Hough変換の量子化誤差評価に基づく線分抽出法についての一考察

3L－6

月瀬　寛二　滋賀県工業技術センター
藤原　良一　龍谷大学理工学部
壷井　芳昭　龍谷大学理工学部

1．はじめに

ロボットによるハンドアイ実現のためには、画像から部品の輪郭線を抽出し、形状や向きの情報を得なければならない。ところが、実画像ではノイズの影響やHough変換の量子化誤差[1]などから、姿勢を認識するための十分な精度を持った輪郭線が得にくいのが現状である。そこで、Hough変換の量子化誤差を評価し、高精度にまた重複無く線分を抽出する手法を提案する。

2．Hough変換による線分抽出の問題点

Hough変換によりエッジ画像から線分抽出を行う際の問題点は、Hough平面で交点を表す極大値を得るためにHough曲線を全て探索することの難しさと、Hough平面の量子化によるHough曲線の交点探索の困難さである。

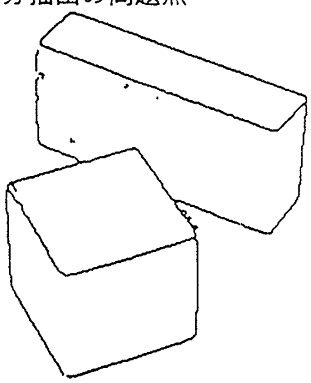


図１　エッジ画像の例

3．Hough平面の量子化による問題

3-1 Hough曲線の振幅のばらつきと量子化サイズ

Hough変換は、画像内の各画素(x,y)を式(1)で定義されるパラメータρ,θに変換し、ρ-θ平面の極大値のρ,θから直線を検出する手法である。

$$\rho = x\cos\theta + y\sin\theta = \sqrt{x^2+y^2}\,\sin(\theta+\alpha) \quad (1)$$

対象画像のXY平面の原点近くと遠くの画素で、Hough曲線の振幅が大きく異なる。従って、遠方の点のHough曲線が飛びがなく連続して描くために$\Delta\theta$を細かくする必要があるのに対し、近くの点では$\Delta\rho$を細かくしないと複数のθの値に対してρが同一の値を取る。

θを$\Delta\theta$づつ変化させてρを描くとき、ρの変化分$\Delta\rho$は、

$$\Delta\rho_\theta = \sqrt{x^2+y^2}\,\cos(\theta+\alpha)\Delta\theta \quad (2)$$

であるから、ρ軸の量子化を$\Delta\rho$、θ軸を$\Delta\theta$とすると、θを$\Delta\theta$刻みでHough曲線を描いたとき飛びがなく連続して描けるためには、

$$\Delta\theta \leqq \frac{\Delta\rho}{\sqrt{x^2+y^2}} \quad (3)$$

を満たす必要がある。

例えば、画像サイズが512×512の時、$\Delta\rho=1$とするとHough曲線が連続するために$\Delta\theta=0.079°$にする必要があり、$0 \leqq \theta < 180°$でプロットするので、θ軸を2270分割しなければならない。また、ρ軸は、$-511 < \rho \leqq 511\sqrt{2}$の値を取るので1234分割する必要がある。つまり、2byteでρ-θ配列を定義すると、5.6Mbyteの記憶容量が必要となる。

$\Delta\theta=1°$として演算する場合、XY平面で原点から離れた点についてはHough曲線が不連続となり、式(2)より、θ_iのときのρとθ_{i+1}のときのρで最大13の飛びが生じる。

3-2 Hough曲線の交点における量子化の影響

線分の両端点の画素(x_1,y_1)と(x_2,y_2)について考える。式(2)より、Hough曲線の交点付近で$\Delta(\rho_1-\rho_2)$は、

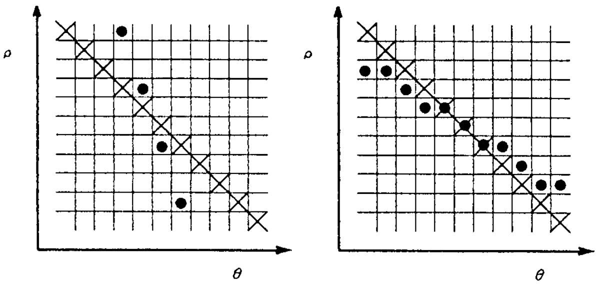
$$\Delta(\rho_1-\rho_2) = L\cos(\theta+\beta)\Delta\theta \fallingdotseq L\Delta\theta \quad (4)$$

ただし、Lは線分の長さとする。両端点のHough曲線が、量子化されたρ-θ平面で交わるためには、

$$\Delta(\rho_1-\rho_2) \fallingdotseq L\Delta\theta \leqq \Delta\rho \quad (5)$$

式(5)は、線分長が$\frac{\Delta\rho}{\Delta\theta}$以下であれば必ず交点$(\rho_0,\theta_0)$にボーティングされるが、これより長い線分では交点にボーティングされないことがある

Line Segment Detection by Estimating Quantization Error of Hough Transform
Kanji TSUKISE, Industrial Research Center of Shiga Pref.
Ryoichi FUJIWARA and Yoshiaki TSUBOI, Ryukoku Univ.



(a)　　　　　　　　(b)

図 2 Hough 曲線の交点

ことを意味する。また逆に、Lが短いと複数のθの値で$\rho_1 - \rho_2 = 0$となることがあり、ボーティングの極大値が二つ以上のθで現れる。

以上から、問題点は次の２点である。

①L $> \dfrac{\Delta\rho}{\Delta\theta}$ の長い線分では、交点にボーティングされないことがある。（図２(a)）

②L $\leqq \dfrac{\Delta\rho}{\Delta\theta}$ の短い線分では、複数のθに渡りボーティングの極大値が現れる。（図２(b)）

４.量子化誤差評価に基づく線分抽出法

4-1 交点にボーティングされない問題の解決法

線分の構成要素のうち$\Delta\rho/\Delta\theta$以上離れた点は交点にボーティングされないことがあるが、これ以下の点は同一点にボーティングされるので、ボーティングの極大値≧($\Delta\rho/\Delta\theta$)となる(ρ_0, θ_0)のところで$\Delta\theta$を細分して、この区間だけθの精度の高い Hough 曲線を描けば、交点が高精度に抽出できる。

4-2 複数のθに渡りボーティングの最大値が現れる問題の解決法

極大値を取るのはθの連続する区間であるから、このθの平均値を取る。式(3)から、線分の XY 平面上の位置により二種類の Hough 曲線がある。

①線分の構成点が全て次の条件を満たす場合、

$$\sqrt{x^2+y^2} \leqq \frac{\Delta\rho}{\Delta\theta} \tag{6}$$

図２(b)の様に、極大値を取るρ, θは Hough 平面上で隣接しており、極大値探索が容易である。

②線分の構成点が

$$\sqrt{x^2+y^2} > \frac{\Delta\rho}{\Delta\theta} \tag{7}$$

の場合、 Hough 曲線には飛びが生じ、極端なケースでは図３のように同じ極大値をとる点が不連続に続く。従って単に極大値を探索した場合には、単一の交点であるべき点が、複数の極大値として検出される。

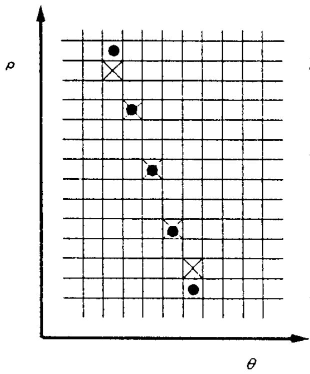


図３　交点の飛び

そこで、 Hough 平面上の極大値ではなく、最大値を取る最長の線分だけを考えることにする。最大値が複数ある場合には、そのθは連続しているので平均を求め最長線分のθ_i, ρ_iを決める。この時、長い線分におけるボーティングのズレ等を考慮し、

$$max \sum_{k=i-1}^{i+1} f(\theta_i, \rho_k) \tag{8}$$

となるθ_i, ρ_iを最大点として選択する。

次に、この線分を構成する画素(x_p, y_q)を求め、これらの画素に対応する Hough 曲線を Hough 平面から除去[(2)]し、その後次に長い線分を前回と同様にして抽出する。これを繰り返せば長い線分から、重複なく高精度に直線を抽出できる。

５.おわりに

本報告では、ρ-θ平面の量子化誤差と量子化された Hough 曲線および Hough 曲線の交点の関係を明確にした。その結果、$\Delta\theta$の精度が不足した場合には自動的に必要な区間だけθの精度を上げてρ, θを決められることを定量的に示した。提案したアルゴリズムにより、全ての線分が長いものから重複なく、また$\Delta\theta$を粗く設定しても線分を高精度に抽出できる。

参考文献

(1)森本正志,尺長健,赤松茂,末永康仁:"可変フィルタによるハフ変換の高精度化",信学論(D),J75−D2,No.9,pp1548-1556(1992).

(2)大和淳二,稲葉稔智,石井郁夫,牧野秀夫:"Hough 変換を用いた線分検出の高精度化",信学論(D),J72−D2,No.1,pp85-92(1989).