

# 多指ハンドを有する双腕ロボットを用いた 持ち替えによる物体の簡易姿勢制御

九州大学 ○ 河村 晃宏 田原 健二 倉爪 亮 長谷川 勉

## Simple posture control of object by regrasping using dual-arm manipulator with multi robotic fingers

Kyushu University ○ Akihiro KAWAMURA, Kenji TAHARA  
Ryo KURAZUME and Tsutomu HASEGAWA

Abstract: This paper proposes a simple posture control method of an object for dual-arm manipulators with multiple robotic fingers. The relation between the posture of an object and initial contact positions becomes quasi-linear. The proposed technique enables to perform simple posture control of the object by regrasping without any external sensors.

Key Words: Dual-arm manipulator, Macro micro manipulator, Posture control

### 1 はじめに

本稿では、逆運動学や逆動力学などの複雑な計算を一切必要としない、多指ハンドを有する双腕ロボット特有の対象物体の簡易姿勢制御の方法を提案する。人間は2本の腕を同時に用いて物体を操ることで、片腕のみよりも多様なタスクを、より効率的に行うことができる。しかし、多指ハンドを有する双腕ロボットは冗長劣駆動システムであり、これまでに運動学の定式化を伴う協調動作計画手法は提案されている[1]が、動特性を考慮したトルク軌道の解析的な導出による動作計画は困難であった。これに対し本稿では、指先と対象物体との接触位置を指定し、簡単な対向指制御を行うことにより、大まかに物体の姿勢を制御可能な新たな手法を提案する。またその有効性を数値シミュレーションによって検証する。

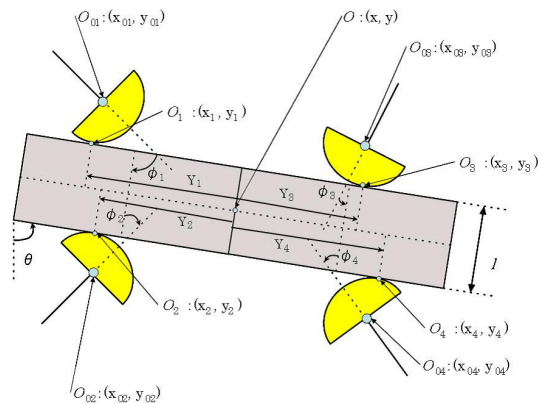


Fig.2 Fingertips and an object

### 2 多関節多指ハンドを有する双腕ロボットモデルとダイナミクス

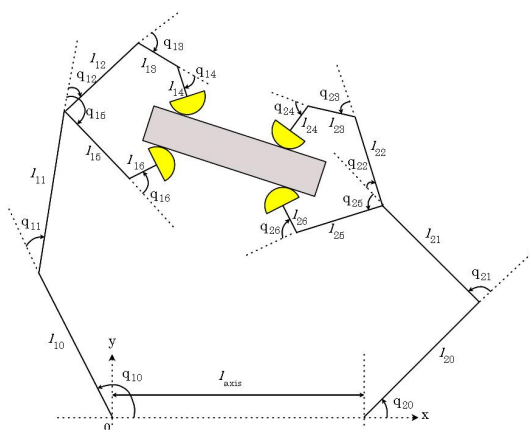


Fig.1 A whole model

Fig.1, Fig.2 に双腕ロボットと対象物体のモデルを示す。本システムは、それぞれの腕が 2D.O.F. と 3D.O.F. の 2本の指をもち、腕部分が 2D.O.F. で合計 7D.O.F. であり、双

腕で 14D.O.F. である。ロボットの指先は半球、対象物体は矩形で剛体とする。両者の間は滑りの起こらない回転接触によって拘束されている。また、全ての運動は水平 2次元平面で行われるものとし、重力は考慮しない。

それぞれの指先について  $R$  を回転接触の拘束条件、 $Q$  を座標間の拘束条件とすると、ロボットの運動方程式は以下の式で示される。

$$M_i(q)\ddot{q}_i + h_i(q, \dot{q}) + g_i(q) + \lambda_j \frac{\partial R_j}{\partial q} + f_j \frac{\partial Q_j}{\partial q} = u_i$$

$$(i = 1, 2), (j = 2i - 1, 2i) \quad (1)$$

ここで  $q_i = (q_{i0} \ q_{i1} \ q_{i2} \ q_{i3} \ q_{i4} \ q_{i5} \ q_{i6})^T$  であり、 $M$  は慣性行列、 $h$  はコリオリ力、遠心力を含む非線形項、 $g$  は重力項、 $\lambda$ 、 $f$  はラグランジュ乗数、 $u_i$  は関節トルクである。

また、オブジェクトの運動方程式は

$$\begin{cases} m\ddot{x} + \sum_{i=1}^4 (\lambda_i \frac{\partial R_i}{\partial x} + f_i \frac{\partial Q_i}{\partial x}) = 0 \\ m\ddot{y} + \sum_{i=1}^4 (\lambda_i \frac{\partial R_i}{\partial y} + f_i \frac{\partial Q_i}{\partial y}) = 0 \\ I\ddot{\theta} + \sum_{i=1}^4 (\lambda_i \frac{\partial R_i}{\partial \theta} + f_i \frac{\partial Q_i}{\partial \theta}) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

ただし、 $m$  は対象物体の質量、 $I$  は対象物体の慣性テンソルである。

### 3 制御則

提案する姿勢制御は以下の簡単な制御則によって実現される。

$$\mathbf{u}_i = -\mathbf{C}\dot{\mathbf{q}} + \frac{f_d}{r_j + r_h} \mathbf{J}_{0j}^\top (\mathbf{x}_{0h} - \mathbf{x}_{0j}) \quad (3)$$

$(i = 1, 2)$

ただし、 $j = 2i - 1$   $h = 2i$  または  $j = 2i$   $h = 2i - 1$  とする。 $r$  は指先半径、 $\mathbf{J}_{0i}$  は  $\mathbf{x}_{0i}$  のヤコビアンであり、 $\mathbf{C}$  は粘性行列である。本シミュレーションでは、両腕のダンピング係数は等しくなるよう設定されている。また、(3) 式右辺第 2 項が対向指制御となっており、 $f_d$  はフィードフォワードによる目標把持力である。

### 4 シミュレーション

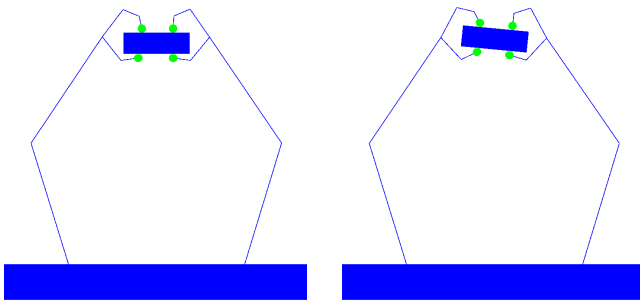


Fig.3 Initial position

Fig.4 Final position

Table 1 Robot parameters

	length	mass
link10,20	0.30 [m]	0.50 [kg]
link11,21	0.30 [m]	0.50 [kg]
link12,22	0.08 [m]	0.10 [kg]
link13,23	0.04 [m]	0.05 [kg]
link14,24	0.03 [m]	0.04 [kg]
link15,25	0.07 [m]	0.08 [kg]
link16,26	0.04 [m]	0.05 [kg]
fingertip radius( $r_1, r_2, r_3, r_4$ )	0.01 [m]	

Fig.3, Fig.4 のような片腕 7D.O.F.、双腕で 14D.O.F. のシミュレーションを行った。Fig.3 に示すように、左腕の指先の接触位置がずれた状態 ( $|Y1 - Y2| > 0, |Y3 - Y4| = 0$ ) から、Fig.4 のような ( $|Y1 - Y2| = 0, |Y3 - Y4| = 0$ ) の状態へと変位する。このとき同時に対象物体の姿勢が変化

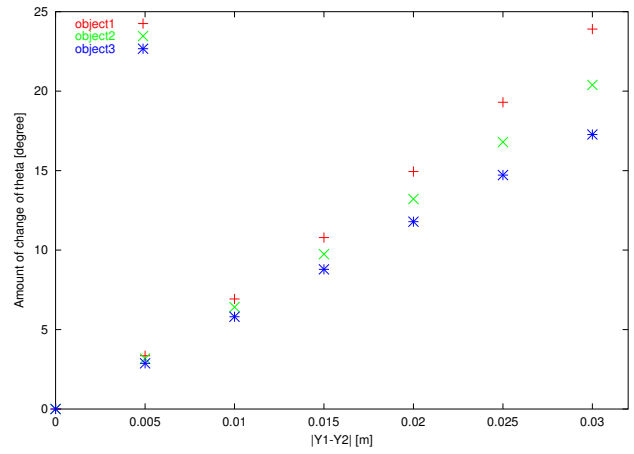


Fig.5 Contact position and posture of the object

Table 2 Object parameters

object1	0.15 × 0.05 [m]	0.20 [kg]	$f_d = 50$ [N]
object2	0.25 × 0.03 [m]	0.25 [kg]	$f_d = 10$ [N]
object3	0.25 × 0.05 [m]	0.30 [kg]	$f_d = 10$ [N]

する。この接触位置のずれ幅と姿勢の変化を示したものを Fig.5 に示す。Fig.5 では、Table.2 に示すように大きさ、質量の異なる三つの物体についての結果を示しており、横軸の値は、指先の初期接触位置の  $x$  座標のずれ、縦軸の値は、初期姿勢から十分時間が経過するまでの物体の姿勢の変位量を示したものである。この結果からわかるように物体のパラメータに関係なく、指先と対象物体との初期接触位置と最終的に収束する物体姿勢が概ね線形な関係となっていることがわかる。

また、物体の初期位置  $(x, y)$  を変化させた場合についても検証したが、腕が特異姿勢に近い位置においても、 $\pm 15^\circ$  以内であれば線形性が成立する。線形性が崩れる範囲での腕の姿勢は、一般的に人が物体を把持する姿勢としては不自然なものであり、本手法の有効性に対する影響はないものと判断する。

よって、初期把持時において線形関係を明らかにしておくことで、その後の持ち替えにより物体の姿勢制御が可能となる。

### 5 おわりに

本論文では、多指ハンドを有する双腕ロボットによる物体把持において、指先・対象物体間の初期接触位置と、最終的に収束する物体の姿勢が線形な関係として表れることを数値シミュレーションによって示した。これにより、視覚や触覚などによる実時間センシングを用いることなく、大まかな姿勢制御が可能となる。今後は、この線形性についての理論的な解析を行い、さらに持ち替え動作の導入、および実機を用いた提案手法の有効性を検証する予定である。

### 文献

- [1] 長谷川勉, 倉爪亮, 村上剛司, 福田雅広: "多関節多指ハンドとロボットアームの協調動作計画手法", 第 6 回システムインテグレーション部門学術講演会 (SI2005), pp.283-284, 2005
- [2] Ji-Hun Bae, Suguru Arimoto, Ryuta Ozawa, Masahiro Sekimoto, and Morio Yoshida: "A Unified Control Scheme for a Whole Robotic Arm-Fingers System in Grasping and Manipulation", Proceedings of the 2006 IEEE ICRA, pp.2131-2136, 2007