曲線方程式あてはめ法による２値画像の線分と円弧の認識

8C−5

水戸三千秋
（西日本工業大学）

１．まえがき

我われは、地図や図面の線情報の自動入力のために、２値画像の自動ベクトル化の研究を行っている。

２値画像からの線分要素および円弧要素の抽出のための効率の良い方法については、既に報告した。これらの方法は、２値画像を分岐の無い連結点集合（単純セグメント）に分離し、単純セグメントごとに点座標の４次までのモーメントを計算し、直線あるいは円の方程式をあてはめることによって線分と円弧を認識しようとする方法である。[1) 2) 3) 4)]

今回は、これらの方法を統合化するとともに、セグメントごとに抽出された線分要素と円弧要素を分岐や交差や屈曲の無い範囲で接続して、一個の線分や円弧とする方法について述べている。

２．２値線画像の単純セグメントへの分離

線画像はイメージスキャナなどにより２値化され離散点となっているとする。抽出対象の線情報は、一般に長い曲線であったり、また、分岐や交差している部分もある。そこで、これらの画像点を、線分あるいは円弧の候補となるべき単連結な点集合に分離する必要がある。

次のような要件をもつ連結点集合を単純セグメントとよぶことにする。

(1) ８連結な点集合とする。
(2) 交差や分岐がない。
(3) 線幅が大きく変化しない。（例．２倍以内）
(4) 線の曲がりが小さい。　（例．45° 以内）

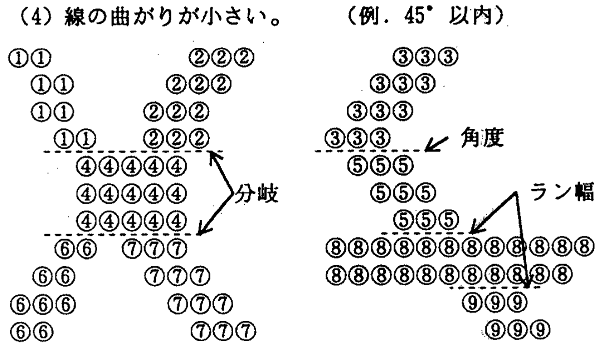

図１．単純セグメント分離ラベリング

Recognition of Line Elements and Circular Arcs from a Binary Image by Curve Fitting Method
Michiaki MITO
Nishinippon Institute of Technology

具体的な手順としては、分析対象の画像を上端より水平走査することによって、水平方向のラン（水平方向連続点集合）を抽出し、一つ上のラインの既にセグメント番号付けの終わったラン群との接続関係によりラベリングを行う。

３．単純セグメントの線分近似

単純セグメントＳを構成する点集合 $\{p_i \mid i=1, n\}$ を直線近似する方法については既に報告している[1) 2)]。

各点 p_i からの垂線の２乗和を最小とする直線は、主成分分析法における主成分軸として求められる。

主成分軸は、$\{p_i\}$ の重心 p_G を通り、その方向余弦は、$\{p_i\}$ の分散共分散行列 V の第１固有ベクトル e_1 である。

点座標のモーメントを $s_{jk} = \sum_i^n x_i{}^j y_i{}^k$ とおくと …(1)

$$点数 n = s_{00},\ p_G = \frac{1}{n}\ [s_{10}\ \ s_{01}]^t \quad \cdots\cdots(2)$$

$$V = \frac{1}{n} \sum_i^n \{ (p_i - p_G)(p_i - p_G)^t \} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$= \frac{1}{n} \begin{pmatrix} s_{20} - n s_{10}{}^2 & s_{11} - n s_{10} s_{01} \\ s_{11} - n s_{10} s_{01} & s_{02} - n s_{01}{}^2 \end{pmatrix} \quad \cdots(4)$$

固有方程式は２次であるので容易に解くことができる。
その結果の第一固有値 λ_1 は各点 p_i の主成分軸への正射影の分散を表し、第２固有値 λ_2 はこれと直交する方向成分の分散を表す。

線分要素の２値化画像を想定して、長辺 w_1，短辺 w_2 の長方形状の連結点集合に主成分分析を適用した結果について考えると、第1固有値 λ_1 は長辺方向の分散、第２固有値 λ_2 は短辺方向の分散であり、次式を得る。

$$w_1 = \sqrt{12\lambda_1},\quad w_2 = \sqrt{12\lambda_2} \quad \cdots\cdots(5)$$

一般の形状の単純セグメントを主成分分析したとき、次式で定義される指標 α, β を考える。

$$\alpha = \frac{n}{12\sqrt{\lambda_1 \cdot \lambda_2}}\ ,\quad \beta = \frac{w_2}{w_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad \cdots\cdots(6)$$

同一点数ｎをもつセグメントでは、分散が小であるほど α は大となる。長方形状のとき $\alpha = 1$ で、楕円形状のとき最大で $\alpha = \pi/3 = 1.047\cdots$ となる。α を密度とよぶ。分析実験によると、$\alpha > 0.8$ では良好な直線分要素といえる。
また、β は点集合の縦横比の指標と見なせる。

4．単純セグメントの円弧近似

単純セグメント$S=\{p_i\}$に対して円の方程式をあてはめる方法についても既に報告しているが[3)4)]、この結果は、求める円の中心を（x_0, y_0），半径をr，

$w=[x_0\quad y_0\quad r^2-x_0{}^2-y_0{}^2]^t$　とおいて　……(7)

点座標のモーメントにより

$$S=\begin{bmatrix}4s_{20} & 4s_{11} & s_{10}\\ 4s_{11} & s_{02} & 2s_{01}\\ 2s_{10} & 2s_{01} & s_{00}\end{bmatrix},\quad b=\begin{bmatrix}2s_{30}+2s_{12}\\ 2s_{03}+2s_{21}\\ s_{20}+s_{02}\end{bmatrix}\qquad \begin{matrix}(8)\\(9)\end{matrix}$$

$$c=s_{40}+2s_{22}+s_{04}\qquad\cdots\cdots(10)$$

誤差関数をΔを次式とするとき

$$\Delta=w^t S w-2b^t w+c\qquad\cdots\cdots(11)$$

Δを最小とするwは次のように求められる。

$$w=S^{-1}b\qquad\cdots\cdots(12)$$

残差誤差は

$$\Delta\mathrm{min}=c-b^t S^{-1}b\qquad\cdots\cdots(13)$$

これで、円弧の中心と半径が推定できる。しかしながら弧角θや線幅dは得られない。

図２に示すように、原点を中心としx軸対象に配置された円弧状連結点集合については、次の関係式が得られる。

$$s_{00}=4r\,d\theta\qquad\cdots\cdots(14)$$

$$\frac{\sin(2\theta)}{2\theta}=\frac{s_{20}-s_{02}}{s_{20}+s_{02}}\qquad\cdots\cdots(15)$$

Newton法によりθが求まり、(14)式より線幅dが求まる。

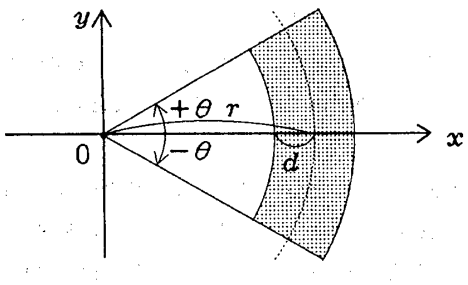

図２．円弧状連結点集合

5．認識手順

線分および円弧の認識手順は、概略次のようになる。

(1) ２値化画像を上端から水平走査することによって、ランを抽出し、１ライン上のラベリング済みのランとの接続関係を調べることによって、単純セグメントに分離する。具体的には下記の表を用意し、ランが既存の単純セグメントに属するとみなされるとき、そのランのモーメントをセグメントテーブルに累積してゆき、別のセグメントとみなされるとき、新しいセグメント番号の行を追加して、接続テーブルに接続情報を登録する。

(2) セグメントごとに、線分近似→円弧近似を行って、線分要素か円弧要素かあるいはいずれでもないかを判定する。

(3) 接続テーブルからセグメントの隣接行列を構成する。これを利用して、単純接続（分岐の無い１：１接続）している２つのセグメントを合成してみて、線分近似や円弧近似を行い、近似度が良好なら合成する。セグメントの合成は、それぞれのモーメントを加算するだけでよい。

セグメントテーブル

ｾｸﾞﾒﾝﾄ	n	s_{10}	s_{01}	・・	$s_{40}+2s_{22}+s_{04}$
1	8	68	12	・・	・
2	12	・	・	・・	・

接続テーブル

上ｾｸﾞﾒﾝﾄ	下ｾｸﾞﾒﾝﾄ	連結部分		
1	4	y_1	x_{1S}	x_{2E}
2	4	y_2	x_{2S}	x_{4E}
3	5	・	・	・

6．まとめ

本方法は、画像を単純セグメントに分割し、セグメントごとに線分と円弧を要素図形として抽出し、これを合成していくことによって線図形を認識しようとする方法である。要素図形のパラメータは、点座標のモーメントから簡単な式によって求められるため、ハフ変換法と比較すると高速かつ高精度である。また、接続情報や線幅が得られる点も有利である。

単純セグメントの分離基準には検討を要するが、必要以上に細かく分離されたセグメントを合成するのは、モーメントの加法性から容易である。合成すべきセグメントの選択方法についても検討の余地がある。

現在、いろいろな線画像について認識実験を行って、これらの手法の検討を行っている。

線分や円弧から構成されるより高次の図形の認識は、構文的手法により行うことを検討中である。

7．参考文献

1) 水戸，小田：“主成分分析を応用した地図画像の線情報の抽出について”，西日本工業大学紀要 理工学編 第18巻 (1988)

2) 水戸，小田：“区分化主成分近似による２値画像からの線分の自動抽出”，第３回情報処理学会九州支部研究会 (1989)

3) 水戸，小井手，久保：“曲線方程式あてはめ法による円弧の認識について”，情報処理学会第４０回全国大会 No.5E-6 (1990)

4) 水戸，小井手，久保：“２値化線画像からの円弧の認識”，西日本工業大学紀要理工学編第20巻(1990)