、把持力を維持する制御入力までは計算されないからである。

次に、姿勢積分法を2自由度2指柔軟ハンドの制御手法に発展させるため、その操作における幾何関係について考える。柔軟ハンドと把持物体の幾何関係をFig.2に示す。初期把持状態をFig.2-(e)にあるように与えると、操作対象物体の操作方向と柔軟ハンドの各指の動きにはFig.2の矢印のような関係が成り立つ。例として、Fig.2-(d)の関係について説明する。左指の第1関節、第2関節ともに反時計回りさせ、右指の第1関節、第2関節も反時計回りさせることで、物体を $-x$ 方向に移動させることができる。同様の考えで、Fig.2に示すその他の動きを実現できる。この関係を基に(1)、(2)、(3)式からなる制御則を提案する。

$$\begin{aligned} u_{INi1} = & -K_{Px1}(\theta_{i1} - \theta_{i1(0)} - (-1)^i K_{Lx1} x^d) - K_{Dx1} \dot{\theta}_{i1} \\ & - K_{Py1}(\theta_{i1} - \theta_{i1(0)} - (-1)^i K_{Ly1} y^d) - K_{Dy1} \dot{\theta}_{i1} \\ & + f_{const} \end{aligned} \quad (1)$$

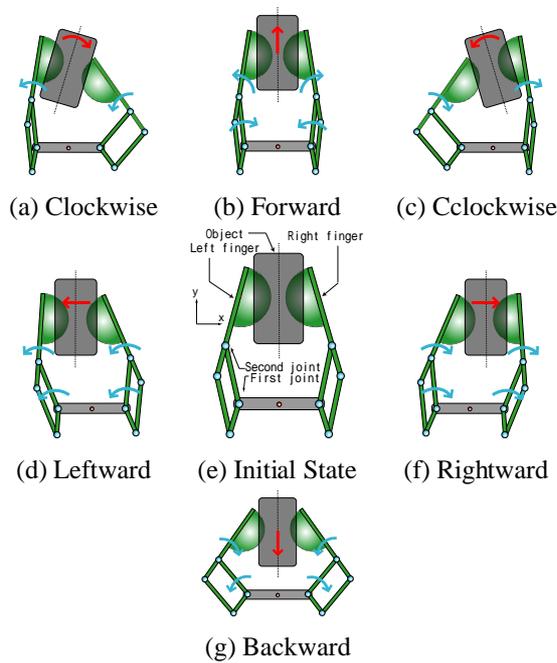


Fig.2 Geometric relationship

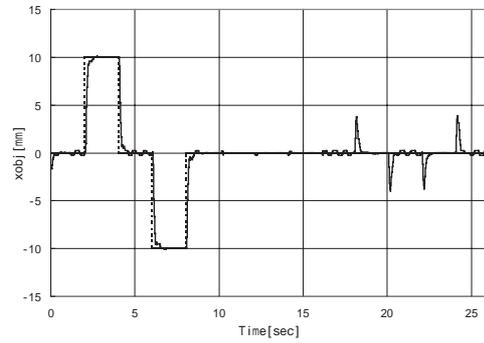
$$\begin{aligned}
 u_{INi2} = & -K_{Px2}(\theta_{i2} - \theta_{i2(0)}) - (-1)^i K_{Ix2} x^d - K_{Dx2} \dot{\theta}_{i2} \\
 & -K_{Py2}(\theta_{i2} - \theta_{i2(0)}) - (-1)^i K_{Iy2} y^d - K_{Dy2} \dot{\theta}_{i2} \\
 & -K_{P\theta}(\theta_{i2} - \theta_{i2(0)}) - (-1)^i K_{I\theta} \theta^d - K_{D\theta} \dot{\theta}_{i2} \\
 & + f_{const}
 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{cases}
 x^d = \int x_{obj} - x_{obj}^d d\tau \\
 y^d = \int y_{obj} - y_{obj}^d d\tau \\
 \theta^d = \int \theta_{obj} - \theta_{obj}^d d\tau
 \end{cases} \quad (3)$$

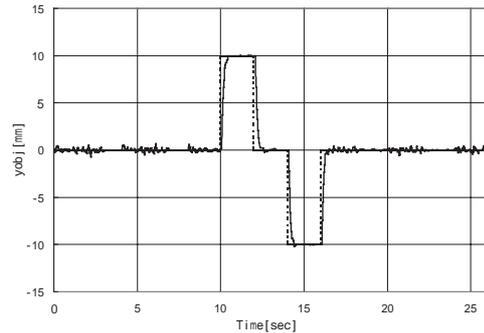
姿勢積分法で把持物体の姿勢角の積分値を用いたように、物体の姿勢角の積分値が用いられている。特に、新制御手法では物体の位置も制御対象となっているため、(1)、(2) 式中には物体の位置姿勢の偏差積分を行った(3)式を用いている。(1)、(2) 式中の i は左右の指を表す。右指では $i=1$ 、左指では $i=2$ である。制御入力式である(1)、(2) 式中の最後の項は把持力を維持するための入力トルク f_{const} である。(1)、(2) 式では初期の各関節角の初期値 $\theta_{ij(0)}$ を入れてバイアスをかけている。これは、制御開始時に指関節がある程度の角度を持っていた場合、いきなり制御入力が大きくなることを避けるために用いられている。これらの項によって、本制御則は構成されている。

4. 実験結果

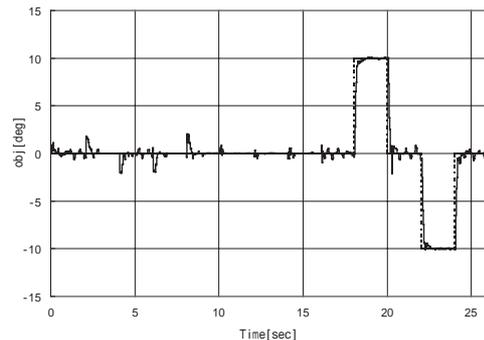
Fig.3 は Fig.1 にある実験システムを用いて行った実験結果である。Fig.3(a), (b), (c) は同一の実験データでそれぞれの方向成分を表している。なお、初期把持状態をこの原点としている。Fig.3-(a), (b) は把持物体の位置を Fig.3-(c) は姿勢角を表している。それぞれの図中で破線は目標位置あるいは姿勢角を表し、実線は CCD カメラで計測した物体の位置および姿勢である。Fig.3 の結果からわかるように、いずれの制御対象成分も目標値へ 0.4[sec] 以内に目標値の 5% 以内に偏差も無



(a) Object's x coordinate



(b) Object's y coordinate



(c) Object's angle

Fig.3 Experimental result.

く収束している。また、制御途中で制御対象方向以外への影響がスパイクのような形で現れているが、最終的にはその影響も消え、目標値に収束している。このように、この制御手法によって把持物体の位置姿勢を独立に制御することができるということがわかった。

5. 結言

本報告では過去の論文で発表した二段解法による物体の位置制御方法を拡張して、2自由度2指を持つ柔軟ハンドでの物体位置姿勢制御方法を提案した。また、実験結果から本制御則が柔軟ハンドによる物体把持操作において有効なものであることがわかった。

参考文献

- 井上貴浩, 平井慎一: 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, 2007.