

巨大構造物の幅の検出

On the Detection of the width of a big Construction

松井 稜治*, 山根 彌生*, 落合 積*, 石松 隆和**

Ryouji Matsui, Yayoi Yamane, Tsumoru Ochiai Takakazu Ishimatu,

Abstract: This paper mentions a detection method of the width of a big building by the image processing system. On this method, an analytic expression is used, but we must pay a notice about a calibration. We make sure of some results by some calibrations. The width of big construction are calculated by using the Hough transformation of two vertical edges of the construction.

Key Word: Triangulation, Vertical Edges, Hough Transformation, Big Construction.

1. はじめに

われわれは、従来より垂直に置かれている物体の垂直エッジを利用して、距離の検出を試みてきた。その過程で垂直エッジのカメラ中心に対する方向が直線のハフ変換により求められることを利用した。カメラの位置がわかれば、これを用いると垂直エッジを持つ大きな構造物の幅を検出できる。ただし、この際カメラの解析的表現におけるパラメータのキャリブレーションが必要であり、しかもかなり高精度でなければならない。そのため、ここでは数値的表現と解析的表現との対応関係から得られるいくつかの方法でほぼ同様の結果が得られる場合についてのみ結果を利用することにした。その実験結果について報告する。

2. キャリブレーション

キャリブレーションには大きく分けると、数値的表現と解析的表現とがある。すなわち、数値的表現では

$$\lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_0 & h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 & h_7 \\ h_8 & h_9 & h_{10} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

となる。

このとき、(u, v)は画面内座標値であり、(x, y, z)は3次元座標値である。係数 h_1 は通常hパラメータと呼ばれる。

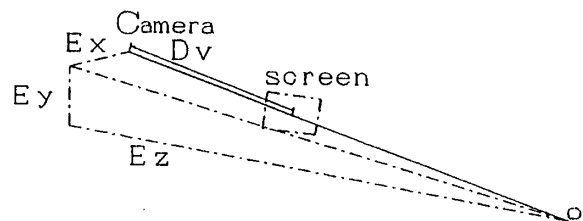


Fig.1 Camera Parameter

解析的表現ではFig1の各パラメータを用いると、

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = D_v / D_n \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

となる。ここで、

$$C_x = -C_\alpha E_x + S_\alpha E_z = 0 \quad (2.3)$$

$$C_y = S_\alpha S_\beta E_x - C_\beta E_y + C_\alpha S_\beta E_z = 0 \quad (2.4)$$

となるはずであるが、各種誤差のため数値計算では0になるとは限らない。

$$\alpha = \tan^{-1}(E_x/E_z) \quad (2.5)$$

$$\beta = \tan^{-1}(E_y/\sqrt{E_x^2 + E_z^2}) \quad (2.6)$$

$$D_n = -S_\alpha C_\beta x - S_\beta y - C_\alpha C_\beta z + (S_\alpha^2 C_\beta / C_\alpha + S_\beta^2 / (C_\alpha C_\beta) + C_\alpha C_\beta) E_z \quad (2.7)$$

* 制御情報工学科

** 長崎大工学部

キャリブレーションを6格子点について(2.1)で行った場合、(2.1)と(2.2)の対応関係から、容易に α 、 β を推定できる。すなわち

$$k = \sqrt{h(0)^2 + h(1)^2 + h(2)^2} \\ = \sqrt{h(4)^2 + h(5)^2 + h(6)^2} \quad (2.8)$$

とすると

$$C\alpha = h(0)/k \quad (2.9)$$

$$-S\alpha = h(2)/k \quad (2.10)$$

$$-S\alpha S\beta = h(4)/k \quad (2.11)$$

$$C\beta = h(5)/k \quad (2.12)$$

$$-C\alpha S\beta = h(6)/k \quad (2.13)$$

この関係を利用して、 α 、 β をまず求めて、

- (1) Ez を各点データよりまず推定して Dv をその後推定する方法
- (2) Ez 、 Dv を各点データにおける連立方程式から最小自乗法で推定する方法
- (3) 上の結果を初期値として(2.1)と(2.2)の対応関係から Dv 、 Ez の満足すべき関係を用いて繰り返し計算により Dv 、 Ez を推定する方法

により得られる3種の結果がほぼ等しければ正しい Dv が得られたものとして採用する。ただし、(3)は初期値に依存する傾向があるので、(1)、(2)でまず推定して、その結果を(3)の初期値として用いることにした。

3. 大きな構造物の幅の検出

構造物などの両端の垂直エッジのカメラに対する水平方向はその直線のハフ変換パラメータを (ρ, θ) 、すなわち、ある直線において

$$\rho = u \cos(\theta) + v \sin(\theta) \quad (3.1)$$

とすると、カメラ中心軸に対するエッジ方向 θ_c は、

$$\tan(\theta_c) = \rho / \sqrt{(c_\beta D_v)^2 - (s_\beta \rho)^2} \quad (3.2)$$

によりわかる。とくに、カメラが水平の場合は $\beta = 0$ であり、

$$\theta_c = \tan^{-1}(\rho / D_v) \quad (3.3)$$

と簡単になる。いま、カメラの位置が分かっている、構造物の手前側で幅を知りたい場合、次のFig. 2に示される関係がある。両端の垂直エッジのハフ変換を行うと、その ρ の値により、カメラ中心線に対する角度はカメラ水平($\beta = 0$)の場合、(3.3)式により計算できる。

その値をそれぞれ θ_1 、 θ_2 とすると

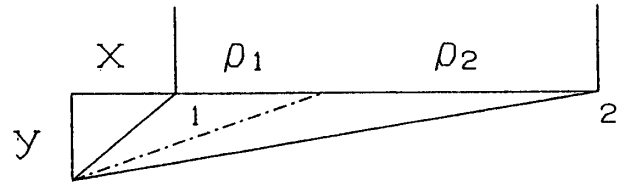


Fig. 2 Relation to camera of two edges

$$w = \sqrt{x^2 + y^2} * \sin(\theta_1 + \theta_2) / \sin\{\alpha - (\theta_1 + \theta_2)\} \quad (3.4)$$

となる。

4. 実験結果

実験には画像処理装置PIAS LA500(512×480)および市販のビデオカメラ(手動焦点、焦点固定)を利用した。カメラ画像およびエッジ検出はFig. 3のようになる。いずれの実験においてもキャリブレーションは各回行っ



Fig. 3 Sampled Picture and Edges

た. 3種の方法でほぼ同様の結果が得られた場合のみを示している.

Table 1. Results W=21.75(m)

	x (m)	y (m)	Dv	ρ_1	ρ_2	W(m)
1	7.95	7.30	855	231	-206	21.84
2	8.13	7.92	841	247	-197	22.21
3	7.71	6.97	873	220	-223	21.01

実験1. ではかなり良い結果が得られているが, これは各種誤差が打ち消し合う働きをしたものと考えられる. ここでは画像処理に汎用の画像処理装置を用いているが市販のビデオカメラ画像のサンプリングの際若干のずれは有り得ると思わなければならない.

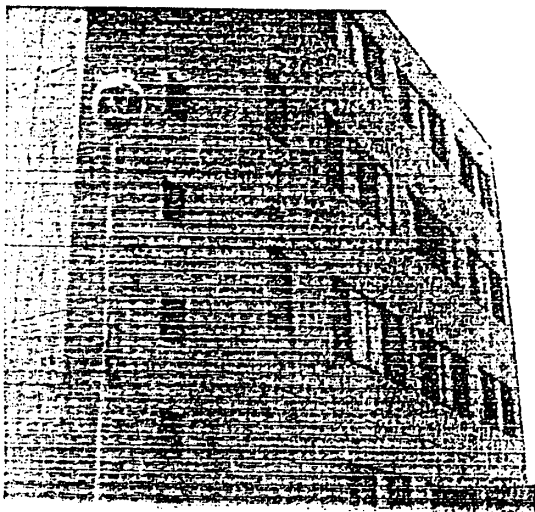


Fig. 4 Camera directed upward

すなわち, キャリブレーションにおいて読みとった座標値を0.5ドット 変える (この程度のずれは有り得る) だけで, 実験3. ではDvの値が5程度変化し, それにより幅検出値が0.3m(約1.5%)程度影響を受けている.

さらに, 幅検出に必要なエッジは画面の両端近くになり, 歪の影響も受けるものと考えられる. 実験1, 2, 3. では, キャリブレーションの際画像の中心部のデータよりDvの値を求めており, このことによる誤差が含まれていると考えられる.

カメラが水平面に対して傾いている (上方や下方に向いている) 場合にもこの方法は適用できる. すなわち,

$$\theta_{c1} = \tan^{-1} \{ \rho_1 / \sqrt{(c_{\beta} D_v)^2 - (s_{\beta} \rho_1)^2} \} \quad (3.5)$$

となる. ここで, ρ はハフ変換により得られる.

実際, そのような例として実験4. を行った. このとき

$\beta = 20^\circ$ (上向き) であった. このとき, キャリブレーションの結果, 画面中心部のデータではDv=853, 画面周辺部のデータではDv=845となった. また, $\alpha = 44.27^\circ$, $x = 8.29(m)$, $y = 8.08(m)$ であった.

画像処理して, ハフ変換の結果, 建造物両端のエッジは

θ (rad)	ρ
0.119	224.2
-0.0643	-188.1

となり,

Dv=853 (中心部) の場合

$$\theta_{c1} = 15.69^\circ$$

$$\theta_{c2} = -13.26^\circ$$

Dv=845 (周辺部) の場合

$$\theta_{c1} = 15.83^\circ$$

$$\theta_{c2} = -13.37^\circ$$

となり, (3.5) のように ρ のみによれば, それぞれ

中心部のDvに対して $W = 21.2(m)$ となり,

周辺部のDvに対して $W = 21.71(m)$ となった.

前記のようにこのような大きい建造物の両端のエッジは画像の周辺部になることが多く, そのような場合は周辺部Dvを使用して計算する方が誤差の少ない結果を得ることができることを示している.

このハフ変換では最小自乗法を併用しているので θ についても小さい値まで計算できるので, θ の値を利用してもある程度の精度で計算できる.

$$\theta_{c1} = \tan^{-1} (\theta_1 / s_{\beta})$$

となるので,

$$\theta_{c1} = 19.18 (^{\circ})$$

$$\theta_{c2} = -10.60 (^{\circ})$$

$W=23.0$ (m) となる.

この場合、縦横比 (アスペクト比) が若干異なることも考慮すればさらに良い結果を得ることができる。縦横比(2%)を考慮すれば

$$\theta_{c1} = 18.82 (^{\circ})$$

$$\theta_{c2} = -10.44 (^{\circ})$$

となり、

$$W=21.84$$
 (m)

となる。このように補助的にハフ変換の θ を用いることも考えることもできる。

しかし、 ρ のみによって計算する方が ρ の絶対値が大きい値 (周辺部) が得られるので一般的には良い結果を得ることができる。この場合 ρ のみによる場合は θ のみによる場合の誤差の約半分になっている。

いずれの場合もハフ変換では最小自乗法を併用しているので、エッジを構成する点 (ドット) の数に精度は左右されるが一般的には最小自乗法により ρ のみの場合も θ のみの場合も精度は向上する。

ここでは、エッジを抽出するのに手操作での線引きを用いて行った。自動的に画像処理を行ってエッジ抽出することができるのが望ましいが、戸外では天候など周囲条件が変化するので容易ではない。必要なエッジのみを自動的に抽出することは今後の課題として残されている。

またここではデスクトップタイプのパソコンを利用した画像処理装置を用いて画像処理を行ったが、ハンディなノートパソコンに画像処理ボードを取り付けて、いくつかのソフトを用意すればこのような画像処理を行うことも可能である。

以上、カメラ視線が水平の場合 (実験 1, 2, 3.) も水平面に対して傾いていても (実験 4.)、垂直なエッジを持つ建造物の幅をカメラ画像 (画像内では垂直とは限らない) よりエッジを検出しハフ変換を用いることにより計算できることを示した。 ρ のみによる場合は幅約22mの建造物に対し、キャリブレーションの際のデジタル化が上手くゆき、周辺部画像にたいして周辺部Dvを使えば小さい誤差内 (0.3%) で幅の検出ができた。

ただし、この場合建造物までの距離が予めわかっているか、またはその距離をかなりの精度で測定しなければならない。そこで複数点のサンプルが可能ならば建造物までの距離の測定は部分的にでも不要となるはずである。

また複数個の結果の平均値を用いることにより精度を向上させることなども考えられる。

今後はこのような複数サンプル点の場合の諸課題について実験を続行するつもりである。

なお、データを採取するにあたって、平成7年度卒業研究の学生の皆さんより多大の協力を頂いたことに謝意を表します。

参考文献

1. R. O. Duda & P. E. Hart: Using Hough Transform to detect Lines and Curves in Pictures, *Comm. Ass. Comp. Math.*, 15, (1972)
2. 井口ほか: 三次元画像計測, 昭晃堂
3. 松井ほか: 巨大建造物の幅の検出, 第4回計自学会中国支部学術講演会論文集, 平7
4. 松井ほか: 垂直エッジを利用した簡単な形状の対象物の位置, 寸法の検出, 第12回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 平6

(平成8年9月24日受理)