

# 指先プラットフォームを用いた多指ハンドの位置・姿勢制御

金沢大学 ○石崎篤、疋津正利、関啓明、神谷好承

## Manipulation of Multi-fingered Hand based on Fingertip Platform

Kanazawa University Atsushi ISHISAKI, Masatoshi HIKIZU, Hiroaki SEKI, Yoshitsugu KAMIYA

This paper discusses manipulation of an object grasped by a three-fingered robotic hand whose fingers have three DOFs respectively. When the hand is grasping an object, and gives a certain position and a posture to it, a triangle plain formed by connecting the three fingertips also takes the same position and the posture. In this study we define the plain “platform”. On this paper, we first propose a method to derive finger movements for object manipulation, from finger movements that cause changes in positions and postures of the platform. Then we verify the effectiveness of the method thorough actual manipulation with equipments.

### 1. 緒言

多指ハンドによる物体の操作は、パラレルメカニズムの一形態と捉えることができる。しかし、パラレルメカニズムのようにリンク(指)と物体とが連結されておらず、指先の物体表面上で転がりや滑りが発生し得る。このため、操作後の物体の位置姿勢と目標とする位置姿勢にはずれが生じる可能性があり、多指ハンドには、この様なずれに対応して物体を目標の位置姿勢へ移動・回転させる機能が求められる。

本研究では、3自由度3指ハンドによる物体の3次元空間内での操作を対象に、センサを用いて物体の位置姿勢を取得することで、操作後の物体の位置姿勢と目標値のずれに対応する機能をもたせ、物体を目標の位置姿勢へ到達させることを目標とする。本報では物体操作のための指動作の計画法の提案、またその指動作に基づく物体操作の実験について報告する。

### 2. 指動作計画法

#### 2.1 構想

図1に本研究で対象とするハンドの概略図を示す。図1中央の様にハンドが物体を確実に把持しており、傾ける状況を考える。ハンドの各指先を結んで形成される三角形平面に注目すると、この平面にも物体と同様の姿勢変化が起こっているのがわかる(図1右)。このことから、把持物体の運動に対応する三角形平面の姿勢変化として捉えることができる。

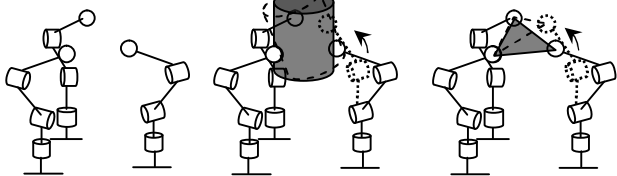


図1 3指3自由度ハンド

本研究で提案する指動作計画法はこれに基づき、把持物体にある動きを与える指動作を、対応する三角形平面の姿勢変化を与える指動作として算出するものである。本研究では三角形平面をパラレルメカニズムに似てプラットフォームと定義する。この手法は、指動作算出において把持物体に関しては位置と姿勢の情報のみを用いる。物体の形状情報は必要とせず、そのため比較的簡便な計算で指動作を求めることが出来ると考えられる。これはパラレルメカニズムに似ているが、物体操作の過程でプラットフォーム形状が変化する点でこれと異なっている。形状変化の原因は、指先の転がりや滑りによって指先と物体との接触点位置が変化するためである。センサによって物体の位置姿勢の誤差を評価し、指動作を随時修正できれば、指先の転がりや滑りが発生しても物体を目標の位置姿勢へと操作できると考えられる。

#### 2.2 指動作の算出

図2にハンドの構成を示す。各指は円形のベースに120°間隔で円周上に配置し、ベース座標系原点を、z軸を垂直方向に合わせてベースの中心に置く。各指の座標系原点を、z軸を垂直方向に、x軸をベース中心方向に合わせ、指とベースの結合点に置く。プラットフォーム座標系をプラットフォーム重心位置にz軸をベース座標系と一致させ、y軸を第1指の指先方向に一致させて配置する。プラットフォームの位置と姿勢を表すパラメータには、重心位置  $x, y, z$  とロール・ピッチ・ヨー角の姿勢表現  $\phi, \theta, \psi$  を用いる。この構成のハンドではこれら6つのパラメータが制御可能である。

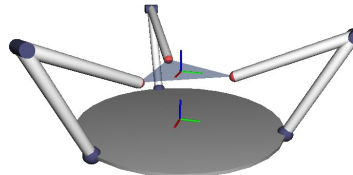


図2 ハンドの構成

ベース座標系において、第  $i$  指の指先位置ベクトル  ${}^B \mathbf{p}_i (i=1,2,3)$  はプラットフォームの位置姿勢のパラメータで表される。

$${}^B \mathbf{p}_i = \mathbf{F}_i(\mathbf{q}) \in R^3 \quad (1)$$

$$(\mathbf{q} = [\phi_p, \theta_p, \psi_p, x_p, y_p, z_p]^T \in R^6)$$

よってプラットフォームの微小な位置姿勢の変化に対する、指先ベクトルの微小変化  $\Delta {}^B \mathbf{p}_i$  は次式で求められる。

$$\Delta {}^B \mathbf{p}_i = \mathbf{J}_i \Delta \mathbf{q} \in R^6 \quad \mathbf{J}_i = \frac{\partial {}^B \mathbf{p}_i}{\partial \mathbf{q}^T} \in R^{3 \times 6} \quad (2)$$

式(2)で得た指先位置ベクトルの微小変化をベース、指座標系間の回転行列  ${}^{Fi} \mathbf{R}_B$  を用いて、指座標系に関するものに変換する。

$$\Delta {}^{Fi} \mathbf{p} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = {}^{Fi} \mathbf{R}_B \Delta {}^B \mathbf{p}_i \quad (3)$$

$\Delta {}^{Fi} \mathbf{p}$  と指のヤコビ行列  $\mathbf{J}_{F_i}$ 、各関節角変化量  $\Delta {}^{Fi} \Theta$  の間には次の式が成り立つことから、これより各関節角変化量を求め微小動作前の各関節角に加算することで、微小動作後の各指の姿勢を得る。

$$\Delta {}^{Fi} \Theta = \begin{bmatrix} \Delta \theta_0 \\ \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \end{bmatrix} = \mathbf{J}_{F_i}^{-1} \Delta {}^{Fi} \mathbf{p} \quad (4)$$

### 2.3 接触力の制御

本研究では、センサによって接触力を取得し、予め定めた許容範囲内であるかを評価する。接触力の制御は物体に対して指先を、プラットホーム重心方向へ押し付けるまたは引き離すという動作で行う。

ベース座標系において、プラットホーム重心から各指先までのベクトルを ${}^B \mathbf{a}_i$ とし、指の押し付け量(押し付け方向正)を $p_i$ とすると、接触力制御における指先位置ベクトルの微小変化は次式で表される。

$$\Delta {}^B \mathbf{p}_i = \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \end{bmatrix} = -p_i \frac{{}^B \mathbf{a}_i}{|{}^B \mathbf{a}_i|} \quad (5)$$

### 3. 物体操作の流れ

物体操作のフロー図を図4に示す。

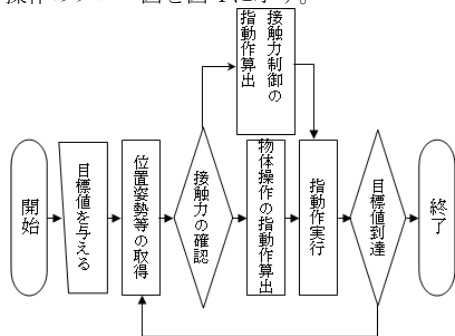


図4 物体操作フロー

まず、ハンドにより制御する把持物体の位置姿勢に目標値を与える。次にセンサより物体の姿勢および各指の接触力の値を取得する。各指先の位置情報は取得できるとし、これからプラットホームの位置姿勢を得る。各指の接触力が予め設定した許容範囲内であるとき、2.2で記した、物体操作の指動作の計算に移る。接触力が許容範囲外である場合は、2.3で記した接触力制御のための指動作を算出する。物体操作、または接触力制御のための指動作を算出後、指動作の実行に移る。以上の流れを、把持物体が目標とする位置姿勢に到達するまで繰り返す。

### 4. 物体操作実験

#### 4.1 実験装置

図6の様にロボットアーム3台を指と見立てハンドを構成し、物体操作の実験を行った。ロボットアームの先端には6軸力覚センサをとりつけ、さらにアルミ製の半球部品で指先を構成する。また、把持対象の物体に3軸加速度センサをとりつけ、物体のピッチ角およびヨー角を取得できるようにした。なお、本報の時点では物体のロール角及び位置を取得できる環境ではないので、これらの値はプラットホームのものを評価対象としている。



図6 実験装置

#### 4.2 実験結果

以下に実験結果の一つを示す。直径220mm、重量140gの球状物体(柔軟なボール)を初期位置 $(\phi, \theta, \psi, x, y, z) = (0, 0, 0, 0.5, -57, 700)$ から $(\phi, \theta, \psi, x, y, z) = (-15, 40, 25, 20, 0, 680)$ へと操作したのち、再度初期

位置へと操作した。(単位[deg],[mm])



図7 物体操作の様子

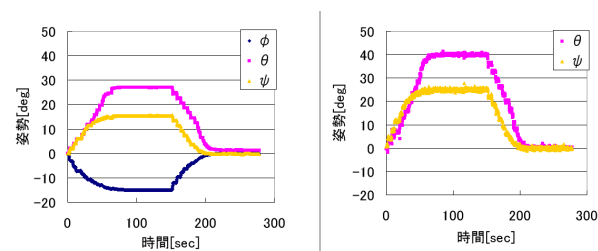


図8 プラットホーム(左)および物体(右)の姿勢の変化

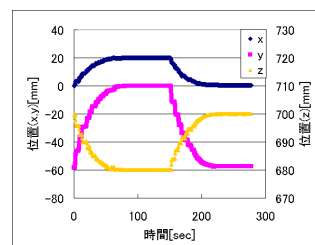


図9 プラットホームの位置の変化

図7はハンドがボールを操作している様子である。図8は操作に伴う物体とプラットホームの姿勢の変化を、図9にプラットホームの位置変化を示した。これらから、ハンドが物体を目標とする位置姿勢へと操作したことがわかる。

#### 4.3 考察

上記の実験結果に加え、他の物体に対しても目標とする位置姿勢へと操作することができた。このことから、本研究で提案した指動作計画法によって、3次元空間内での物体の位置姿勢の制御が可能といえる。

図8において、プラットホームの姿勢変化が物体のそれより小さくなっている。このずれの要因として、指先の転がりも物体の姿勢に変化を与えている可能性が考えられる。これに対し、加速度センサより物体の姿勢を随時取得し、指動作を計画することで、このずれに対応できると言える。

一方、アルミ製の指先に対して滑りやすい物体を対象とすると、操作中に指先が滑り続け、物体を取り落としてしまうケースが見られた。これに対しては、指先部品を、高い摩擦力を発揮できる材質に変更するなどの改善策が考えられる。

本報の実験装置では、物体のロール角および位置を計測することが出来なかったが、なんらかの手段でこれらを計測することができれば、ピッチ角・ヨー角と同様に制御できると考えられる。

### 5. 結言

本研究では、3自由度3指ハンドによる、3次元空間内での把持物体の位置及び姿勢の制御を行った。まず、指先3点を結んで形成されるプラットホームに着目し、物体に位置姿勢の変化を与える指動作を、簡便に算出する方法を提案した。次に、提案した手法を検討するため、シミュレーションを行った。その結果、プラットホームを目標とする位置・姿勢へと操作できることが確認できた。その後、ロボットアームとセンサを用いて実際に物体を把持し、位置・姿勢の制御を行った。結果、本研究で提案した指動作計画法によって、物体の位置及び姿勢の制御が可能であるという結論を得た。

#### 参考文献

- 1) 吉川恒夫(1988)『ロボット制御基礎論』コロナ社 pp.11-68