

垂直エッジを利用した簡単な形状の対象物の位置の検出 (円柱, 角柱の場合)

山根 彌生*・落合 積*・松井 稜治*
石松 隆和**・松原 夏子***

Detection of the Position of a Simple Shaped Object Using Some Vertical Edges.

Y. Yamane*, T. Ochiai*, R. Matsui*
T. Ishimatsu** and N. Matsubara***

Abstract

Using a image processing system connected to personal computer, we show a sequence processing the pictures from a pair of TV-cameras attached to a robot-arm. We propose a method to detect the position of a simple-shaped object using vertical edges and show the results of experiments in this report.

1. まえがき

筆者らは、円柱、角柱について、その位置、寸法の非接触検出の方法として、パソコン画像処理装置をロボットセンサとして利用した場合にどのようなになるかその手法、問題点などについて調べてきた。左右画像共3本エッジがあれば角柱、左右画像共2本エッジがあれば円柱、どちらか一方が3本であれば角柱として認識することにして、垂直エッジの本数により対象物の形状を判定することにした。

座標変換行列²⁾を利用すると、水平面に直立する直線のカメラに対する方向をハフ変換¹⁾を併用すれば画面内画像位置より容易に知ることができ、さらに三角測量の原理を応用することにより直立する円柱や角柱の位置を検出することができる。ここではロボットアームに取り付けられたテレビカメラよりの画像をパソコン画像処理装置(PIAS LA-500)あるいは画像処理ボード(CT-9800B)により処理して垂直エッジを細線化して検出し対象物の

位置を検出することが可能であることを示し、その実験結果について報告する。

2. システム構成および画像処理手順

2台の小型テレビカメラをマイクロロボットアーム(ムーブマスタII)の肩部に取り付けて視覚センサとして用いる。画像処理の1部は画像処理装置(PIAS LA-500)あるいは画像処理ボード(CT-9800B)を用いる。処理システムの構成を図1. に示す。

円柱、角柱対象物に対して2台のカメラにより画像処理装置あるいはマルチプレクサ、画像処理ボードを用いて次のような画像処理を行う。

画像処理の手順

- 1) 背景画像のサンプリング
- 2) 対象物画像のサンプリング
- 3) 差画像を得る(濃淡画像)
- 4) 画面コピー(それぞれ2ページ)
- 5) 垂直エッジの検出(左右エッジ)
- 6) 画像合成(左右カメラ画像に対し、垂直エッジの濃淡画像を得る)
- 7) 2値化, 反転

* 制御情報工学科

** 長崎大工

*** 日立造船

8) 細線化 (2 値画像処理)

9) 2 値画像圧縮ファイルの作成

画像処理ボードでは画像処理のための自作のプログラムを用いる (PC9801DA)。

本ボードのメモリーは 256 K バイトの容量がありこのメモリーに画像データ (512 × 512 × 8 ビット) を取り込み、プロテクトモードでシステムメモリーにリニアなアドレスとして処理を行っている。(superpoke, superpeek 使用)

C 言語と機械語で作成された画像処理プログラムの各モジュールの内容は、次のようになっている。

サンプリング：カメラよりの画像を画像処理ボードの画像メモリーに取り込む。

差画像： サンプリングした背景画像をパソコンメモリーに転送後、対象物画像をサンプリングし、前者画像と各メモリー間で減算を行うことにより対象物みの画像を得る。

エッジ検出：濃淡画像である差画像の各点について、右左方向、左右方向の二つの一次微分フィルターを用い、線画となる微分画像を得る。

2 値化：微分画像をしきい値処理することにより、白、黒 2 値の画像を得る。

細線化：幅をもった 2 値画像のエッジを、角やヒゲを除きながら幅が 1 ドットのエッジに変換する。

反転：2 値画像の白、黒データを入れ換えることにより、対象物のエッジを黒で示す。

画像ファイル処理：ボードメモリーにあるエッジ画像情報をファイルに保存するために、画像データを左上から各列毎に順に読み、黒データがある時にはその座標値を読み込むことにより、2 値画像圧縮ファイルを作る。

画像処理の 2 部となるハフ変換以下の処理は、パソコン PC9801VX あるいは PC9801DA で行う。なお、パソコンの間のファイルのやりとりはファイル転送プログラム (PIAS の場合) を用いる。

1) ~ 3) の処理を行うことにより背景が除去されて、対象物の画像がより鮮明に得られ、照明条件などの影響が減少することになる。(図 2, 図 3, 図 4)

ここでは、円柱あるいは角柱の対象物については、エッジ本数に応じてハフ変換により直線を検出し、円柱か角柱かを判定し、それぞれの位置を簡単な計算を用いて検出するわけである。なお、エッジ本数は各行いくつの点

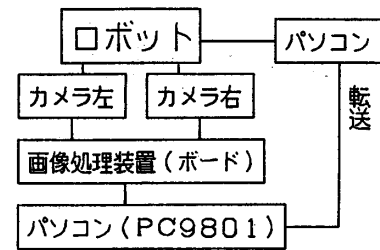


図 1. システム構成

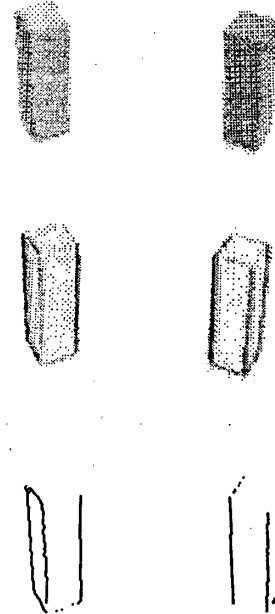


図 2. 画像の例 (完全な場合)

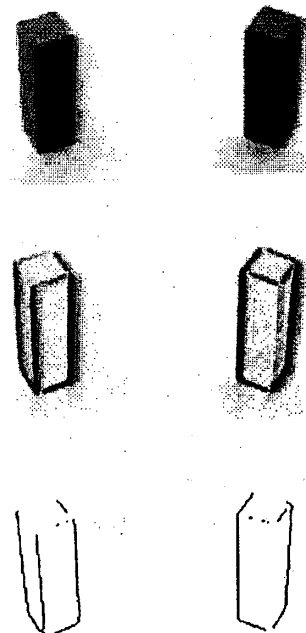


図 3. 画像の例 (不完全な場合)

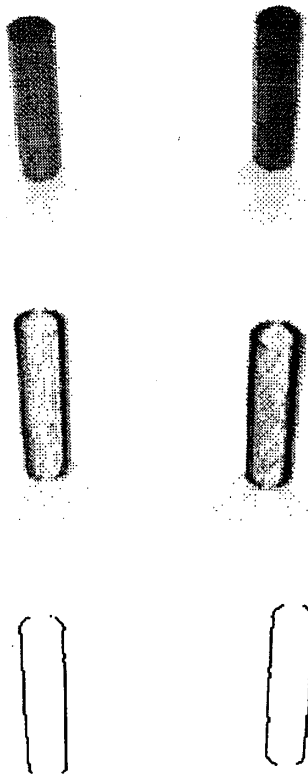


図4. 画像の例 (円柱の場合)

があるかを数えて、画像の存在する範囲の中でどの位の割合を占めるかで判断する。これらの直線の本数を決めてハフ変換を行えばより精度良く直線の位置は求められる。なお、ハフ変換においてはメモリ節約の意味もあって、各行の各点で θ の各値に対して ρ の値を計算し、それまでの結果を含めて比較して、頻度の多いものを本数分だけ選ぶわけである。

3. 直立エッジ画像を利用した位置推定

いま、空間座標の原点をカメラ視線上にとり、焦点・画面間距離を D_v とし、カメラを y 軸まわりに β だけ回転させたものと考え²⁾(俯角)、画面内直線をハフ変換により

$$\rho = Q_x \cos \theta + Q_y \sin \theta \quad (3-1)$$

(Q_x, Q_y : 画像 x, y 座標)

と表すとき、カメラ視線を含む鉛直面にたいして θ_c の方向にある水平面に直立する直線については³⁾

$$\tan \theta_c = \rho / \sqrt{\{(c\beta \cdot D_v)^2 - (s\beta \cdot \rho)^2\}} \quad (3-2)$$

が成立する。すなわち画面内の各エッジ画像の ρ の値を求めることによりカメラに対する各エッジの方向を知る

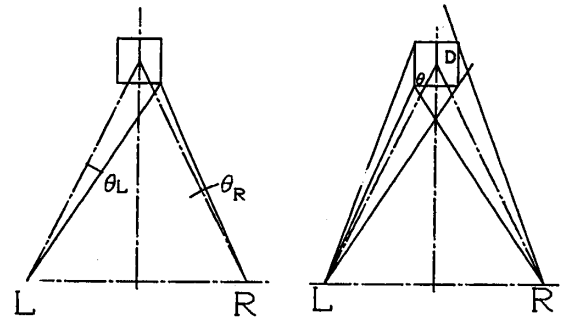


図5.6. 角柱位置の幾何学的関係

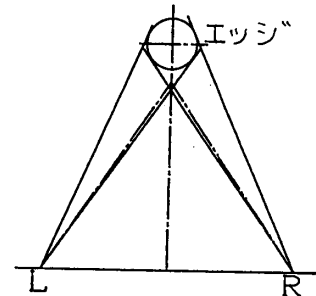


図7. 円柱位置の幾何学的関係

ことができる。なお、カメラの焦点位置は (E_x, E_y, E_z) とし、左右のカメラは E_y のみ符号が逆で、それらの視線一致点を座標の原点 ($0, 0, 0$) とする。またカメラレンズの焦点距離は 8.5mm である。

このとき、角柱の全てのエッジ画像が得られる場合は角柱前面の位置を三角測量の原理により容易に求めることができる。(図5)一方のカメラの画像のエッジの一部が照明条件などにより得られない場合は、角柱の向きと奥行きを仮定して、極値探索を行えば位置を確定できる。⁶⁾(図6)

円柱の場合は、2本のエッジ画像が得られ、左右でその位置は異なるが幾何学的関係を用いれば、円柱の中心位置は容易に求められる。⁴⁾(図7)

対象物の高さは、透視変換を利用して求めている。対象点 (P_x, P_y, P_z) とその画像 (Q_x, Q_y) の間に

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

ここで

$$Dn = CaC\beta(Ex - Px) + SaC\beta(Ey - Py) + S\beta(Ez - Pz)$$

従って

Dr: ロボット中心よりの距離

θ_r : ロボット中心よりの方向

Qh: 画面内エッジの高さ (カウント数)

とすれば,

$$Px = -Dr \times \cos \theta_r + Ex - Rx$$

$$Py = Dr \times \sin \theta_r, Pz_0 = -Eh$$

$$Qy_0 = Dv \{ S\beta(Ex - Px) - C\beta(Ez + Eh) \} / \\ \{ C\beta(Ex - Px) + S\beta(Ez + Eh) \}$$

$$Dn_0 = C\beta(Ex - Px) + S\beta(Ez + Eh), Dn_1 = Dn_0 - S\beta \times H$$

となり 高さHは, 次式により算出される.

$$H = Qh \times Dn_0 / \{ Dv C\beta + S\beta(Qy_0 + Qh) \} \quad (3-4)$$

図8. に, 画像ファイル作成後の流れをしめす.

4. 実験結果および考察

以下に実験結果例の一部を表1. ~表6. に示す. ここで距離は, 円柱については中心までの距離, 角柱については前面までの距離であり, 円柱の半径は16.2mmであり, 角柱の幅は38.8mmであり, 奥行きは39mmである. 左右に置いた場合に多少精度が変化する程度であり, 大きくは変化しない. 角柱エッジの不完全な場合の奥行きにやや誤差のある程度である. 距離測定誤差は3~4mm程度以内であり, 150分の1程度の相対誤差であることがわかる.

理論的には, この角柱をロボット中心から前面までを541mmとし正面に置いた場合は, ハフ変換の ρ の値は右

画像(42.5, 31.4, 3.4), 左画像(-3.4, -31.4, -42.5)となる. これに対して, PIASでは(44, 33, 5), (-1, -30, -40)となっており, また画像処理ボードでは(48, 37, 10), (3, -23, -35)となっている. 画像処理ボードではかなり値が異なるようにみえるが, 画像処理ボードでは中心座標が異なっており, 値の修正を行う必要があるからである. 表の例ではそのような修正を行っている. この修正は対象物位置の計算のときに行っている. PIASの場合はハフ変換値に多少の誤差が存在するが, これはハフ変換におけるきざみ幅(ρ は1, θ は0.02)に影響されるものと思われる. 位置計算は ρ の値のみで計算可能であり ρ の値の違いのみに影響されると思いがちであるが, θ が異なればまた ρ の値も変化するので θ の値の違いも考慮すべきである. もちろん, 照明条件などにより, 画像処理そのものに誤差の生ずることも考慮しなければならない. 理論値に比べて大きい誤差のある場合は画像処理により生じる誤差の他に, きざみ幅によるある種の離散化誤差も考慮しなければならない. このことにより θ も ρ も影響を受け誤差が生じるものと考えられる. この時 θ に誤差があれば ρ も影響を受けるわけである. たとえば, ρ の値が(41, 30, 2), (-3, -30, -41)のとき, すなわち右側で-1.5, 左側で+1.5程度変化したとすれば距離は536.1と約5mmもの誤差が表れるわけである. この程度の誤差はあり得るものと思われる. 従って画像処理誤差(特に細線化の時に生じ易い), ハフ変換による計算誤差すなわち直線検出誤差が悪い方に重なる場合には, 測定結果にこの程度の誤差があることを考慮に入れなければならない. すなわち, ロボットをこの測定結果を利用して動かす場合には5mm程度はゆとりを持たせることが必要である. ただ, 同程度の誤差があっても, すなわち(44, 33, 5), (-5, -30, -41)の場合(双方共+1.5程度)には距離は542.4となり, 前の例に比べると誤差は小さくなっている. すなわち直線検出誤差の絶対値の大きさだけでなく, 符号によっても影響されていることがわかるであろう.

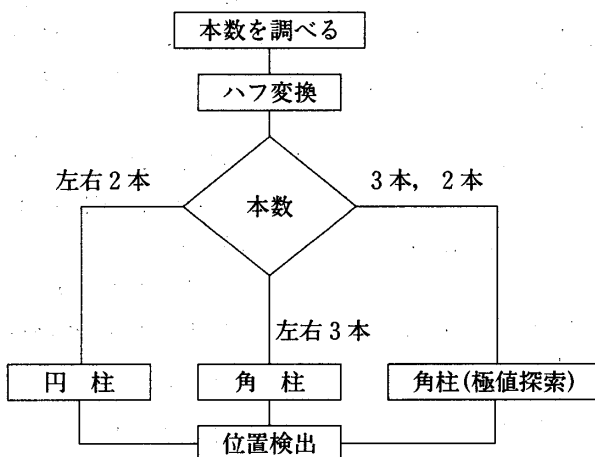


図8. 形状の判定および位置計算

PIAS (512×480) の場合

表 1. 円柱 半径 16.2mm

	設定値	方向	距離	半径	
正面	557	0.1	557.2	15.9	
+10°	557	10.3	557.1	15.3	
-10°	557	-10.0	559.0	16.0	

表 2. 角柱 (エッジが完全な場合) 幅 38.8mm

	設定値	方向	距離	幅	奥行
正面	541	0.3	539.0	39.5	36.7
+10°	541	10.7	540.4	39.8	39.5
-10°	541	-9.7	543.6	39.2	38.1

表 3. 角柱 (エッジが不完全) 幅 38.8mm

	設定値	方向	距離	幅	奥行
正面	541	0.4	539.9	40.3	34.1
+10°	541	10.6	540.3	39.6	35.3
-10°	541	-9.9	541.3	39.9	35.8

画像処理ボードの場合 (512×512)

画像処理ボードでは画像位置が PIAS の場合と多少異なるので, 画像位置の修正を行わなければならない. 中心位置が異なるがハフ変換の結果に修正を加える.

表 4. 円柱 半径 16.2mm

	設定値	方向	距離	半径	
正面	557	0.1	556.3	15.8	
+10°	557	10.0	554.6	16.0	
-10°	557	-9.9	557.2	15.6	

表 5. 角柱 (エッジが完全な場合) 幅 38.8mm

	設定値	方向	距離	幅	奥行
正面	541	0.3	537.5	36.7	39.9
+10°	541	10.3	539.2	38.4	39.0
-10°	541	-9.7	540.6	39.0	38.1

表 6. 角柱 (エッジが不完全な場合) 幅 38.8mm

	設定値	方向	距離	幅	奥行
正面	541	0.2	538.9	38.0	33.1
+10°	541	10.3	538.9	38.0	33.1
-10°	541	-9.7	538.6	38.5	38.5

この程度の画像処理を必要とする計算では PIAS の場合と大差なく, 画像処理ボードで十分達成できることがわかった. この場合は 1 台のパソコンで全ての処理が可能となり, 簡単な形状の対象物 (円柱, 角柱) の位置の非接触測定を簡単に行うことができるわけである. 従って, この結果を使ってロボットを自動的に動かすことができるわけである.

さらに精度の良い位置測定が望まれる場合は, さらに精度良く直線を検出する方法が必要になると思われる.

最後に実験データの作成にあたっては, 平成 5 年度卒業研究の諸君より計算プログラム作成および実験において多大の協力を頂いたことに謝意を表します. なお, 画像処理およびデータの計算にあたっては PC9801DA も合わせて利用している. 画像処理ボード (PC9801DA) の画像処理の消費時間は D S P つきの P I A S (PC9801VX) と大体同程度である (30秒 / 1 画面).

参考文献

- 1) R.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, 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, 第10回 SICE 九州支部学術講演会予稿集, 平成 3.
- 4) 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 3 8 号, 平成 4.
- 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), 宇部高専研究報告, 第 3 9 号, 平成 5.
- 6) 松井, 落合, 山根, 石松: 垂直エッジを利用した角

柱角柱位置, 寸法の検出 (エッジ情報の不十分な場合), 宇部高専研究報告, 第 40 号, 平成 6.

(平成 6 年 9 月 20 日受理)