

ハフ変換を利用した1画像による角柱の位置検出

松井 稜治*・山根 彌生*・落合 積*

On the detect of a rectangular pillar position by an image using Hough transformation

Ryouji MATSUI, Yayoi YAMANE and Tsumoru OCHIAI

abstract: We could detect a circular pillar position, using Hough transformation on vertical edgws..But, we can extwnd the method to the detection of the rectangular pillar position,using some given data by an approximated calculation. The method and the some results are shown here.

Keyword:Hough transformation, vertical edge, image processing of an image, approximated method,rectangular pillar

1. まえがき

筆者らは、高さが既知の水平面に置かれた円柱の位置を垂直エッジ画像のハフ変換パラメータと水平面との交わりを示す垂直エッジの最下端の座標から近似的に求めることができることを示し、所要の精度で結果を得ることができたり、この方法を角柱の場合にも原理的に拡張できる。更に角柱では置かれた水平面との交わりが水平直線となり、この直線にもハフ変換を施せばデータはより信頼性のあるものになると思われるので、垂直エッジのハフ変換パラメータと合わせて指標として、角柱の位置検出を行った。ここでは、その手法と実験結果について報告する。

2. 原理

ロボット、カメラと対象物(角柱)の位置関係(平面図)はFig.1のように示される。勿論、カメラと対象物との間の距離が分かるためにはカメラは俯角 β で上方に装着され、斜め下方を見ることになり、対象となる角柱はロボットと同じ水平面上に置かれており、ロボット中心方向を向いているものとする。即ち、角柱前面の方向はその位置に対して一意的である。このとき、エッジ E_R や E_L は3次元空間では水平面に垂直な直線であり、その画像も直線となる。このエッジは角柱では容易に得られる。画像内のある点の座標 (x,y) をハフ変換²⁾すると

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

となり、直線上の点では同一の (ρ, θ) を持つ。すなわち同一の ρ 、 θ を持つ点の数をカウントすることによって、頻度の多いものを直線として抽出できる。

今、エッジ E_R がカメラ視線から水平面内で θ_{CR} だけずれているとすれば

*宇部工業高等専門学校制御情報工学科

1999年9月24日受理

$$\theta_{CR} = \tan^{-1}(\rho / \sqrt{(D_V C \beta)^2 - (\rho S \beta)^2}) \quad (2)$$

となる。ここで、 D_V は透視変換比例定数であり、 C や S は \cos や \sin の省略形である。 D_V や β は同一のカメラで取り付け不変の場合定数であるので、この角度の変化は ρ のみの変化として表れることがわかる。ただし、カメラはロボットアームほぼ中央部に装着されているものの、カメラ焦点とロボットアーム回転中心とは多少の位置の違いがあるので、ロボットアーム中心からの方向の変化は ρ のみの変化に表れるとは限らない。

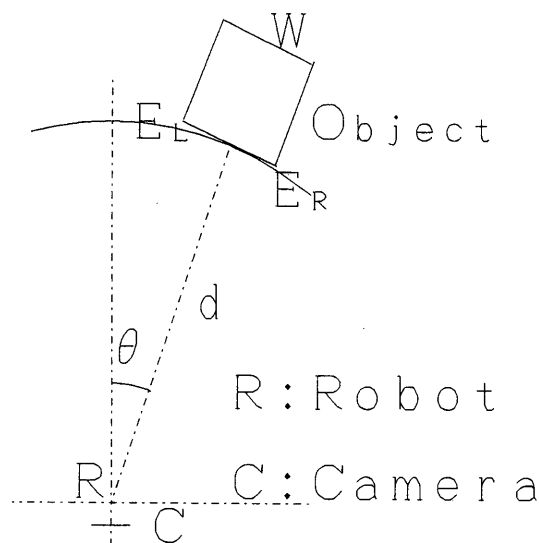


Fig.1 Geometric Relation (Horizontal)

また、左右エッジの水平面との交点は直線画像の最下端の垂直方向座標 q として求められる。このとき、カメラから両エッジまでの距離 d_{CR} 、や d_{CL} は文献3)のように解析的に表現でき、

$$d_{CR} = C_n(q) / C_d(\rho, q) \quad (3)$$

の形に要約される。すなわち、定数を含む ρ と q の関数となる。以上の性質すなわち

1) カメラ視線と垂直エッジとのなす角度は変数 ρ_v のみに依存する。ただし、ロボット中心とエッジのなす角度はロボットとエッジの間の距離にも僅かに依存する。

2) カメラ焦点とエッジまでの距離は(3)式のように2変数垂直エッジ ρ と垂直エッジ下端点座標 q の双方に依存する。この q の値は水平面と角柱の交わりである水平エッジの左右両端の座標値であるので、水平線のハーフ変換の ρ_H と深く関わっている。

を利用して、 ρ_v と ρ_H の2個の値を指標として、ロボット-角柱の位置関係を求めようというのが本手法である。すなわち、カメラはロボットアームに取り付けられており、ロボットアームが回転してもカメラ-ロボットの相対的位置関係は変わらない。そのことに配慮すれば、角柱がロボット中心に向いているとロボットと角柱の位置関係を ρ_v と ρ_H を指標として直接的に求めることができるはずである。この場合、ロボット正面とロボット-角柱前面の中心のなす角度も2変数 ρ_v 、 ρ_H の関数となることに配慮しなければならない。ただし、この方法は非線形の関係を線形近似するので近似誤差がどの程度であるのか、あるいは把握という目的を達成できるのかが問題である。そこで実験によりどの程度の精度なのか、あるいは、この手法は有用であるのかを確かめることが重要である。

3. 手法

カメラより得られる画像は画像処理され、最終的に細線化処理されて Fig.2 のようになる。この画像は1画像を垂直エッジと水平エッジとに分けて処理したものである。この垂直エッジ、水平エッジ画像をそれぞれハーフ変換するが、処理回数の低減を図るため、まずハーフ変換において ρ 、 θ のキザミ幅をやや粗くとして得られた直線に、さらにその



Fig.2 Obtained Image

直線上の点について最小2乗法を適用することによって ρ_v 、 ρ_H の高精度な値を求める。

ここでは測定領域は Fig.3 のように幾つかの領域 (0-1-4-3 や 1-2-5-4) に分割されている。各領域における4

隅の (ρ_v , ρ_H) の値は予め求めておき、位置情報と合わせて表としている。領域判別されたら、領域内部の点における ρ_v , ρ_H の値の1次式として、ロボットからの距離や方向の値を求めるが、1次式の係数はその領域の4隅の値を使用して、最小2乗法により求める。

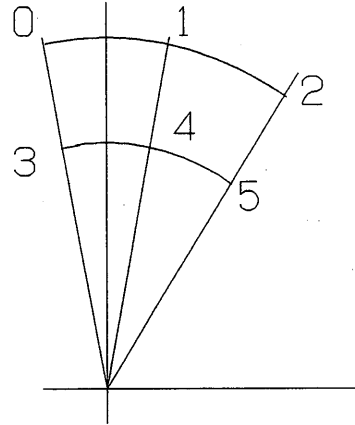


Fig.3 Divided Region (Horizontal Plane)

例えば、(ρ_v , ρ_H) を持つ点について、距離 d は

$$d = a_0 + a_1(\rho_v - \rho_{v0}) + a_2(\rho_H - \rho_{H0}) \quad (5)$$

のような1次式で表されるものとする¹⁾。 θ や幅についても同様に2変数に関して線形近似する。この場合係数 a の値(ベクトル)は次のようにして求める。すなわち、

$$y_i = d_i \quad (i = 0, 1, 2, 3) \quad (6)$$

$$x_{i0} = 1$$

$$x_{i1} = \rho_{vi} - \rho_{v0} \quad (7)$$

$$x_{i2} = \rho_{Hi} - \rho_{H0}$$

とすると

$$y = Xa \quad (8)$$

($X: 4 \times 3$)

のようにベクトルと行列を用いて表現すると、 a は4隅のデータに対して3個の値を決定することとなり、次のように最小2乗法により a を求めることができる。

$$a = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (9)$$

結局、係数 a は4隅の値を用いて(予め表にしておく)、最小2乗法を使って求められることになる。

4. 実験結果および考察

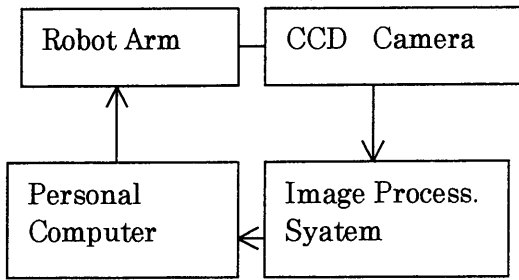


Fig.4 System Configuration

実験のシステム構成を Fig.4 に示す。ロボットアームは素直多関節形, 5 自由度で, 画像処理システムは解像度 512 × 480 ドット, カメラ焦点距離は 8.5mmf および 16mmf の 2 種類について実験を行った。なお, ロボットアームは正面を向いており, 角柱はロボット中心を向いているものとする。

決められた各領域 4 隅の点で 39×39mm の角柱の場合の実験データを採取し表にした。この表では左右エッジそれぞれについて表を作成し, 左右エッジについて同一の ρ_H を用いている。幅についてはエッジそれぞれの位置が確定できれば簡単に計算できる。39mm 角の角柱のほか 25, 29.8mm 角の角柱についても位置や大きさについて調べた。また, 実験は 2 領域 (100mm キザミ, 10° キザミ) の場合について行ったが, それぞれの領域の誤差の大きいと思われる各小領域の中央付近でデータを採取した。

Table.1 Some Results with artificial light, using Hough transformation of vertical and horizontal. Edges. R:after Revolution
8.5mmf lens

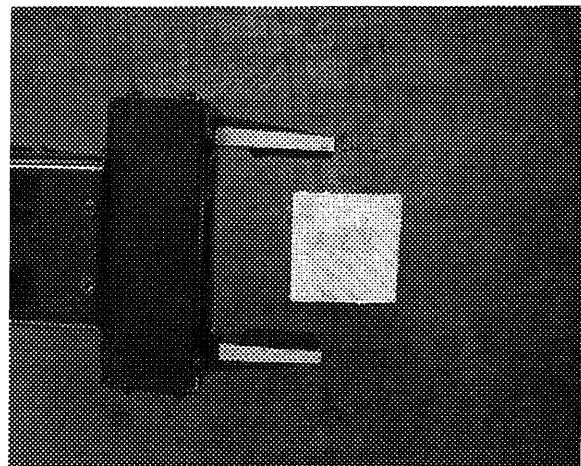
No	W	Dist	Dir	Dist	Dir	W
1	39.0	491	0	489.6	0.02	39.7
2			10	491.1	10.04	39.5
3	29.8		0	490.4	0.33	30.6
4			10	488.2	10.31	30.9
5	25		0	490.5	0.24	25.8
6			10	488.4	10.31	25.8
7	39.0		10	491.6	10.27	40.4
8			R	490.1	0.15	40.1
9	29.8		10	488.0	10.54	31.8
10			R	490.2	-0.08	31.3

8.5mmf の実験結果を Table 1. に示す。全般的にはロボットの動作範囲の距離約 500mm に対して, 8.5mmf レンズについては大きい場合約 3mm の誤差でロボットの対象物把握は可能であるが誤差の大きい場合はロボット側方の場合であったので, その方向にロボットを一端回転させ, 対象物をほぼロボット正面にして, 改めて測定を行い, そのデータを用いて実際に把握位置へロボットアームを動かすと全ての場合 Pic.1 のように成功した。また,

16mmf のレンズの場合測定可能範囲は狭められるが全体的に精度は向上している。このロボットアームの可動範囲であれば 16mmf のレンズでも測定可能であり, 対象物把握のための精度は十分であるといえる。

また, 1 種類の大きさの角柱のデータを基準データとして使用して, 異なる大きさの角柱についても, 所要の精度で推定できることがわかった。これは基準データとして, 左右のエッジそれぞれについて, 距離, 方向を求めて表データとしているからと思われる。

また, Table.1 には挙げていないが, 高さについても下端エッジの ρ と上側エッジの ρ を利用することによって推定することができた。ただし, 距離や方向に比べると精度はやや劣るが, 把握は 6, 7 割の高さで行うことを考慮すれば十分の精度である。



Pic.1 to the grasp position using calculation

Table.2 16mmf Lens

	Set value					
	w	Dist	dir	Dist	dir	w
1	39	491	0	490.1	-0.1	39.1
2			10	488.4	10.0	38.9
3	29.8		0	489.6	0.1	30.4
4			10	490.8	10.0	30.4
5	25		0	490.4	-0.1	25.4
6			10	491.2	10.0	25.4

角柱の場合, 垂直エッジも水平エッジも直線であるので, ハフ変換を行うことにより, 多くの点の集まりである直線に関する情報により位置や大きさなどを推定することになり, データが平滑化され信頼性が増し, 推定精度も向上するものと思われる。

また, カメラをロボットアーム側部に取り付けた場合前報のように 2 つのパラメータの間の相互干渉性を考えなければならぬが, カメラをほぼロボットアーム回転中心部に取り付けることにより, 対象物方向は ρ_V , 対象物までの距離は ρ_H に主として影響がでくると思われ, 相互

干渉的な影響は少ないものと考えられ、線形近似で十分と思われる。高次の項を考えればより精度は向上すると思われるが、その場合表データを更に増やす必要があり、把握という目的にはこの程度の個数の代表的なデータを基準として用いることで十分と思われる。

また、この表データによる方法はキャリブレーションを兼ねた方法ということもでき、キャリブレーションを行わなくても良く実用的といえる。ただし、カメラ取り付け位置を変えれば、キャリブレーションを使用する場合と同様に、改めて表を作成し直す必要がある。

この方法では、角柱前面はロボット中心方向に直交していると仮定しているので、角柱の水平面上の位置(2次元)を ρ_v, ρ_H の 2 個の指標で求めることができるが、前面方向が位置に対して一意でない場合は、さらに別の指標が必要となる。その場合、何を指標とすれば効果的であるのかは今後検討しなければならない。有効な指標を加えるとより汎用性を増すものと思われる。

また、画像処理は画像処理システムを用いて、手動的に行ったが、パソコンの拡張スロットに画像処理ボードを装着して、必要なプログラミングを行えば自動的に処理でき、処理の高速化を図ることができる。

参考文献

- 1) 松井稜治ほか：ハフ変換による 1 画像からの円柱の位置検出, 宇部高専研究報告, 第 45 号, 1999
- 2) R.O.Duda et al : Use of the Hough Transformation To Detect Lines and Curves in Pictures, Comm. of the ACM, Vol. 15, No.1, 11-15, 1972
- 3) 松井稜治ほか：ハフ変換による 1 画像からの円柱の位置検出, 計測自動制御学会論文集, Vol. 34, No.8, 1119-1120, 1998
- 4) 山根彌生ほか：ロボット制御への画像処理の応用, 宇部高専研究報告, 第 44 号, 43-46, 1998
- 5) 広瀬茂男：ロボット工学, 27-41, 裳華房, 1996
- 6) 井口征士ほか：三次元画像計測, 96-99, 昭晃堂, 1990