

2D-5 点の疎密性を考慮した逐次的Hough変換

阿部圭一 陳 風

静岡大学工学部

1 はじめに

Hough変換は画像上の直線分を抽出する方法として多用されている。しかし、応用によってはHough変換には欠点がある。すなわち、画像上に長短、傾きのさまざまな直線が同時に存在するときは、それらを正確に検出することが難しい。この点に関する考察と対策が松山ら[1]や西川ら[2]によって考察されているが、本報告では、もっと直観的な解決策を提案する。

ここでは、点の集合からなる画像を考察の対象とし、デジタル画像中の値が1である画素を「黒点」、値0の画素を「白点」と呼ぶ。

本報告では、画像の各画素をその連続性を反映させた順序に従って走査することが可能であると仮定し、黒点の間の疎密性を考慮した逐次的なHough変換法を提案する。

実験で、多数の直線上に乗っている黒点を含む画像にこの方法を適用して、良好な結果を得ることができた。

2 Hough変換とその欠点

Hough変換の式は、次のように表される。

$$\rho = x_i \cdot \cos \theta + y_i \cdot \sin \theta \quad (1)$$

ここで、 ρ は原点から直線に下した垂線の長さ(符号つき)で、 θ はその垂線とx軸との角度である。画像空間上の点 (x_i, y_i) をHough変換するときには、 θ をあるきざみで0から π まで増やして、各 θ の値にたいして上式で計算した ρ の値を得るごとに、Hough空間の配列のセルの値、 $h(\rho, \theta)$ に1を加えていく。この操作で、黒点をHough空間に写像して、一本のHough曲線を描く。

画像中のすべての黒点に上述の操作を施した後に、Hough空間の各 $h(\rho, \theta)$ から、しきい値を越えたものだけを取り出し、その ρ, θ 値により画像空間の直線を抽出する。

しかし、応用によっては、Hough変換には次の欠点がある。

(1) 図1に示すように、同一の黒点数が乗っている3本の直線A, B, Cがある場合、それらの黒点が密に存在しても(直線A)、疎らに散らばっていても(直線B, C)、同じように直線が抽出される。しかし、明らかにAは抽出すべきであるが、B, Cは不要な偽の直線である。

(2) 直線は検出できるが、両端の限られた直線分的位置(始・終点)、あるいは長さは分からない。したがって、例えば、同一直線上にある二つの直線分を区別して検出することができない。

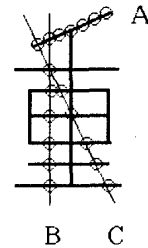


図1 Hough変換の欠点

3 点の疎密性を考慮したHough変換アルゴリズム

3.1 方針

2で述べたHough変換の問題点を解決するために次のように考察した。

画像中の各画素をその連続性を考慮した順序で走査することができると仮定する。各画素をその順に走査し、画素が黒点であれば、Hough空間内の対応するHough曲線上の各セルの値 $h(\rho, \theta)$ に整数 c ($c > 1$)を加え、それ以外の $h(\rho, \theta)$ からは1を引く。ただし、 $h(\rho, \theta)$ が0ならば、それ以上減少されない。

このようにすれば、平均して c 画素以内ごとに黒点のある直線にたいしては $h(\rho, \theta)$ はしだいに増加するが、それ以上に疎らに黒点の存在する直線にたいしては $h(\rho, \theta)$ は増えないか減少するであろう。したがって、適当なしきい値 T を設定して、 $h(\rho, \theta)$ が T を越えれば、その時点で直線を検出するならば、黒点がある程度密に存在する、ある長さ以上の直線(図1の直線A)だけを抽出することができるであろう。

しかし、この方法では、一つの黒点をHough変換するたびにHough空間中の全ての値 $h(\rho, \theta)$ を変更しなければならず、時間がかかる。そこで、Hough空間の全体を変更するかわりに、Hough曲線の通過する $h(\rho, \theta)$ だけに注目して、 $h(\rho, \theta)$ を増加させるときに、それ以前の減少分を同時に処理する。

3.2 アルゴリズム

そこで、Hough空間と同じ大きさのもう一つの配列 $t(\rho, \theta)$ を用意する。そこには最後に $h(\rho, \theta)$ が増加された時点 t_{i-1} が置かれる。

現時点 t_i における黒点 i をHough変換するとき、Hough曲線の通過する $h(\rho, \theta)$ を処理する前に、その時点と最後に $h(\rho, \theta)$ の値が変更された時点 t_{i-1} との差 j を次の式で計算する。

$$j = t_i - t_{i-1} - 1 \quad (j \geq 0) \quad (2)$$

そして、次式の黒点の疎密性の判定条件を設定する。

$$j \leq d \quad \text{and} \quad j < h(\rho, \theta) \quad (3)$$

第一の条件 $j \leq d$ ($d \geq c$: 整数) は、黒点 i と黒点 $i-1$ との間に d 個以上白点を挟むならば、それらは別々の直線分と見なすという条件で、第二の条件 $j < h(\rho, \theta)$ は、 $h(\rho, \theta)$ が負にならないという条件である。

判定条件 (3) を満たすならば、二つの黒点は連続していると判断して、

$$h(\rho, \theta) = h(\rho, \theta) - j + c \quad (4)$$

とし、そうでないならば、直線はそこで切れていて、

$$h(\rho, \theta) = c \quad (5)$$

とする。どちらの場合も、 $t(\rho, \theta)$ には新しい時点の値 t_i を設定する。

3.3 直線分の検出

直線分の検出処理は、二つの段階で行われる。

第一段階では、途中で直線分を検出する。複雑な画像では、同じまたは似た ρ, θ を持ち、画像上の位置が異なっている多数の直線分があるのが普通である。これらをそれぞれ独立に抽出するために途中での検出を行う。

3.2のアルゴリズムにおいて、判定条件 (3) を満たさないならば、式 (5) で c を $h(\rho, \theta)$ に設定する前に、この $h(\rho, \theta)$ を次の検出条件に適用して、この条件をともに満たす直線分だけを検出する。

[i] $h(\rho, \theta)$ がしきい値 T より大きい。

[ii] $h(\rho, \theta)$ に図2の平滑化フィルタをかけて得た値は、その 5×5 近傍内の全てのセルの値に同じフィルタをかけて得たどの値よりも大きい。

平滑化フィルタをかけて局所極大値だけを採るのは、比較的長い直線分が、近接した (ρ, θ) の値をもつ二つ以上の直線分として多重に抽出されるのを抑えるためである。

すべての黒点の Hough 変換を終了した後、最後まで判定条件 (3) を満たしてきた直線分を検出すべきものとして残っている。そこで、第二段階として、この時点で上と同じ2条件を適用して、直線分を検出する。

なお、 $h(\rho, \theta)$ 、 $t(\rho, \theta)$ のほかに、直線分上の黒点の個数を記録する配列 $m(\rho, \theta)$ を用いることにより、直線分の始・終点を求めることができ、長短、傾きさまさま多数の直線をそれぞれに正しく抽出することができる。

0.6	0.6	0.6
0.6	1	0.6
0.6	0.6	0.6

図2 平滑化フィルタ

4 水平・垂直走査法

点の連続性を反映した走査法として、 x 軸 (水平) と 45° から 135° までの角度をなす直線にたいしては水平ラスタ走査を用い、それ以外の角度の直線にたいして

ては垂直ラスタ走査を用いる方法を提案する。そして、1本の走査線の走査全体を一つの「時点」と見なす。したがって、3.2で述べた時点 t_i は水平ラスタ走査のときは行番号であり、垂直ラスタ走査では列番号である。

点の連続性を反映した走査法としては、例えば、境界点については境界追跡も考えられるが、本報告では省略する。

5 実験

文献 [1] で用いられたテスト画像 (サイズ 128×128) にたいし、提案した方法で直線群検出の実験を行った。Hough空間の ρ, θ 軸はそれぞれ長さ $1, 1^\circ$ で分割した。テスト画像を水平・垂直ラスタ走査法で走査した。パラメータ $c=3, d=4$, しきい値 $T=50$ としたときの結果を図3に示す。実行時間は普通の Hough 変換の約 1.6 倍であった。

図に示すように、抽出した 19本の直線分は、人間の目で判断した結果によく一致しており、誤抽出はなかった。文献 [1] の結果では、19本のうち1本は抽出できず、誤抽出した直線も2本あった。

パラメータ c, d を $2 \leq c \leq 4, 3 \leq d \leq 5$ の範囲で変えて得た結果は、誤抽出がたかだか1本、抽出できなかった直線分は最大3本であった。したがって、提案した方法はある程度の頑健性を持つと言える。

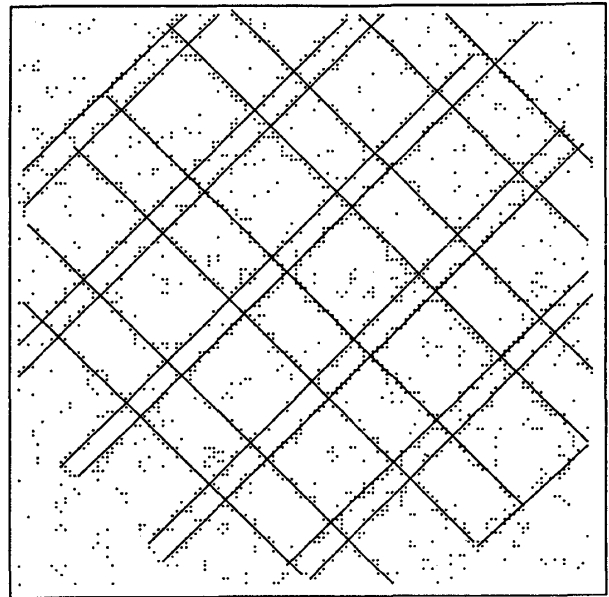


図3 テスト画像と本方法による直線分検出結果

6 むすび

本報告では、点の疎密性を考慮した Hough 変換を提案した。実験によって、この方法は直線分検出の性能を向上できることを示した。

今後の課題としては、本報告で提案した方法を線図形における幅のある直線分の検出に適用することがある。

文献

[1] 松山, 長尾: Hough変換の幾何学的性質と直線群検出への応用, 情報処理学会論文誌, Vol. 26, No. 6, pp. 1069-1078 (1985)

[2] 西川, 佐藤: Hough変換による漢字の構造解析, 電子情報通信学会研究報告, MBE89-108, pp. 81-86 (1990)