

# 画像処理と触覚センサを用いた トルク制御型ロボットアームによる物体操作

## Object Manipulation with Torque Control of Robot Arm Exploiting Image Processing and Tactile Sensor

高見 誠† 安部 憲広† 田中 和明†  
Makoto Takami Norihiro Abe Kazuaki Tanaka

### 1. 緒言

現在、動的環境化で自律移動が可能なロボットは少なく、限定された環境下で動くロボットがほとんどである。環境が変化しても、人間の手を介さずに臨機応変に対応するロボットが開発されれば、人間の負担を軽減することができる。様々な環境に対応させるためには、ロボットに環境を認識させる必要がある。

本研究は、ロボットアームの周囲の環境認識と物体の把持・移動を目標としている。現在、障害物が何もない限定された環境下において、物体の形状を利用して物体認識を行っている。把持対象物体を認識したら、ロボットアームの指先に取り付けた触覚センサを使い適切に把持できているか判断する。

環境の変化に柔軟に対応できるようにトルク制御を主な制御方法として、画像処理や触覚センサも利用したハイブリッド制御を構築する。

### 2. アルゴリズム

#### 2.1 関節角度の算出

目標位置までロボットアームを駆動させるために、各関節の角度を求めなければならない。これは逆運動学の計算を行うことによって求めることができる。

逆運動学の計算は、解析的に解く方法と三角関数を用いて数値的に解く方法がある。使用しているロボットアームはリンク数が少なく単純な機構であるので、高速に解を求めることができる数値的に解く方法を選択した。また、アームが一直線になるような特異状態になるときは、三角関数を用いると解が定まらないために、事前に解を与えている。

図1にロボットアームを垂直方向、鉛直方向から見た図を示す。 $\theta_0 \cdot \theta_1 \cdot \theta_2$ はそれぞれ胴・肩・肘の角度である。

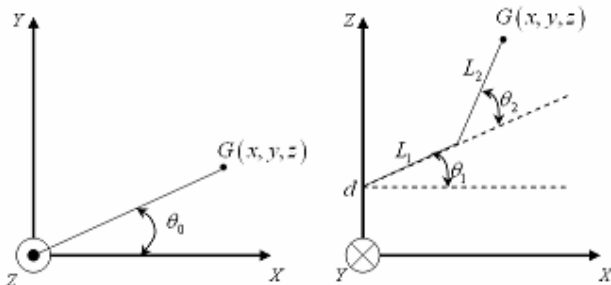


図1：逆運動学の数値的解法

図1より各関節の角度は次のようになる。

$$\theta_0 = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{z-d}{x} - \cos^{-1} \frac{L_1^2 + L^2 - L_2^2}{2 \cdot L_1 \cdot L_2}$$

$$\theta_2 = \pi - \cos^{-1} \frac{L_1^2 + L_2^2 - L^2}{2 \cdot L_1 \cdot L_2}$$

ただし、 $L = \sqrt{x^2 + y^2 + (z-d)^2}$  である。

#### 2.2 物体の認識

物体を把持するときに、いろいろな物体がある中で何を把持すれば良いのかをロボットアームに認識させなければならない。ロボットアームの手先に搭載したカメラから得られた画像を画像処理することによって把持対象物体の認識を行う。

色情報や形情報を用いて物体の認識を行うが、形情報を用いて物体の認識を行った。色情報を利用した物体の認識では、光の当たり方によって色の見え方が変わってしまったり、同じ環境化に似た色があると誤認識をしてしまったりするので、物体形状を利用して物体認識を行った。

物体認識を行うときのフローチャートを図2に示す。

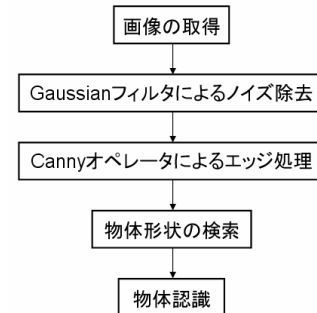


図2：物体認識のフローチャート

エッジ抽出オペレータは様々なものがあるが、比較的弱いエッジでも正確に抽出できる Canny オペレータを使用した。エッジ処理した画像から、把持対象物体の形状（円や直線など）を検索して、物体を認識させる。

#### 2.3 触覚センサ

物体を適切に把持できたかどうかを判断するために、ロボットアームの指先に触覚センサを取り付けている。従来からある触覚センサとしてひずみゲージ式触覚センサがある。しかし、ひずみゲージが塑性変形してしまうと使用できなくなるといった欠点があり、コストもかかってしまう。

そこで、長寿命・低コスト・小型化を実現するため、光学式マウスに使われている位置センサを用いて触覚センサを作成した。[3]

触覚の取得は、位置センサ下部の設置面の遠近による濃淡情報の変化を取得し、触覚への変換を行っている(図3)。

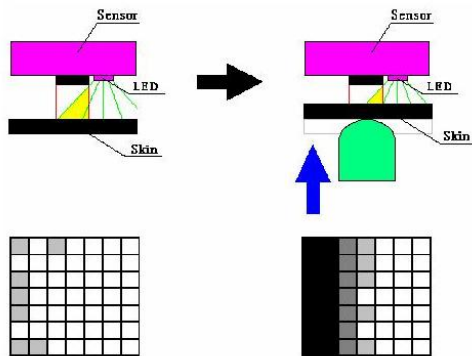


図3：触覚センサの接触判断

### 3. 実験・評価

#### 3.1 駆動プログラムの検証

##### 3.1.1 実験目的・方法

指定した目標位置と実際の到達位置の比較を行い、構築したトルク制御プログラムの検証をする。

障害物のない環境で、目標座標を与え逆運動学の計算を行ってロボットアームを駆動させる。

##### 3.1.2 実験結果

指定した目標位置と実際の到達位置の差を図4に示す。X, Y, Z軸の各方向の誤差の最大値は、X軸方向に2.01mm, Y軸方向に-1.28mm, Z軸方向に-1.88mmであった。

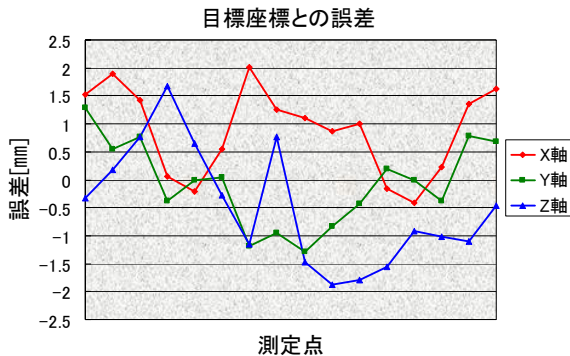


図4：実験結果

##### 3.1.3 評価

駆動時に多少の誤差が生じた。しかし、誤差は最大でも2.01mmとロボットアームの大きさ(約330mm)の0.61%程度であった。目標位置に近づいたらロボットアームの手先に搭載されたカメラによる制御も行うので、2mm程度であると物体が映る範囲にあまり差はないのでこの程度の誤差は問題ないと言える。

### 3.2 物体の認識

#### 3.2.1 実験目的・方法

物体を把持するときに、把持対象物体が何であるかを適切に認識できているかの検証をする。

対象物は何も模様のない紙コップとして、物体の認識を行った。

#### 3.2.2 実験結果

図5(a)に抽出したエッジ画像を、図5(b)に検出したコップを示す。

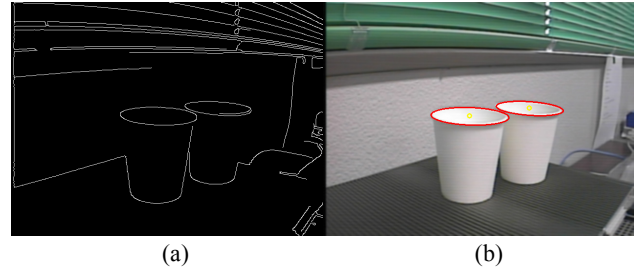


図5：認識結果

コップのふちは真上からみると真円に見えるが、通常斜め上から見る事が多くコップのふちは楕円に見える。そのため、楕円の検出を行い、コップの認識とした。

#### 3.2.3 評価

コップが複数あっても、両方とも認識することができた。しかし、現在ものが少ない環境で画像の取得を行っているため、ものが増えるにつれて誤認識も増えていくかもしれない。また、カメラとコップの位置が離れている場合は、誤認識が生じることもあった。

### 4. まとめ

本研究では、ロボットの駆動における重要な要素であるトルク制御と、物体形状を利用した物体の認識、光学式マウスの位置センサを用いた触覚センサの作製を実現した。しかし、把持対象物体の認識はできたが、対象物体までの距離やその座標を算出することができず、実際に物体を把持するまでには至らなかった。

今後は、把持対象物体までの距離や座標を算出し、物体を把持して人間に手渡すなどの動作をさせることを目標とする。

### 謝辞

本研究は、総務省、及び科学研究費補助金の助成を受けて行われました。

### 参考文献

- [1] 川崎晴久：“ロボット工学の基礎” 森北出版株式会社 1991
- [2] Norihiro Abe, Kazuaki Tanaka, Takao Horie, Hirokazu Taki: "Tele-manipulation of real manipulator using virtual hand and haptic feedback device", Tele-manipulation and Tele-presence Technologies V in Mobile Robots and Autonomous Systems, pp.151-158, 1998
- [3] Yoshihiro Tabuchi, Norihiro Abe, Kazuaki Tanaka, Hiroaki Taki, "Development of touch sensor with optical positional sensor", IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (IEEE RAM04), pp.202-207, 2004
- [4] 梶田秀司, 横井一仁, 比留川博久, 原田研介：“ヒューマノイドロボット” 株式会社オーム社 2005