

ハフ変換を利用した1画像による円柱の位置検出

松井 稜治*・山根 彌生*・落合 積*・高木 功治**

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

Ryouji MATSUI, Yayoi YAMANE, Tsumoru OCHIAI and Kouji TAKAGI

abstract: The horizontal position of the camera focus given, we could detect a pillar position, using Hough transformation on vertical edges. But, we can directly detect the horizontal position, using same variables. The method and the results are shown here.

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

1. まえがき

筆者らは、カメラ焦点の水平面における位置が既知の時、ハフ変換を利用して、1画像のみで円柱の位置を推定する近似手法および実験結果を示した。この場合、カメラと円柱の相対的位置関係と画像の対応関係から所要の精度(2~3mm/500mm)で近似結果を得ることができた¹⁾。しかし、カメラの焦点位置は通常キャリブレーション²⁾により実験的に得ることが多い。円柱の位置を近似計算により得るためにも数カ所のデータを予め表にしておく必要があり、2重の実験を行うことになり、冗長である。そこで、ここではカメラに対する円柱の位置は垂直エッジ画像のハフ変換から求められるという旧法の原理をロボットからの相対的位置関係に直接的に拡張でき、その場合精度は前の方法に比べて若干悪くなることは予想されるが、どの程度になるのかを調べることは重要であると思われる。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(円柱)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 で斜め上方に装着される。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。このエッジは背景と円柱との境界であり、画像処理して得る。画像の点の座標 (x, y) をハフ変換³⁾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、容易に直線を抽出できる。

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

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

となる。ここで、 D_V は透視変換比例定数である。また、 C や S は \cos や \sin の省略形である。 D_V や β は定数であるので、この角度の変化は ρ のみの変化によることがわかる。

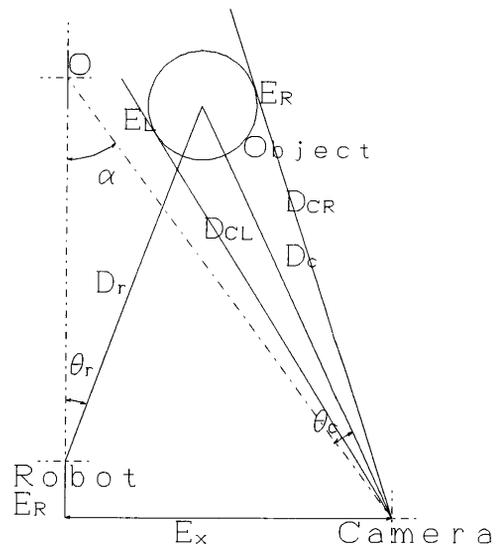


Fig.1 Geometric Relation (Horizontal)

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2)のように解析的に表現でき

$$D_{CR} = C_n(q) / C_a(\rho, q) \quad (3)$$

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)カメラ視線とカメラエッジとのなす角度は変数 ρ のみに依存する.

2)カメラ焦点とエッジまでの距離は, 2変数 ρ と q の双方に依存する.

を利用して, ρ と q の値から, まずカメラと対象物 (円柱中心) との相対的位置関係を 1 画像より近似的に求め, カメラ-ロボットの相対位置関係 (水平面での位置を示す 2 個のパラメータの値が必要) から最終的にロボット-円柱の位置関係を求めるのが, 文献 1) の方法であった. また, 解析的な方法を示したのが 2) である (この場合は透視変換に必要な 4 個のパラメータが必要). いずれにしても, カメラ焦点に対する円柱中心位置を求め, カメラ焦点位置を考慮して, 次にロボットからの距離や角度を求めようというものであった. しかし, カメラはロボット肩部に取り付けられており, ロボットが回転しても相対的位置関係は一定である. そのことに配慮すれば, ロボットと円柱中心の位置関係を ρ と q を使っ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-円柱中心のなす角度も 2 変数 ρ , q の関数となることに配慮しなければならない. ただ文献 1) の方法は測定系に対して忠実な方法で精度は良いと思われ, この直接的な方法は若干精度が悪化することが予想される. そこで実験によりどの程度の精度なのか, この手法は有用であるのかどうかを確かめることが重要と思われる.

3. 手法

カメラより得られる画像は画像処理されて最終的に細線化処理されて Fig.2 のようになる. この画像をハフ変換するが, 処理回数の低減を図るため, まず ρ , θ のキザミ幅をやや粗くとして得られた直線に, さらに最小 2 乗法を適用することによって ρ , θ の高精度な値を求める. この時, q の値についてもこの高精度な直線情報 (ρ , θ) に関して求めておく.

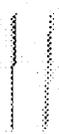


Fig.2 Obtained Image

ここでは測定領域は Fig.3 のように幾つかの領域に分割されており, ρ , q 平面における各領域の形状は Fig.4 のようになっている. 各領域では Fig.4 における 4 隅の

(ρ , q) の値は予め求められ, 位置情報と共に表となっている. 領域判別されたら, その領域の 4 隅の値を使用して, 領域内部の点の ρ , q の値を使って, ロボットからの距離や方向の値を近似的に求める.

次の 2 法について近似の方法としてはどちらがより優れているか比較してみた.

①相互干渉項の付加

前回と同様の近似式

$$D_R = D_{R0} + a_0(\rho - \rho_0) + a_1(q - q_0) + a_2(\rho - \rho_0)(q - q_0) \quad (4)$$

のように θ_R や直径の値も近似的に求めようというもので, この場合は 0 以外の他の 3 隅の値も満足するように 3 元連立方程式を解いて a の値を求める. 最後の項が相互干渉分を示す.

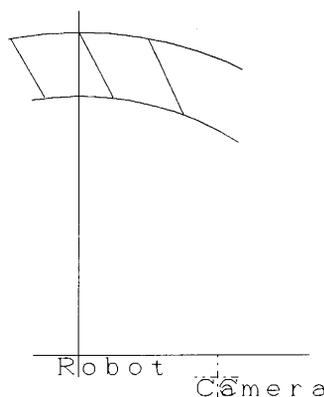


Fig.3 Divided Region(Horizontal Plane)

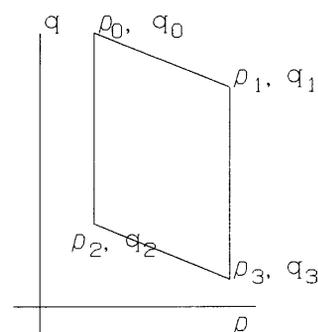


Fig.4 ρ - q plane

②線形近似 (最小 2 乗法の適用)

$$D_R = a_0 + a_1(\rho - \rho_0) + a_2(q - q_0) \quad (5)$$

のように, θ_R や直径についても同様の 2 変数に関する線形近似を行う. この場合係数 a の値は次のようにして求める. すなわち,

$$y_i = D_{Ri} \quad (i = 0, 1, 2, 3) \quad (6)$$

$$x_{i0} = 1$$

$$x_{i1} = \rho_i - \rho_0 \quad (7)$$

$$x_{i2} = q_i - q_0$$

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乗法により求めることができる。

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

結局、 a は4隅の値を用いて、①では連立方程式より求められ、②では線形近似で最小2乗法を使って求められることになる。また、①ではこの計測法における ρ 、 q の相互干渉性を考慮して非線形項を付加している。

4. 実験結果および考察

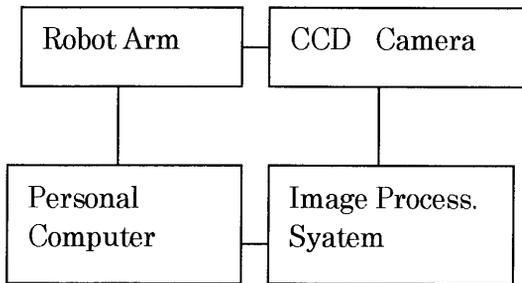


Fig.5 System Configuration

実験のシステム構成を Fig.5 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 である。

決められた各領域4隅の点で $16.2R$ の円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の ρ および最下端座標 q の平均をデータとして中心位置の推定に用いている。また、直径も左右エッジの ρ の差を用いることにより推定できた。中心位置推定の実験では、 $16.2R$ および半径の異なる $27.4R$ の円柱について調べた。近似法としては、旧法(前回の方法)、①の方法、②の方法について精度の比較を行った。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ので、それぞれの領域の誤差の大きいと思われる中央付近での同一の位置で2度データを採取した。

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 に対して最大約 3mm の誤差でロボットの対象物把握は可能である。理論的には旧法で

の計測はまずカメラからエッジまでの距離を計測することになるので、径の異なる場合にも適用できるはずである。確かに径の違いによる差異は顕著には認められない。強いていえば径の大きい場合には距離が小さ目になっていることくらいで、誤差はロボットの把握動作には利用可能な程度に納まっている。

また、表には挙げていないが、直径についても誤差約 1mm 程度以内で推定できた。

Table.1 Some Results

With artificial light

Set	Meth.	Dist.	Dir.	Dist.	Dir.
16.2R 507.2 -2.5°	旧法	508.8	-2.67	508.8	-2.40
	①	508.9	-2.47	508.9	-2.21
	②	509.6	-2.27	509.6	-2.21
16.2R 507.2 7.5°	旧法	509.5	7.29	508.9	7.54
	①	510.0	7.45	509.5	7.72
	②	510.5	7.48	509.9	7.74
27.4R 518.4 -2.5°	旧法	516.7	-2.56	517.1	-2.18
	①	516.5	-2.35	517.0	-1.98
	②	517.2	-2.36	517.7	-1.99
27.4R 518.4 7.5°	旧法	518.1	7.40	518.3	7.62
	①	518.2	7.60	518.4	7.81
	②	518.7	7.62	518.9	7.84

また、旧法と①、②の方法では若干旧法の方が手法としては精度は良いようであるが、①と②の手法の比較をするために、旧法との差を示したのが、Table 2. である。3方法を通して共通に含まれる画像処理誤差が誤差のうちかなり大きい割合をもつと考えられ、ちなみに、2本のエッジのうち1本のエッジ最下端の座標 q の値が画像処理において1違うと 0.8mm 程度の差異が生じる。

Table.2 Errors from the Previous Method

	Meth.	Error	Error
Exp. 1.	①	0.1	0.3
	②	0.8	0.8
Exp. 2.	①	0.5	0.6
	②	1.0	1.0
Exp. 3.	①	-0.2	-0.1
	②	0.5	0.6
Exp. 4.	①	0.1	0.1
	②	0.6	0.6

この値は整数値としてしか検出されないので1程度の誤差はあり得ると思えなければならない。すなわち、画像処理によるこの程度の誤差があるものとしなければならない。差をとることによって、その共通の誤差を取り除くことができ、計算手法の違いによる差異が表れ易

いと考えられるからである。

全体を通して、それほど①, ②の差異は大きくないが、僅かではあるが①の方が②よりも旧法に近い。すなわち、これらはそれぞれ同一のデータを使用しているの、近似計算法の違いによるものと考えられ、この場合には①の近似手法が②よりも良いといえる。このことは、この測定法は ρ と q との相互干渉性の影響が表れているものと考えることができ、近似するとき、このことを考慮した方がよいといえる。とはいえ、いずれの近似手法も把握という目的に対しては利用可能な誤差内である。

結局、水平面に直立する円柱中心のロボットからの距離や方向がこの程度の範囲内にある場合について、1 画像のみのハフ変換から得られる ρ, q を直接的に使う近似計算しても、旧法に比べ若干精度は若干落ちるものの、ロボットの把握動作に利用できることが分かった。

なお、この方法はエッジと画像との対応関係さえ識別できれば、垂直エッジを持つ角柱などの簡単な形状の場

合にも拡張できるものと思われる。

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、プログラミングして自動的に処理させれば、処理の高速化を図ることができる。

参考文献

- 1) 松井ほか：ハフ変換による 1 画像からの円柱の位置検出, 計自論, Vol.34, No.8, 1119-1120 平成 10
- 2) 山根ほか：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, 平成 10
- 3) 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
- 4) 広瀬茂男：ロボット工学, 27-41, 裳華房, 平成 8
- 5) 井口ほか：三次元画像計測, 96-99, 昭晃堂, 平成 2