

A 5 図面の自動読取りのための一方法

出沢正徳 (理化学研究所)

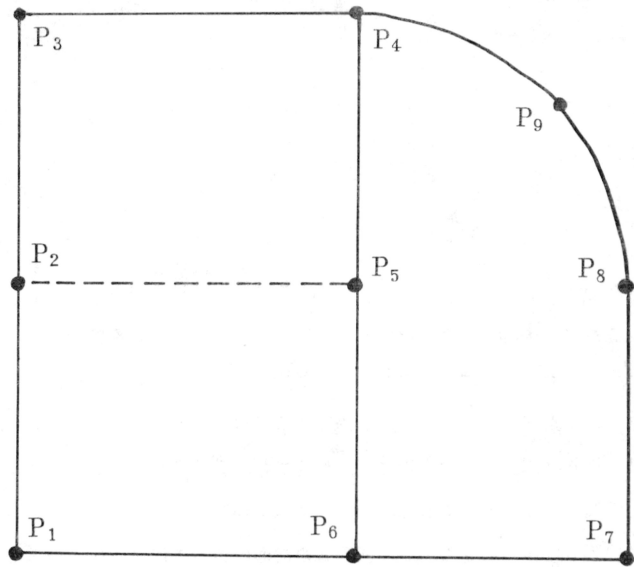
1. まえがき

近年、自動設計を中心にしたいろいろな分野において、電子計算機を利用して図形の処理を行なったり、図形、形状に関連した種々の計算、処理を行なう必要性が増大し、図形情報を如何にして入力するかが大きな問題となっている。人間が定められた形式のデータを作成し入力するのは大変な労力を要し、また誤りを避けることはほとんど不可能である。特に技術情報は図面として表現され、伝達され、蓄積されることが多いので、これらの図形情報を機械によって読み取り、記憶し、必要に応じて適当な情報形式に変換し、出力するためのシステムの開発が工業上切実なる要求となっている。このような観点に立ち、三面図形式の図面によって代表される線図形を機械によって読み取り、図形の構造を計算機内部に自動的に構成させるシステムを実現するために、同心円状走査を応用した線図形の読み取り法を考案したので報告する。なお対象とする図面としては、現在のJISによる製図ではなく、将来考えられるであろう機械にとっても扱い易い図面(たとえば線を色分けした図面)を念頭においている。またここで言う図面の自動読み取りとは、図面が与えられた時、それに対応した表2・1に示すようなリストを機械によって自動的に構成させることであり、ここでは図形の構造の構成を主とし、幾何学的な形状を規定する特徴点の座標値は読み取り装置上における値とし、正確な値は図形の構造が構成された後に、寸法その他の補助情報によって図形を拘束して与える方法を考えている。

2. 線図形の特徴抽出法

2・1 線図形の表現形式¹⁾

図面を機械によって読み取る際の方式が簡単になること、立体図形化、図形処理、他のデータ構造への変換が容易に行なえること、記憶容量が少なくすむこと等を念頭におき、線図形を特徴点(交点、接続点、折点、その他図形上の特殊な点)とそれらの接続関係およびそれらがのっている線分とによって表現することにした。図形に曲線が含まれている場合には曲線が一義的に定まるよう、曲線上にいくつかの点を設け、これらも前述の特徴点に含める。これらを特に区別したいときには副特徴点と呼ぶ。各特徴点には番号を付けその座標値を与える。線分は特徴点の接続関係と線の性質を示して表現する。各特徴点には隣り合って接続されている特徴点の番号と接続している線の種類、性質を示す。また3個以上の点が同一性質の連続した線上にある場合にはこれを線として登録し、特徴点には自分が属している線の番号を示し、線にはその上のにっている特徴点の番号の列と線の性質とを示して表わす。通常図面に使用される線のほとんどは直線か2次曲線(円弧、楕円弧等)の組み合わせであるので線の性質としては直線と2次曲線を主とし、これらにあてはまらない曲線は曲線上に多くの副特徴点を設け、これらの列と内捜法を与えて表現する。以上の方式で図2・1に示した線図形を表現すると表2・1のようになる。



$\{ P_1, P_2, \dots, P_8 \}$ 特徴点 } 特徴点
 $\{ P_9 \}$ } 副特徴点

図 2・1 線図形の特徴点

表 2・1 線図形の表現形式

	特 徴 点	接続関係*	所属する線
	P_{XY}	I_{CXY}	I_{GXY}
1	(x_1, y_1)	2, 6	1, 3
2	(x_2, y_2)	1, 3, 5 [×]	1
3	(x_3, y_3)	2, 4	1
4	(x_4, y_4)	3, 5, 9 [°]	2, 4
5	(x_5, y_5)	2, 4, 6 [×]	2
6	(x_6, y_6)	1, 5, 7	2, 3
7	(x_7, y_7)	6, 8	3
8	(x_8, y_8)	7, 9 [°]	4
9	(x_9, y_9)	4, 8 [°]	4

線		
L_{XY}		
	線上の点	線の性質**
1	1, 2, 3	1
2	4, 5, 6	1
3	1, 6, 7	1
4	4, 9, 8	2

* { \circ 円弧
 \times 隠線

** { 1 直線
 2 円弧

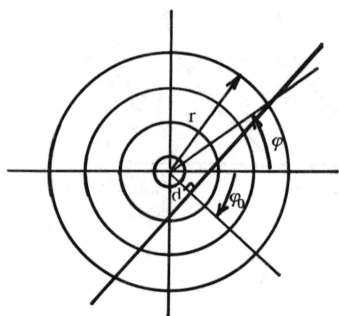
2・2 線図形の特徴抽出²⁾

線図形を機械によって読み取る場合、図形を点の集りとして認識するのではなく、連続した線として認識する必要がある。このため円走査による特徴抽出法（同心円状に収集された情報を利用する方法）を考案し、検討する。まず円走査における半径方向に対する角度変化のパターンについて考察し、つぎにこの性質を利用した線図形の特徴抽出法を考案し検討する。

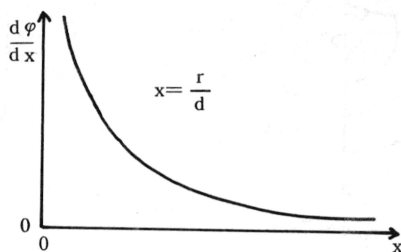
2・2・1 半径方向に対する角度変化のパターン

A. 直線の場合

直線が完全に円走査の中心を通っている場合には、走査半径に対する角度は一定となり、半径方向に対する角度変化はない。図2・2(a)に示すように円走査の中心からdだけ離れた直線について考えると、半径rに対する角度は



(a) 直線パターン



(b) 角度の変化率

図2・2 角度の変化（直線）

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + \cos^{-1} (1/x) \\ \text{ただし } x &= r/d \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2 \cdot 1)$$

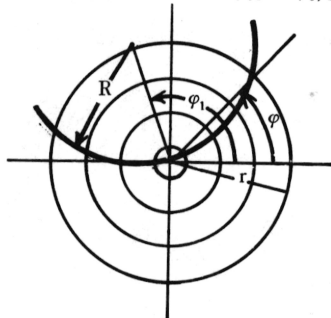
で与えられる。また半径方向に対する角度の変化率は

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{1}{x\sqrt{x^2-1}} \dots\dots\dots (2 \cdot 2)$$

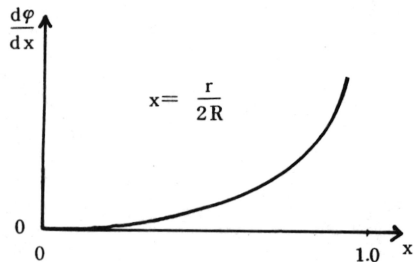
で与えられ、図2・2(b)のようになる。

B. 円弧の場合

まず図2・3(a)に示すように円弧が円走査の中心を通っている場合を考えると、半径rに対する角度は



(a) 円弧パターン A



(b) 角度の変化率

図2・3 角度の変化（円弧 A）

$$\varphi_1 = \varphi_0 - \text{COS}^{-1} x \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 3)$$

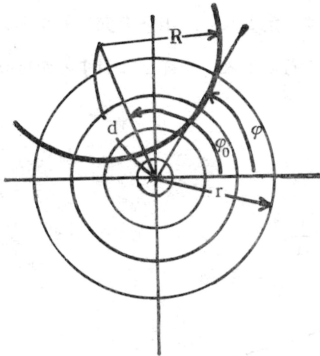
ただし $x = r/2R$, $0 \leq x \leq 1$,

で与えられる。また角度の変化率は、

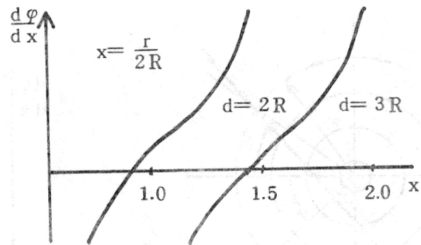
$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 4)$$

で与えられ、図 2・3(b) のようになる。

さらに図 2・4(a) に示すように円弧が円走査の中心を通らない場合には半径 r に対する角度は



(a) 円弧パターン B



(b) 角度の変化率

図 2・4 角度の変化 (円弧 B)

$$\varphi = \varphi_0 - \text{COS}^{-1} \frac{4x^2 + 4(d/2R)^2 + 1}{8(d/2R) \cdot x} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 5)$$

ただし $x = (r/2R)$, $(d/2R - 1/2) \leq x \leq (d/2R + 1/2)$

で与えられる。また半径方向に対する角度の変化率は

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{4x^2 - 4(d/2R)^2 + 1}{x \sqrt{\{8(d/2R)x\}^2 - \{4x^2 + 4(d/2R)^2 - 1\}^2}} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 6)$$

で与えられ、図 2・4(b) のようになる。

2・2・2 円走査による特徴点の抽出法

以上で述べた性質を利用し、以下のようにして特徴点の抽出が行なえる。

A. 交点

交点の存在は同一走査半径において現われるパターン数の変化によって認知でき、パターン数が変化する半径および辿ってきた線との関係より交点の存在する位置が推定できる。(図 2・5)

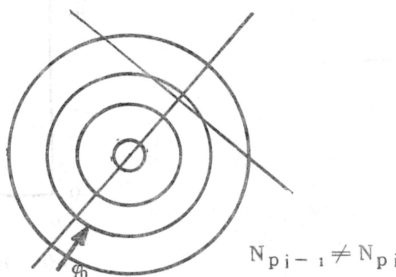


図 2・5 交点の抽出

B. 折点

図2・6(a)に示すような折点における角度変化のパターンは図2・2(b)より図2・6(b)に示すように折点に相当する半径の部分で不連続となる。したがって辿ってきた線の向きと角度変化が不連続となる半径および向きより折点の存在する位置が推定できる。

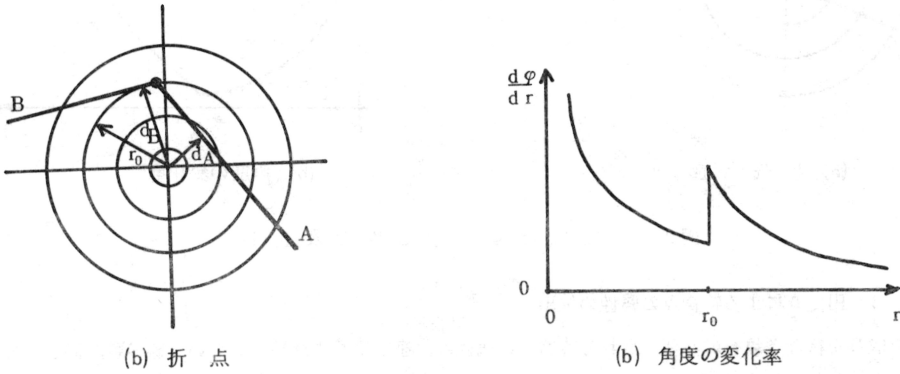


図2・6 接点における角度変化

C. 接続点 (直線と円弧が接する点)

図2・7(a)に示すような接続点における角度の変化は、図2・2(b)および図2・3(b)に示したグラフより、図2・7

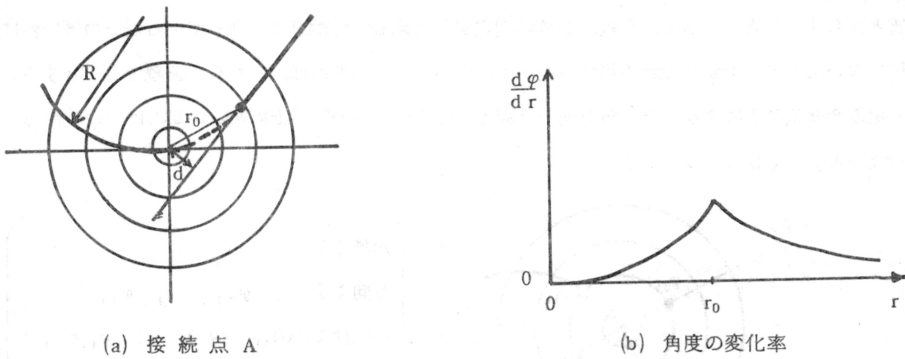
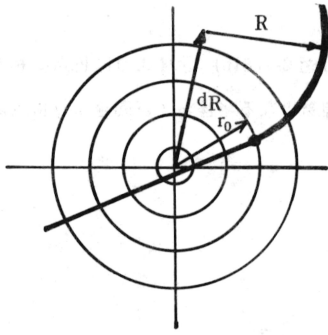
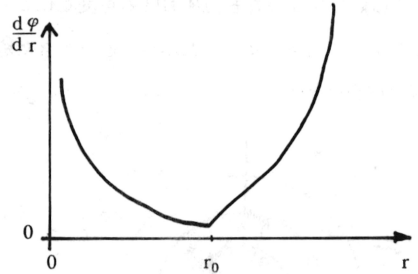


図2・7 接続点における角度変化 A

(b)に示すように折折点に対応した半径の前後で角度の変化率の性質が異なったものとなる。また図2・8(a)に示すような接続点では図2・8(b)のように角度の変化率が減少していたものが急に増加し始める。このような性質を利用することにより、接続点の存在が確認され、存在する位置が推定できる。



(a) 接 続 点 B



(b) 角 度 の 変 化 率

図 2・8 接 続 点 に お け る 角 度 変 化 B

2・2・3 円走査による特徴点の属性の抽出

図面の読み取りを行なう場合に必要とされる特徴点の属性は、座標値および結合している線の数、向き、性質等である。特徴点の座標値は円走査の中心を特徴点に一致させたときの円走査の中心を仮の座標値として登録しておき、その点に結合している2本以上の線が定義された時点でそれらの交点として算出し、書き換えを行なう。特徴点に結合している線の本数は走査中心を特徴点に一致させた後に、同一半径において現われるパターン数を数えることによって与えられる。結合している線の向きは比較的小さな走査半径において、それぞれの線が現われる角度を求め、それによって代表させることができる。また線の性質はそれぞれの線について走査半径に対する角度変化のパターンを調べ2・2・1で述べた性質と照合することによって、直線、曲線の判定が行なえる。特徴点に結合している線分の連続性は比較的小さな走査半径においてパターンが現われる角度の差が π に近い組合せがあれば、それらを連続であるとする。さらに前の線の性質と組み合わせることにより、それらが同一直線上にあるか 同一円弧上にあるかまたはその特徴点が接続点か等の判定が行なえる。(図2・9)

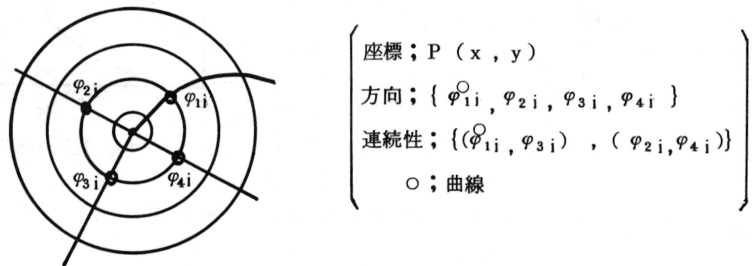


図 2・9 特 徴 点 の 属 性

以上のようにして円走査によって2・1で述べた図形の構造に直接に結び付けた特徴抽出法が可能となる。

3. 図面の自動読み取りシステム²⁾

3・1 図面の自動読み取りシステムの構成

円走査による特徴抽出法を利用した図面の自動読み取りシステムの基本的構成は図3・1のようになり、各ブロックの機能は次の通りである。

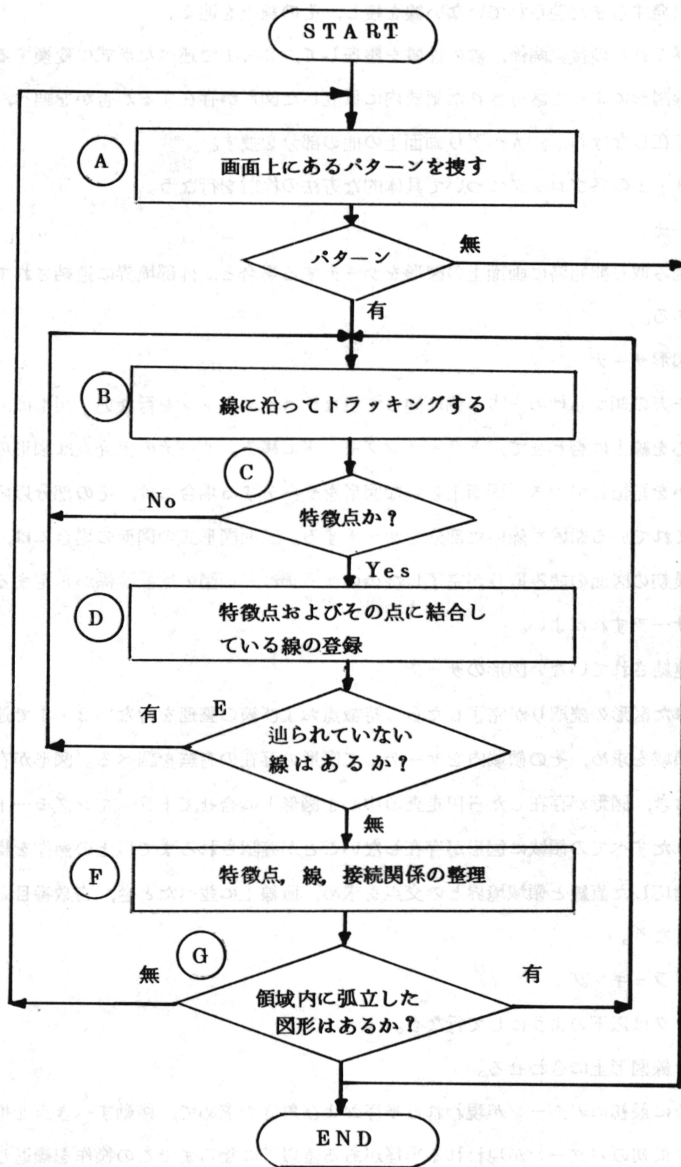


図3・1 図面の自動読み取り

A. 画面上にある図形を挿す。

B. 円走査の中心を線図形上に合わせ、線上をトラッキングする。後に線を正確に定義するために移動することに線上の点を補助的に記憶しておく。

C. 同一半径に対して現われるパターン数の変化、半径方向に対する角度変化より特徴点の有無を調べ次に移動すべき点を定める。

D. 円走査の中心を特徴点に合わせて、座標値、結合している線の数、性質、向き、連続性を調べて登録する。座標値は仮の値として記憶し、特徴点に結合している互いに独立な2本の線が定義された時点でこれらの交点として計算し、書き換える。

E. 特徴点から出発するまだ辿られていない線を捜し、その線を辿る。

F. 特徴点およびこれらの接続関係、線の性質を整理して、2・1で述べた形式に変換する。

G. 入力された線図形によって区分された領域内に孤立した図形が存在するか否かを調べ、存在すればBへ戻り同様な操作を行なう。存在しなければ、Aへ戻り画面上の他の部分を捜す。

以下においては図3・1の各ブロックについて具体的な方法の検討を行なう。

3・2 図形のサーチ

図形のサーチには読み取り開始時に画面上の図形をサーチする場合と、外部境界に連結されていない孤立した図形をサーチする場合とがある。

A. 画面上の図形サーチ

読取り装置画面の一方の側から他の一方の側に向って粗なラスタスキャンを行ない、図形にぶつかったら、そこで円走査を行ない走査中心を線上に合わせて、トラッキングモードに移る。サーチの出发点は図形の外側の点とする。またどこまでサーチしたかを記憶しておき、画面上の別な図形をサーチする場合には、その部分以降でしかも既に読み取られた図形によって囲まれている領域を除いた部分をサーチする。三面図形式の図面の場合には、三面図のセットの方向を規定しておけば、最初の図面の読み取りが完了した後のサーチは三面図の配置関係から定まる最も可能性の大きな方向に向って直線状にサーチすればよい。

B. 外部境界に連結されていない図形のサーチ

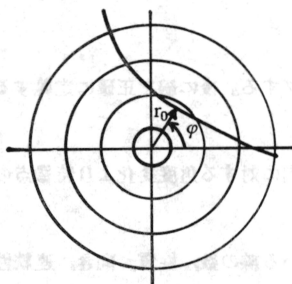
外部境界に連結された図形の読み取りが完了したら、特徴点および線の整理を行ない2・1で述べた形式にして、図形によって区分された領域を求め、その領域内をサーチして図形の存在の有無を調べる。図形が存在しないことが確認された領域は区別しておき、図形が存在したら円走査の中心を図形上に合せてトラッキングモードに移る。読み取られた図形によって区分されたすべての領域に図形が存在しないことが確認されるまで以上の操作を繰返す。なお領域内のサーチは、各ラスタに対応した直線と領域境界との交点を求め、直線上に並べたとき、奇数番目と偶数番目の交点で区分された区間について行なう。

3・3 線図形のトラッキング

線図形のトラッキングは以下のようにして行なう。

A. 円走査中心を線図形上に合わせる。

図3・2に示すように最初にパターンが現われる半径および角度を求めて、移動すべき点を推定して円走査の中心をその位置に移動する。最初のパターンが現われる半径がある値以下になるまでこの操作を繰返し、その時点で円走査の中心が線上になったとみなす。



φ ; 移動すべき方向
 r_0 ; 移動すべき距離

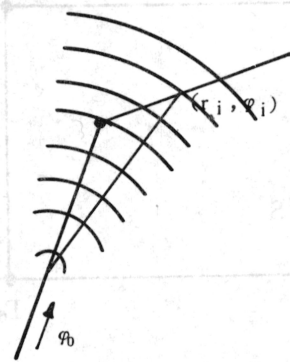
図3・2 走査中心を線上に合わせる方法

B. 特徴点の抽出

各走査半径に対する角度を入力し、半径方向に対する角度パターンの変化より特徴点の存在の有無を調べ、もし存在する可能性があればその位置を推定し走査中心をその位置に移動して特徴点の処理に移る。特徴点が存在しない場合にはこれまでに辿ってきた線の向き、性質より次に移動すべき位置を定めて移動する。また1回の移動量は辿っている線の曲率が大きい程小さく、補助点は曲率が大きい程多くなるようにする。

特徴点の存在の可能性の判定および移動すべき位置の推定は、具体的には図3・3に示した条件を用いて行なう。

すなわち現在の点へ移動してきた時の移動の向きを φ_0 、 i 番目の半径 r_i においてパターンが現われる角度を φ_i 、パターンの数を N_{p_i} としたとき、同図中①、②、③、④で示された条件のいずれかが満足された場合にはその付近に特徴点が存在する可能性があるとして、その付近に走査中心を移動して調べる。また⑤で示した条件が満足された場合には特徴点が存在する可能性がないとし、 d より多少小さめの半径に相当



- ① $|\varphi_i - \varphi_{i-1}| > \delta$
- ② $|\varphi_{i+1} - 2\varphi_i + \varphi_{i-1}| > \delta$
- ③ $N_{p_i} \neq N_{p_{i-1}}$
- ④ $|\varphi_i - \varphi_0| > \varphi_d$
- ⑤ $r_i > d$

図3・3 線図形のトラッキング

する位置に移動する。また移動することに補助点を記憶しておく。

3・4 特徴点の取扱い

円走査の中心が特徴点の近くに達したら以下のような操作を行ない特徴点の属性を調べて登録する。

A. 特徴点が交点の場合

同一半径におけるパターン数が変化する時には交点が存在する可能性が大である。パターン数が変化する方向および半径を調べ、特徴点が存在する位置を推定し、走査中心をその位置に移動する。この操作を繰返しある半径以上では同一半径において現われるパターン数が変化しなくなった時点で円走査の中心が特徴点に一致したと判定し、結合している線の数、向き、性質、連続性を調べて登録する。もしこの特徴点が既に登録されていれば、この特徴点に結合した線のリストで、この点に達するまでに辿ってきた線に相当するものは接続関係に書き換えて、まだ辿られていない線上を辿ってゆく。またその特徴点が最初に辿られた場合には、その点の座標値を仮の値として登録しておく。

B. 折点、接続点の場合

パターン数が半径に対して変化せず、角度変化のパターンが不連続となるか、性質が変化する場合には折点あるいは接続点が存在する可能性が大である。その半径に相当する位置に円走査の中心を移動し、円走査の中心が線上になるようにし、この点を仮の特徴点として、図形の構造のみを登録し、これまでに辿ってきた線から新たな線上に移ったものとみなし、さらに線上を辿って次の特徴点に達した時点で2本の線を規定し、その交点あるいは接点として特徴点の座標値を登録し直す。また曲線上の副特徴点も、補助点より曲線を規定してから座標値を計算して登録し直す。

3・5 図形の内部モデル構成の過程

以上述べた方針に従って図面の読み取りを行なう場合、図形の構造(内部モデル)がどのように構成されてゆくか図3・4に示す具体的な例によって説明する。いま画面上の図形をサーチしてゆき、 P_s で図形にぶつかったとする。ここで全円走査を行ない走査中心を線上に合わせて線の向きを調べる。まず外部境界を辿るため、これまでに移動してきた向きに対し、角度が大きい φ_{s2} の方向に辿る。最初の特徴点 P_1 に達したら、ここで全円走査を行ないこの点に結合

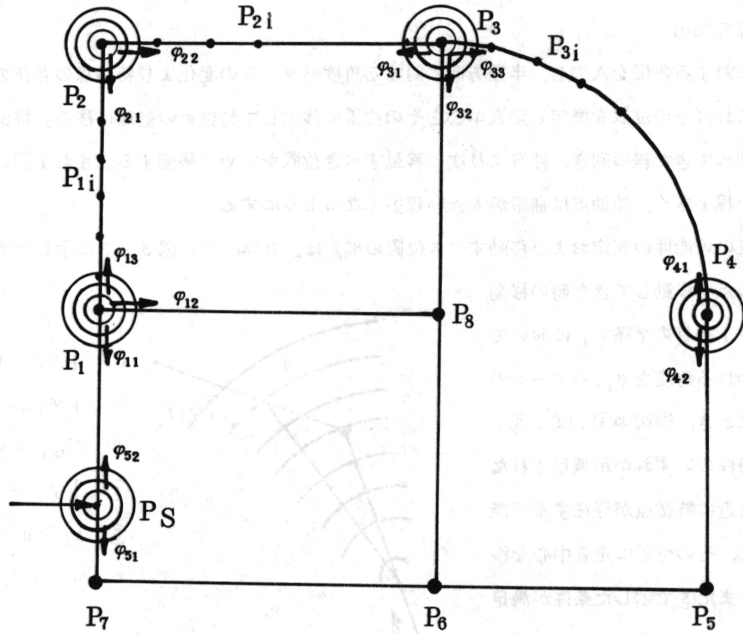


図3・4 線図形の読み取り

している線の向き、性質、連続性を調べ図3・5(a)のように登録する。つぎにこの点に移動してきた向きに対して角度の大きい φ_{13} の方向へ辿る。どの線を追っているかを表示し、移動のたびごとに走査中心の座標値を図3・5(b)に示すように線のリスト $L_{a1}(P_1, \varphi_{13})$ に点列 $\{P_{1j}\}$ として記憶しておく。特徴点 P_2 に達したら全円走査を行ない特

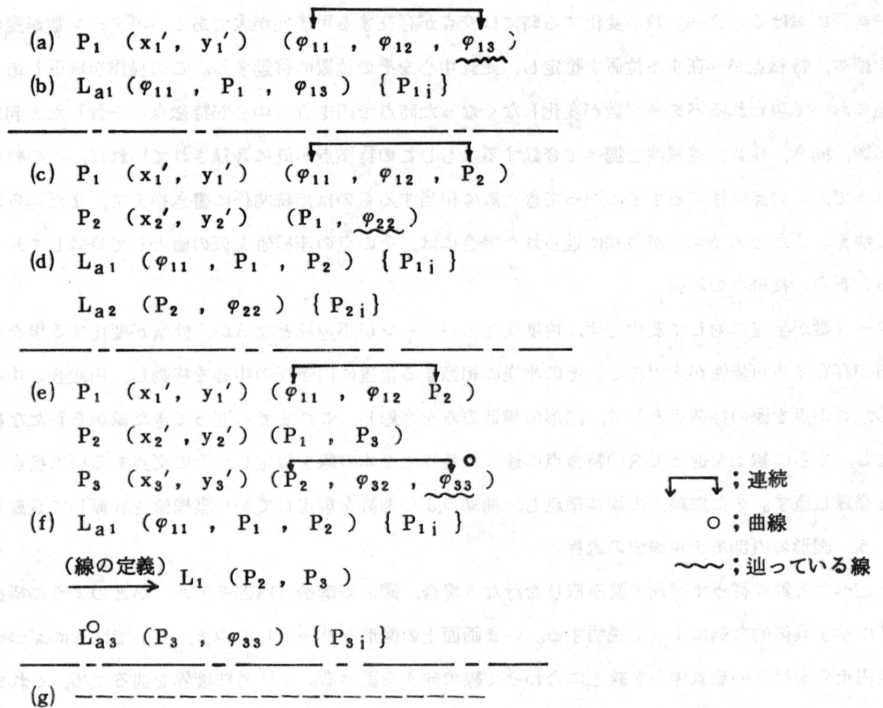


図3・5. 内部モデルの構成

徴点の属性を調べ、図3・5(c)のように登録する。同時に P_1 点で P_2 点へ辿ってきたものに相当する向き φ_{12} を接続関係に書き換える。同様にして P_2 点から φ_{22} の方向へ辿る。 P_3 に達したら同様にして特徴点の属性を調べ図3・5(e)のように登録する。またこの時点で線 L_{a2} は全区間の点列が与えられたことになるのでこれらの点を通る直線を定義し、線分 $L_1(P_2, P_3)$ として登録し直す。 P_4, P_5, P_6, P_7, P_1 と最初の特徴点に達するまで同様な操作を行なう。最初の特徴点に達したら、各特徴点から出る線がまだ辿られていないものを捜して、同様の操作を繰返す。辿られていない線がなくなったら、特徴点の座標値を前に定義された線の交点として登録し直す。さらに線のリストを整理して2・1で与えた図形の内部モデルのリストを作成する。

以上のようにして図形の構造(内部モデル)と対応づけながら図面の読み取りが行なえる。

4. むすび

以上の考えに基づいて図面の自動読み取りシステムの開発を行なっている。³⁾円走査のためにスパイラル走査型のビジコンカメラを試作し、パルスモーターによるサーボ装置で図面をX-Y方向に移動してトラッキングを行なっている。ハードウェアに関しては全体の調整が完了し、直線で連結する場合のプログラムを作成し、現在デバック中であり、吉田(東大生研, 大学院生)が有限要素法の分割データを自動的に入力することを試みている。これとは別にソフトウェアの検討を行なうため、高精度写真計測装置(DD-Tubeを使用したフライングスポット・スキャナ)によって、曲線も含んでいる場合のプログラムを作成中である。さらに線図形の読み取りにより適したハードウェア(読取ヘッド, その他)の検討を行なっている。以上のような研究をさらに発展させ、深めてゆくことにより、図形情報入力のための有力な手段を提供しようものと考ええる。

本研究に当り御指導下さった東大生研柴田碧教授, 御示唆御援助下さった理研後藤英一主任研究員, 東大工学部和田英一助教授, 御協力下さった東大生研柴田研究室および理研情報科学研究所の皆様にご感謝する。

文 献

- 1) 出沢; 三面図から立体形成のためのシステム 機学論310(47-6)P1267
- 2) 出沢, 柴田; 図面の自動読み取りのための一方法 機学講論6730-3(73-4)P29
- 3) 吉田, 出沢, 柴田; 図面の自動読み取り装置の試作 機学山梨地方講論(74. 11)P1

本 PDF ファイルは 1965 年発行の「第 6 回プログラミング—シンポジウム報告集」をスキャンし、項目ごとに整理して、情報処理学会電子図書館「情報学広場」に掲載するものです。

この出版物は情報処理学会への著作権譲渡がなされていませんが、情報処理学会公式 Web サイトの https://www.ipsj.or.jp/topics/Past_reports.html に下記「過去のプログラミング・シンポジウム報告集の利用許諾について」を掲載して、権利者の検索をおこないました。そのうえで同意をいただいたもの、お申し出のなかったものを掲載しています。

過去のプログラミング・シンポジウム報告集の利用許諾について

情報処理学会発行の出版物著作権は平成 12 年から情報処理学会著作権規程に従い、学会に帰属することになっています。

プログラミング・シンポジウムの報告集は、情報処理学会と設立の事情が異なるため、この改訂がシンポジウム内部で徹底しておらず、情報処理学会の他の出版物が情報学広場 (=情報処理学会電子図書館) で公開されているにも拘らず、古い報告集には公開されていないものが少からずありました。

プログラミング・シンポジウムは昭和 59 年に情報処理学会の一部門になりましたが、それ以前の報告集も含め、この度学会の他の出版物と同様の扱いにしたいと考えます。過去のすべての報告集の論文について、著作権者（論文を執筆された故人の相続人）を探し出して利用許諾に関する同意を頂くことは困難ですので、一定期間の権利者搜索の努力をしたうえで、著作権者が見つからない場合も論文を情報学広場に掲載させていただきたいと思えます。その後、著作権者が発見され、情報学広場への掲載の継続に同意が得られなかった場合には、当該論文については、掲載を停止致します。

この措置にご意見のある方は、プログラミング・シンポジウムの辻尚史運営委員長 (tsuji@math.s.chiba-u.ac.jp) までお申し出ください。

加えて、著作権者について情報をお持ちの方は事務局まで情報をお寄せくださいますようお願い申し上げます。

期間：2020 年 12 月 18 日～2021 年 3 月 19 日

掲載日：2020 年 12 月 18 日

プログラミング・シンポジウム委員会

情報処理学会著作権規程

<https://www.ipsj.or.jp/copyright/ronbun/copyright.html>