

パソコン画像処理装置のロボット用視覚センサへの応用 (ロボット動作の利用)

松井 稜治*・落合 積*・山根 彌生*
石松 隆和**

An Application of Personal Image-processing System
to a Visual Sensor for a Robot Arm using the Movement.

R. MATSUI, T. OCHIAI, Y. YAMANE
T. ISHIMATSU

Abstract

Using a image-processing system connected to personal computer, we show a sequence processing the pictures from a television-camera attached to a robot hand. The basic image processing are done by the image processing system and later processes (line detect and calculation for the position and size of a cylinder) are done on a personal computer using some softwares programmed by ourselves. For that purpose, we introduce a simple relation of an edge of the cylinder to a camera. By moving the robot arm, we expected to get similar effects to the case of 2 cameras with a single camera. We show the results of some experiments in this report.

てみた。その実験結果について報告する。

1. まえがき

最近、パソコン用の画像処理装置やシステムが広い分野で手軽に利用されるようになった。そのような市販の画像処理装置を利用して、どの程度の精度で対象物の位置や大きさを検出できるかについて調べることは実用上重要であると考えわれわれは対象物の位置や大きさを検出のための手法の開発および実験を試みてきた。

ここではパソコン用画像処理装置 (PIAS LA-500白黒 512×480ドット) を使用し、さらにロボットアームの回転による 1 台のテレビカメラの異なる 2 位置における画像データに両眼立体視と同様の方法を適用したとき、対象物の位置や寸法がどの程度の精度で得られるかを調べ

2. システム構成および画像処理手順

1 台の CCD テレビカメラ (エルモ EM-102BW, 固定焦点レンズ 7.5mm f) をマイクロロボットアーム (三菱電機ムーブマスタ II) のハンド部に取り付け、ロボットアームとともに回転できる構造としておく。システム構成を図 1 に示す。カメラ取付図を図 2 に示す。なお、カメラはハンド部に取り付けられるため、対象物に接近することになるので大きい画像が得られ、したがって寸法などについては高精度の結果が得られるものと期待される。

ここでは、直立する円柱の位置あるいは大きさを求めるにあたって垂直方向のエッジを利用する。エッジ検出は以下の手順で行う³⁾。

- ①画像サンプリング (2 画像, アーム回転)
- ②両画像について垂直方向のエッジのみを検出

*宇部工業高等専門学校制御情報工学科

**長崎大学工学部

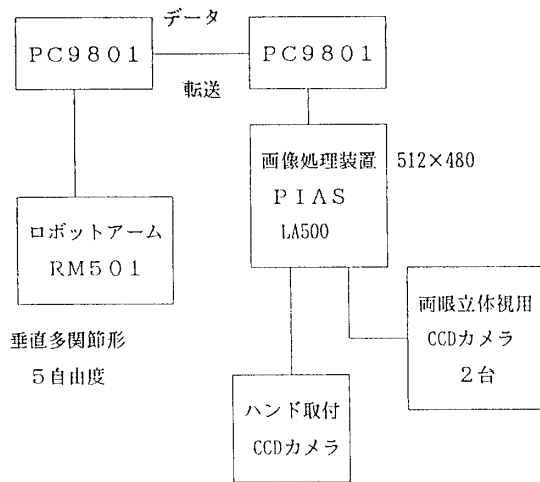


図1 システム構成図

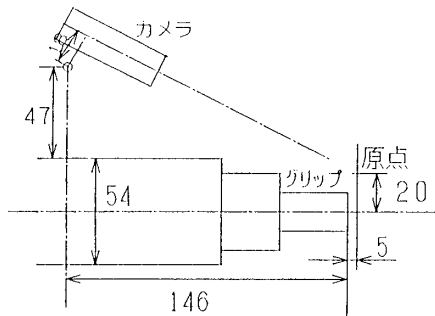


図2 カメラ取付位置

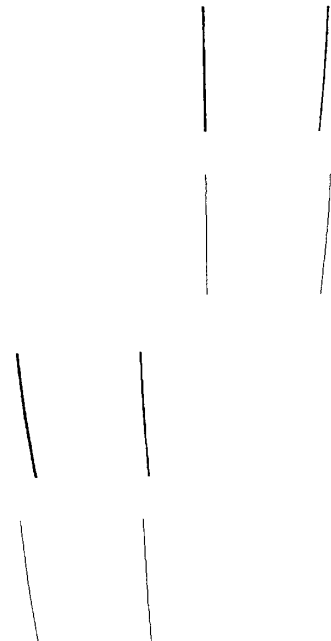
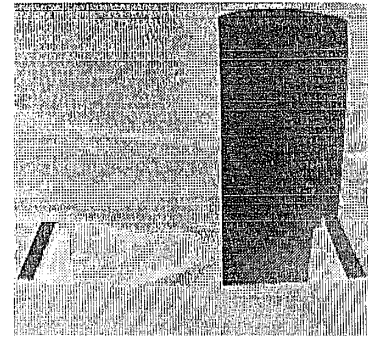


図3 画像処理例

③画像の2値化, 細線化

③までの処理は画像処理装置を利用する。③までの画像処理の一例を図3に示す。

三角測量の原理を利用して対象物の位置を求めるにはエッジの画面内での位置を数量化して検出しなければならないので、

④ハフ変換を利用して¹⁾、エッジの画面位置を求める。すなわち、直線を表す式として

$$\rho = x \cos\theta + y \sin\theta \quad (2-1)$$

を用いれば、パラメータ ρ 、 θ により直線は決定される。

3. 円柱対象物の位置(距離, 方向), 大きさの決定法

3.1 透視変換とその利用

カメラはロボットハンド部に取り付け、視線はアーム

長手方向中心線に一致させる。一般にカメラはまず垂直軸まわりに α だけ中心に向かって回転し、予め決められた高さの点に向くように β だけ下向きに回転させるものとする。座標原点にたいして、カメラの焦点位置座標を (E_x, E_y, E_z) とすると

$$\alpha = \tan^{-1}(E_y/E_x) \quad (3-1)$$

$$\beta = \tan^{-1}(E_z/\sqrt{E_x^2 + E_y^2}) \quad (3-2)$$

となる。このとき対象点 (P_x, P_y, P_z) とその画像 (Q_x, Q_y) との関係は図4のように透視変換の関係となり、

- 1) (E_x, E_y, E_z) 平行移動
 - 2) z 軸回り α 回転
 - 3) y 軸回り $-\beta$ 回転 (俯角)
- のように座標変換したものと考えると

$$\begin{vmatrix} Q_x \\ Q_y \end{vmatrix} = D_v/D_n \begin{vmatrix} -S\alpha & C\alpha & 0 \\ -C\alpha S\beta & -S\alpha S\beta & C\beta \end{vmatrix} \begin{vmatrix} P_x - E_x \\ P_y - E_y \\ P_z - E_z \end{vmatrix} \quad (3-3)$$

ここで

$$D_n = C\alpha C\beta (E_x - P_x) + S\alpha C\beta (E_y - P_y) + S\beta (E_z - P_z) \quad (3-4)$$

D_v : 画面・カメラ間距離

P_x, P_y, P_z : 対象点の3次元空間座標値

Q_x, Q_y : 画面对応点の座標値

長さ単位は1mmと1ピクセルが対応しているものとみなす(図4).

ここではカメラの取り付け方向はわかっているが、 D_v, E_x は未知であるものとして、平板上の格子点の3次元位置とその画像について最小2乗法を用いて推定している。また、周辺部についてははずみがあるので上で求められた D_v, E_x を周辺部格子点に適用したときの計算値と実測値との誤差と ρ との関係を線形近似として ρ の値を修正している。

3.2 垂直エッジ画像における関係

$\alpha = 0$ の場合、水平面に直立する直線の3次元空間座標の x, y 座標を(P_x, P_y)とすると、その画像はやはり直線となり、そのハフ変換による ρ の値は

$$\rho = \frac{C\beta D_v P_y}{\sqrt{\{(S\beta P_y)^2 + (E_x - P_x)^2\}}} \quad (3-5)$$

となり、これを利用するとカメラ正面方向にたいして、 θ_c の方向にある水平面に直立する直線の画面内における ρ の値は

$$\rho = C\beta D_v \tan \theta_c / \sqrt{\{(S\beta \tan \theta_c)^2 + 1\}} \quad (3-6)$$

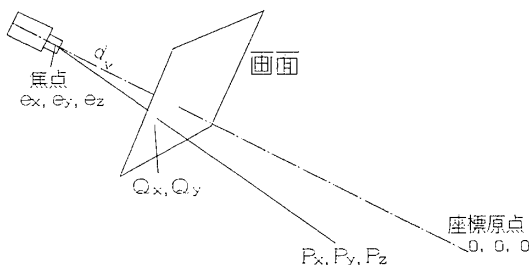


図4 透視変換

となる。したがって、

$$\tan \theta_c = \rho / \sqrt{\{(C\beta D_v)^2 - (S\beta \rho)^2\}} \quad (3-7)$$

となり、 ρ の値より θ_c の値が求められることがわかる。すなわち、垂直エッジ画像をハフ変換しその ρ の値のみによりその直立線のカメラ視線にたいする角度がわかるわけである。

3.3 円柱の位置および半径の検出法(図5)

図5において、 θ_A, θ_B はロボットアームを回転させた場合のそれぞれの位置でのカメラの方向を示している。それらの位置のエッジ画像の ρ の値を求めて(3-7)式に代入することにより、 θ_{R1}, θ_{R2} (この図の場合 <0)などは求められる。円柱の中心はこれらの2等分線上にあるので、これらの交点Oが円柱の中心位置を示すことになる。このとき

$$\theta_1 = \pi/2 + \theta_A + (\theta_{R1} + \theta_{R2})/2 \quad (3-8)$$

となり、 θ_2 も同様にして求められる。また、

$$\angle AOB = \theta_3 = \pi - (\theta_1 + \theta_2) \quad (3-9)$$

とすると

$$OA = L_2 = L_c \sin \theta_2 / \sin \theta_3 \quad (3-10)$$

すなわちO点はA点にたいして、 θ_1 の方向、 L_2 の距離にあることになる。また、円柱の半径 r は

$$r = L_2 \sin(\theta_{R2} - \theta_R) \quad (3-11)$$

となる。

4. 実験結果および考察

カメラ位置(E_x, E_y, E_z) = (118.5, 0, 56.3)

円柱半径 $r = 16.2\text{mm}$

について、アーム角度を $\pm 2.5^\circ, \pm 2^\circ$ の場合について実験

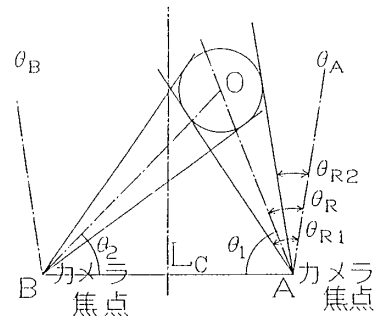


図5 測定原理

表 1. 実験結果例

	ハンド位置	設定位置	アーム角度		各エッジの ρ の値		計測結果	
							位置	半径
1	524.5	-21.2	-2.5	2.5	227, 54	-33, -208	-20.5	16.0
2	524.0	-16.2	-2.0	2.0	204, 24	-11, -187	-16.8	15.9
3	523.7	-24.2	-2.5	2.5	213, 44	-42, -209	-25.3	16.0

半径=16.2

ひずみ考慮

を行った。その結果を表 1 に示す。なお実験 3 は肩部に取り付けられた両眼立体視用カメラで得られた値を利用してロボットアームで動かしたものでハンド位置にはロボットの動作誤差が含まれている。またエッジ画像はカメラが接近していて、しかもロボットアームは対象物に対して外向きになるため画面周辺部に位置する。そのためここではひずみを考慮して修正を行っている。また、ハンドの一部が画面内に入るので、この部分を除去するためウインド処理を行っている。

実験 1, 2 はハンド位置すなわちカメラ位置が正確にわかっている場合で位置検出誤差は 1 mm 以内に納まっている。また、半径については 0.2~0.3mm 程度の誤差となった。ところが、ロボットアーム自身動作誤差をもつためハンド部のカメラ位置に誤差が存在する。すなわち図 5 における A, B 点の位置に誤差が含まれることになり、したがって、 L_c の値に誤差が含まれることになる。そこで、ロボットの動作誤差も含めて実験を行ったのが実験 3 に相当する。この場合ハンドの目標位置（両眼視の結果により）523.7mm にたいして実測値は 522mm で 1.7mm の誤差があった。また両眼視による計測結果には 1.4mm の誤差があった。両眼視の場合ハンド位置と対象物との間にはロボット動作誤差と合わせて 3.1mm の誤差があることになる。一方ハンド部カメラによる結果はロボット動作誤差に間接的に影響は受けるがこの場合誤差は 1.1mm でハンド部カメラによる結果はロボット動作誤差なども含めて考えると総合的には両眼視に比し精度的に向上していることがわかる。肩部両眼視カメラによる結果は大きいときには 5 mm 程度の誤差があることもあり、これがロボット動作誤差と同符号の場合は総合的にはさらに誤差は増大することになり、このような値を用いて把握させる場合は失敗することもある。一方ハンド部カメラを利用すれ

ば把握における失敗はほとんどなくなるであろうことが推定される。

ここでいくつかの誤差の原因とその影響について考察する。

実験 1 はハンド位置：524.5、円柱半径：16.2、

座標原点：ハンド先端より 5 mm 前方、

円柱中心座標 -21.2

にたいして、得られた結果は -20.5 であった。このとき ρ の値は

$$-2.5^\circ \quad 227 \quad 54$$

$$2.5^\circ \quad 33 \quad -208$$

であった。これらの値のうち 1 個を 1 ピクセルだけ変化させたときの位置計算値は -20.1 または -20.9 となり約 0.4 mm 変化する。またハンド位置を 1 mm 変化させると位置の計算値は 0.3mm 変化する。またアーム回転角度にロボット関節 1 ステップ分すなわち 0.025° の誤差があるとすれば約 0.9mm の位置計算誤差が生ずる。すなわちアーム回転角についてはとくに注意を払う必要があることがわかる。この実験ではしたがってアーム回転は 1 方向のみになるように配慮しバックラッシュなどによる影響を軽減した。

一方、カメラの取り付けに誤差のある場合について調べてみよう。いま $\beta = 25.4^\circ$ (俯角) では

$$\rho = 40.9 \quad 216.2$$

$$P_x = -21.2$$

となり、 $\beta = 30.0^\circ$ のとき

$$\rho = 39.2 \quad 206.7$$

$$P_x = -29.5$$

となり、カメラ取り付け角度 β の誤差は位置検出に大きい影響を与える。したがってカメラ取り付け角 β の調整には配慮しなければならないことがわかる。

画像のエッジ検出、細線化の際あるいはひずみの影響

により一般的には ρ の絶対値は小さい方向にずれると思われる。ずれが1ピクセルとすれば P_x は約-0.4mmずれる。一方ハンド位置はロボットの動作誤差の傾向から1mm程度小さくなることが多いのでこれにより P_x の値は+0.3mm程度ずれる(実験3の場合のみ)。また、アームの回転においても回転角はバックラッシュや不感帯により小さい方向へ誤差が見込まれるので、その値を1ステップ分とすればこれにより P_x の値は+0.9mm程度ずれる。したがって総合的には+0.5mm(+0.8mm)程度の誤差が見込まれることになる。すなわち一般的には P_x の値は+側にずれるとおもわれる。実験1の結果はこれに合致している。実験2は負側にずれているので画像処理の過程での誤差が2ピクセル以上であったと考えられる。

ここでは ρ のみを用いて距離推定を行ったが、カメラの垂直軸に対するねじれがあったとしても ρ の値は影響を受けないが、 θ の値は直接影響を受ける。カメラ取り付けはねじれを伴うこともあるが、 ρ のみによる推定法を採用することによって取り付けのねじれの影響を軽減することができる。

以上のことから以下のように結論できる。

1. ハンド部にカメラを取り付けることにより、対象物に接近できるので1台でもロボットアームの回転と組み合わせれば肩部両眼視カメラの場合より高精度の結果(距離誤差1mm程度以内)が得られた。

2. ρ のみを利用することによりカメラ取り付けのねじれ誤差の影響を軽減できる。しかしカメラ俯角の誤差の影響は避けられないので取り付けの際注意しなければならない。また、ロボットアーム回転角誤差も比較的大きい誤差を生ずるので1方向のみに回転させることなどにより誤差の軽減を図るのがよい。

問題点としてはアーム回転によりカメラも外向きとなるため周辺部に位置することになり、画像のひずみが大きくなる。これにたいしてはカメラのみを回転させる機構などを加えて画像を中心部に位置させることにより改善できるものと思われる。またその場合はアーム回転角をより大きくとれることになり検出精度向上にも役立つものと思われる。

最後に本実験にあたり平成3年度機械工学科卒業研究の諸君より多大の協力をいただいたことに謝意を表します。

参考文献

- 1) R.O. Duda & P.E. Hart: Use of Hough Transformation To Detect Lines and Curves in Pictures, Comm. of ACM, Vol.15, No.1, pp11/15(1972)
- 2) 広瀬茂男: ロボット工学, pp28/37, 掌華房(1987)
- 3) 松井, 落合, 石松: パソコン画像処理装置のロボット用視覚センサへの応用, SICE89前刷, 671/672, 1989
- 4) 松井, 落合, 石松: パソコン画像処理装置のロボット用視覚センサへの応用(円柱対象物の場合), SICE90前刷, 523/524, 1990
- 5) 松井, 落合, 山根, 石松: パソコン画像処理装置のロボット用視覚センサへの応用(ロボット動作の利用) 第10回 SICE九州予稿集, 285/286, 1991
- 6) 松井, 落合, 山根, 石松: パソコン画像処理装置のロボット用視覚センサへの応用(円柱対象物の場合), 宇部高専研究報告, 第38号, 1992
- 7) 井口, 佐藤: 三次元画像計測, 昭晃堂(1990)

(平成4年9月1日受理)