

# 垂直エッジを利用した角柱位置，寸法の検出 (エッジ情報の不十分な場合)

松井 稜治\*・落合 積\*・山根 彌生\*・石松 隆和\*\*

Detection of the Position and the Size of a Rectangular Pillar Using Some Vertical Edges.

Ryoji MATSUI, Tsumoru OCHIAI, Yayoi YAMANE  
Takakazu ISHIMATSU

## 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 and the size of a rectangular pillar using imcomplete informations of 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になるかその手法，問題点などについて調べてきた<sup>3),4),5)</sup>。角柱の実験の過程で照明条件によっては一方のエッジ情報の欠ける場合が生じた。そのような場合，左右画像共3本エッジが揃うように実験をやり直すこともしばしばあった。そのため一方のエッジが欠けても，その位置，寸法が推定できることが望まれた。

座標変換行列を利用すると，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<sup>1)</sup>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角柱の位置や大きさ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)により処理して垂直エッジを細線化して検出するが，情報の不十分な場合にも最適化法を利用することにより，位置および寸法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)を用いる。

角柱対象物にたいして2台のカメラにより画像処理装置を用いて次のような画像処理を行う。

画像処理の手順

- 1) 左右画像のサンプリング
- 2) 画面コピー(それぞれ2ページ)
- 3) 垂直エッジの検出(左右エッジ)
- 4) 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)
- 5) 2値化，反転
- 6) 細線化

\*宇部工業高等専門学校制御情報工学科

\*\*長崎大学工学部

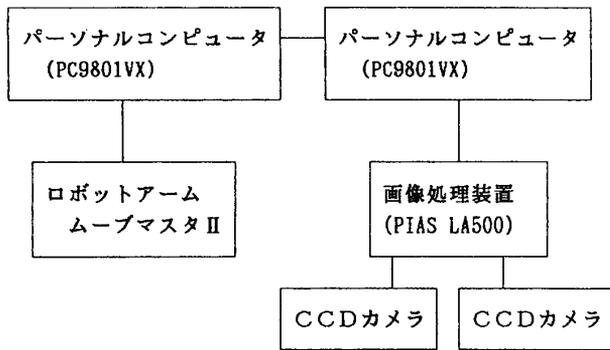


図1. システム構成

### 7) 2値画像圧縮ファイルの作成

ハフ変換以下の処理はパソコン PC9800VX 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を用いる。

このときロボットアームからみて前面の2エッジ画像が2台のカメラそれぞれにたいして得られるとき、前面の位置や幅は三角測量の原理を利用することにより容易に求められる。ところがどんな条件下においても全てのエッジを得るということは容易でなく、照明条件によっては前面エッジの一方が得られない場合もある(図2)。従って、このような場合でも対象物の位置、寸法を求めることが出来れば、得られた画像を有用なものとすることになる。なお、照明条件によって両方共エッジが不完全であることは少なく、どちらか一方は殆どの場合得られることが多い。すなわち、1本エッジが欠けている場合も含めれば殆どの場合角柱の位置や寸法を推定出来ることになる。

### 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  $\beta$  だけ回転させたものと考え<sup>2)</sup>(俯角)、画面内直線をハフ変換により<sup>1)</sup>

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

( $Q_x, Q_y$ : 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  $\theta_c$  の方向にある水平面に直立する直線については<sup>3)</sup>

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

が成立する。すなわち画面内の各エッジ画像の  $\rho$  の値を

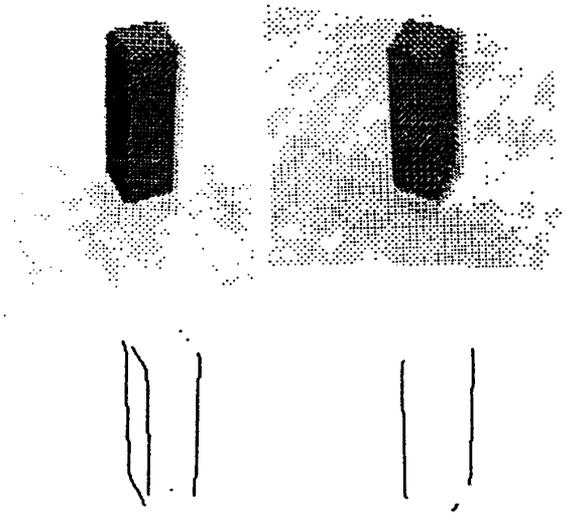


図2. 画像の例

求めることによりカメラにたいする各エッジの方向を知ることが出来る。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  $8.5\text{mm}$  である。

このとき、全てのエッジ画像が得られる場合は角柱前面の位置を計算により容易に求めることができるが、図2., 図3. のように一方のカメラの画像のエッジの一部

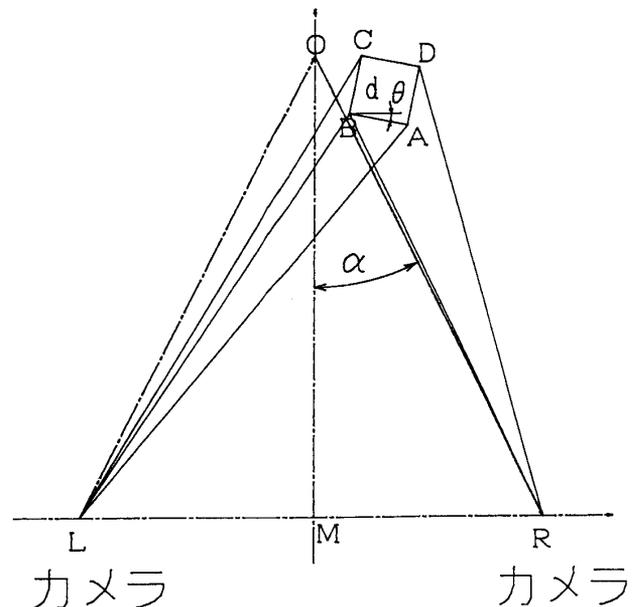


図3. 角柱位置の幾何学的関係

が照明条件などにより得られない場合もある。

たとえば、図3. の右エッジが欠けている場合において、直線RB, RD, 直線LA, LB, LCは図2. のエッジ画像の $\rho$ の値により求められる。RB, LBの交点が角柱の前面左のエッジの位置を示すことになる。したがって、この点は計算により確定できる(座標 $x_B, y_B$ とする)。他の3点はそれぞれの直線上にあることになるが、画像データにおける誤差や $\rho$ や $\theta_c$ の値の計算におけるデジタル化誤差のあることなども考慮すればこれらの直線の近傍にあるものとする必要がある。

ここでは前面の方向( $\theta$ )と奥行き( $d$ )を可変として後方2点と直線との距離の総和を最小とするものを最適化法を利用して求めてみることにした(2変数)。このとき、仮定した点とカメラ画像の示す方向すなわち直線との距離を誤差と考える。このときの関係は次のように示される

$\theta$ を仮定すると左カメラエッジ画像より幅ABの大きさが求められる。すなわち、方向 $\theta$ の直線ABと $\rho$ より求められる直線LAとの交点として、点Aは求められる。すなわち点Aの $x, y$ 座標の値は次のようになる。

$$x_A = \{ \cos\theta_{LA} (x_B \cos\theta - y_B \sin\theta) + \sin\theta (e_x \sin\theta_{LA} - e_y \cos\theta_{LA}) \} / \cos(\theta - \theta_{LA}) \quad (3-3)$$

$$y_A = \{ \cos\theta (e_x \sin\theta_{LA} - e_y \cos\theta_{LA}) - \sin\theta_{LA} (x_B \cos\theta - y_B \sin\theta) \} / \cos(\theta - \theta_{LA}) \quad (3-4)$$

( $x_B, y_B$ は前述のように既知である。左が欠けている場合はA点とB点が逆になるがここでは省略する。)

奥行きを $d$ とすれば、C, D点の座標は

$$x_C = x_B - d \cos\theta \quad (3-5)$$

$$y_C = y_B + d \sin\theta \quad (3-6)$$

$$x_D = x_A - d \cos\theta \quad (3-7)$$

$$y_D = y_A + d \sin\theta \quad (3-8)$$

この2点と左右カメラ画像に表れる後ろ側エッジによって、計算されるエッジの方向が示す直線との間の距離は

$$\text{距離C} = | e_y \sin\theta_{LC} - e_x \cos\theta_{LC} | \cdot | 1 + x_C / (e_y \tan\theta_{LC} - e_x) + y_C \tan\theta_{LC} / (e_y \tan\theta_{LC} - e_x) | \quad (3-9)$$

( $\theta_{LC}$ : 左カメラ画像の左奥エッジの方向)

$$\text{距離D} = | e_y \sin\theta_{RD} - e_x \cos\theta_{RD} | \cdot | 1 + x_D / (e_y \tan\theta_{RD} - e_x) + y_D \tan\theta_{RD} / (e_x - e_y \tan\theta_{RD}) | \quad (3-10)$$

( $\theta_{RD}$ : 右カメラ画像の右奥エッジの方向)

また、図3. において、仮定値は対象物の方向 $\theta$ と奥

行き $d$ と異質のものであることや測定値そのものの精度がmmオーダーで余りよい精度ではないということのため、ここでは余り厳密な最適化法を採用せず、まず $\theta$ を固定して $d$ を変化させ各 $d$ の最適値を求め、その上で $\theta$ を変化させるという2重の線形探索を行って、方向 $\theta$ と奥行き $d$ を求めている。その流れは次のようになる。

#### 最適化法概略

- 1) 両カメラ画像に表れる垂直エッジの位置計算
- 2)  $\theta$  仮定
- 3) 前面他方エッジの位置計算( $\theta$ を仮定すれば求められる)
- 4) 奥行き方向( $\theta$ により決まる)と奥側エッジとの交点2点を求める。それぞれの奥行き $d_1, d_2$
- 5)  $d$ の初期値:  $\min(d_1, d_2)$
- 6)  $d$ に関して線形探索(2次式近似)
 
$$f(\theta) = \min_d (f_1(\theta, d))$$

$f$ : 奥側2点と $\rho$ により決まる直線との距離の2乗和の平方根
- 7)  $\theta$ に関して線形探索

その結果、角柱の底面4点が求められ、したがって位置および幅、奥行きが推定されることになる。なお、高さについては文献5)を参照されたい。

#### 4. 実験結果および考察

以上のような方法により、実験を行った結果の例を表1. に示す。これらの場合前面エッジの一方の位置は容易に求められることから方向についてはほぼ $\pm 1^\circ$ 以内の誤差であったが、距離については1~9mm程度の誤差があった。距離誤差の大きい場合は幅についての誤差も大きくなる。ただし、収束条件をこの場合0.5mmから1.5mm程度に緩めれば精度は4mm程度に向上している。これは、入力データの精度に合わせて収束条件を与えなければいけないことを示している。同時に、この場合幅についても精度の向上がみられることも注意したい。また、幅や奥行きが既知とすれば誤差の大きい1.の場合でも距離は524.9mmとなり精度はかなり向上する。しかし、1.の場合 $\rho$ の理論値は右カメラ: 37.6, 25.6, -3.6, 左カメラ: 3.6, -25.6, -37.6, 一方実験値は右カメラ: 33, -7, 左カメラ: -2, -32, -44となっており、かなりの誤

	真値		測定値			収束条件
	距離	方向	距離	方向	幅	
1	521.0	0	529.6	-0.4	45.5	0.5
2			525.1	-0.4	40.0	
3	541.0	15	547.6	16.0	42.9	1.5
4	541.0	-15	542.5	-13.7	37.8	
5	521.0	0	521.0	-0.1	35.9	
6		15	519.9	14.9	35.1	
7		0	523.6	-0.3	37.3	
8		15	522.8	14.6	35.5	

表. 1. 実験結果 (幅38.8の角柱)

差が見られる。これは、カメラ取り付け誤差に大きく起因するものと思われる。ちなみに、右カメラ+5、左カメラ+6とすると距離は523.7となり、かなり向上することがわかる。そこでカメラ取り付け誤差を1ピクセル程度にしたものが5。以下の実験であり、いずれも距離誤差2~3mm以内となっていることがわかる。たとえば5.の場合 $\rho$ の値は、右:37,24,-3,左:2,-38となっており、距離誤差は0.0で、この場合収束条件を変えても結果は変わらない。即ち、画像処理において誤差が少なければ収束条件を変えても大きい変化はないことになる。そのことは5.以下の実験においてはすべて表れている。すなわち、収束条件を変えても距離における違いは1mm以内になっている。すなわち、カメラ取り付け精度に注意をはらう方が当然のことながら、良い結果を得ている。

また、画像処理における誤差は細線化のときにも生じる。それは2値化の際に対象物のエッジがどの程度の線幅になっているかに関わってくることになる。従って、できるだけエッジ幅は小さいほど画像処理による誤差は小さくなるが画像処理の過程で表れる誤差については、ある程度は存在するものとして、考えに入れておく必要がある。

いずれにしても、カメラ取り付け精度に注意すれば、エッジ情報が左右どちらかが1本欠けても距離検出、幅検出が可能であることを示し、実験を行った結果それらの誤差は共に3mm程度以内に推定することが出来ることを示した。(なお、カメラと対象物との間の距離は

700~800mmとなっている。)

なお、画像処理装置による時間は実験により多少異なるが、大体左右合わせて約1分であり、ハフ変換以後の処理時間は約30秒(C言語)である(PC9800VX)。

最後に実験データの作成にあたっては、平成4年度卒業研究の諸君より多大の協力を頂いたことに謝意を表します。なお、データの計算にあたってはPC9801DAも合わせて利用している。

#### 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:垂直エッジを利用した角柱の位置,寸法の検出(エッジ情報の不十分な場合),92'自動制御連合講演会予稿集,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(円柱対象物の場合),宇部高専研究報告,第38号,平成4.

(平成5年9月24日受理)

grator, Proc. 12th IMECO World Congress, Beijing, 1991.

保護管等のために大きな時定数をもつ温度センサーは動的な誤差が大きく制御等のために大きな障害となる。今回デジタル方式による動誤差補償を開発し、雑音に強く、時定数も1/10に減少させることが可能となった。

(\*九州工業大学・\*三菱電気)

田中正吾\*, 山根健治: 観測点分布の非一様性を考慮した未知曲面形状計測, 電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, P.167/168 (1992)

未知曲面形状を数多くのガウス形基底関数の一次結合として展開し, その展開係数を曲面走査により得られた観測データを利用して推定する曲面形状計測において, 基底関数の数に比べ十分多い観測点を得られないとき, かつ, 観測点の分布形状が非一様性を有する場合に, この点を考慮した基底関数の決定法およびそのときの形状計測精度について考察した。

(\*山口大学工学部)

田中正吾\*, 山根健治, 沖田 豪\*: 先験情報を利用した未知曲面形状計測における基底関数の最適化, 計測自動制御学会論文集, 28-10, 1176/1181 (1992)

著者らが先に提案したパージ積載土量自動計測システムは, 本質的には形状走査データに基づく未知曲面形状推定システムであり, 任意の粉体形状の計測に利用できる。この計測システムでは, 曲面形状推定のための基底関数として中心が正三角格子状に一樣に配置されたガウス形基底関数を考えたが, 本研究ではこの問題を一般化し, 任意の粉体未知形状に対し, 先験情報が利用できるときの最適な基底関数の決定(展開項数も含めて)を以下のふたつの観点から行った。まず第1は, 観測データが多く利用できる場合とそうでない場合とで, 解はどのように変わるか。第2は, 純粋な形状計測を考えるのか, それとも粉体の未知体積を正確に測定することを念頭におくかの違いによる解の相違である。

(\*山口大学工学部)

松井稜治, 落合 積, 山根彌生, 石松隆和\*: 垂直エッジを利用した角柱位置, 寸法の検出(エッジ情報の不十分な場合), 第35回自動制御連合講演会, PP561/562, 平成4。

筆者らは従来より市販の面像処理装置をロボット用セ

ンサとして用いるとき, どのような問題があるのかを調べてきた。今回は角柱についてエッジが一部欠けている場合について, その手法と実験結果について精度はどうなるのかを調べた。

その結果, エッジ情報が不十分な場合も最適化法を二重に適用することによりその推定が可能であり, カメラの取り付け精度に注意すれば, 対象物の位置や寸法が3mm以内で検出できることを示した。

(\*長崎大工学部)

張振家\*, 中西 弘\*, 浮田正夫\*, 深川勝之: 2段接触酸化法による高塩分・高濃度有機性廃液の処理, 日本水環境学会年会講演集, (1993)

スルファニルアミドはサルファー剤を製造するための中間体である。その合成廃液は, スルファニルアミド2%, NaCl14%を含有し, TOC3~4万mg/l, BOD4~5万mg/lである。この廃液は現在は海洋投棄によって処分されている。本研究で, その陸上処理技術開発を目指し, 2段接触酸化法を採用することにより難分解性の処理に適していることを明らかにした。

深川勝之, 高林尚弘\*, 中西 弘\*\*: 亜硝酸脱窒に関する基礎的研究, 第45回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, pp.143-149 (1993)

活性汚泥法において亜硝酸脱窒を可能ならしめることは, 反応の経路を短縮できるため省エネルギー化が可能となる。この実現のためには各段階の反応速度的知見が不可欠である。アンモニア負荷やpHなどが影響することについてはすでに報告した。本報告では各反応を0次として反応解析を行ない, 速度の大小を比較検討した。

(\*山口県庁, \*\*山口大学工学部)

張振家\*, 中西 弘\*, 浮田正夫\*, 深川勝之: 嫌気性エアリフト式反応装置による廃液処理, 第45回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, pp.150-151(1993)

エアリフト型リアクターは, ガス吹き込みだけで大きな液循環流速と十分な液混合が得られ, この特徴は大型になるほど有利となる。しかし, これまでの微生物培養や排水処理分野の利用状況をみると, 全ての応用例は酸素吸収効率を向上させるために, 空気を吹き込んだ好気性のものに限られている。エアリフト型装置による低エネルギー消費型の攪拌と優れた流動特性だけを利用した嫌気性バイオリクターの例は殆どみられない。