

## ラスター演算を利用した図面の線認識

LINE RECOGNITION OF DRAWINGS WITH RASTER OPERATION

亀井克之

中村泰明

阿部 茂

Katsuyuki KAMEI

Yasuaki NAKAMURA

Shigeru ABE

三菱電機株式会社 中央研究所

Central Research Laboratory, Mitsubishi Electric Corp.

あらまし 図面の直線認識においては直線を長ベクトルとして検出すること、交点の位置、角度を正確に認識することが求められる。ここで提案する手法(Raster Vectorization法:RV法)は、他の線やシンボルとの交差にかかわらず、特定方向の線成分を抽出するものである。RV法では、交差の多い図面に対しても、直線の正確な認識が可能となり、また、コーナーや分岐点においても、なまることなく正確な直線を得ることができる。本報告では、RV法が直線成分が主体の図面の線認識に有効であること示し、曲線の多い図面には細線化法の併用、シンボルを含む図面にはシンボルの位置情報を用いる認識手法を提案する。

Abstract A new method for vectorization of drawings is proposed. The method called Raster Vectorization can detect lines with a unique direction using a raster operation device. Applying the method for several directions, all lines in a drawing are detected. The advantages of this method over other methods are (1) rapid processing, (2) long vector data can be obtained, (3) the positions of corners can be detected correctly and the angles of lines become sharp, and (4) the lines embedded in the symbols or overlapped with other lines can also be recognized.

### 1. はじめに

近年、図面データの計算機による管理、いわゆるコンピュータ・マッピングシステム、図面管理システムが注目されている<sup>1)</sup>。このようなシステムの第一段階として、既存の図面のデータベース化が必要である。計算機への図面データの入力には、CADシステムによる新規作成、ディジタイザを用いた人手による入力、光学読み取り装置による画像入力と自動認識などの方法が用いられている。特に、上下水道や電力系統などの設備は膨大な量の図面により管理されているため、図面の自動読み取りが要望されている。

ここで対象とする図面は、

(1) 街路図(道路と家屋)、

(2) 機械図面

(3) 配管、配線系統と設備配置図、

である。これらの内、(1)は線(ほとんど直線)が主体である図面、(2)は曲線も多く存在する図面、(3)は配管、配線を表す線、設備を表すシンボル、文字から構成される図面である。このような図面の自動読み取りにおいては、線、線と接続したシンボル、文字を精度よく認識することが重要である。ここでは、ラスター演算<sup>2)</sup>を用いて、線、特に直線を精度良

<sup>2)</sup>ラスター演算とは、メモリ上の矩形領域の転送、転送先とのビットごとの論理演算、結果の格納を、16ビットなり32ビットなりまとめて実行するものである。通常、ワークステーションでは、画面操作にラスター演算を用いており、その高速化のため専用のハードウェアを装備している。

く認識する手法を提案する（シンボルの認識手法は、文献2で報告している）。以下、提案法をRV(Raster Vectorization)法と呼ぶ。

直線の認識においては、線やシンボルとの交差・接触にかかわらず、正しく一本の直線として認識し、また、コーナーや分岐点でなまることなく正確な位置、角度を認識したいという要求がある。

従来、直線を抽出する手法としては、Hough変換<sup>4)</sup>、細線化して追跡する手法<sup>5)</sup>、芯線化する手法<sup>6)</sup>、スリット法<sup>7)</sup>などがある。しかし、このうち、Hough変換は一般に計算時間を要する。また、細線化して追跡する手法では、コーナーがなまったり、交差・接触の影響を受けて直線が折れ曲って抽出される。芯線化手法においても線の交差部では、芯線がでず、特別の処理を要する。

ここで述べるRV法は、交差の多い図面に対しても長い直線を一つの長い直線として精度よく抽出できるのが大きな特長である。

RV法は、Merlin-Parber-Hough変換<sup>8)</sup>を利用したテンプレートマッチング法である。ただし、ワークステーションのラスタ演算機能を利用することにより、線要素のテンプレートと画像のマッチングを高速に行う。

本報告では、RV法の概要を述べ、街路図の認識例を示す。さらに、曲線が多い図面に対しての細線化との併用手法、また、図面中にシンボルがある場合、そのシンボルの位置情報を利用した認識手法を示し、それぞれ、機械図面、配管設備図面の認識例を示す。

## 2. Raster Vectorization(RV)法

図1のような街路図の認識においては、道路や家屋を成す直線と、直線どうしが作るコーナーの、位置、方向を正確に認識することが重要である。RV法は、このような要求にこたえるものである。RV法の概略を図2のフローチャートをもとに述べ、詳細を2.1以下で述べる。

一本の直線を正確に認識するには、シンボルや線の交差の影響を受けない手法が必要である。街路図の線は、おもに直線で、交差する場合は互いに方向の異なることが多い。RV法では、特定方向の直線成分の抽出をラスタ演算を用いて、高速に実行する。

この処理のあと、抽出された部分にラベル付けを行い、各ラベルの部分に対して最小二乗法を用いて近似直線を求める。この抽出処理により一本の直線は、その両端まで正確に抽出され

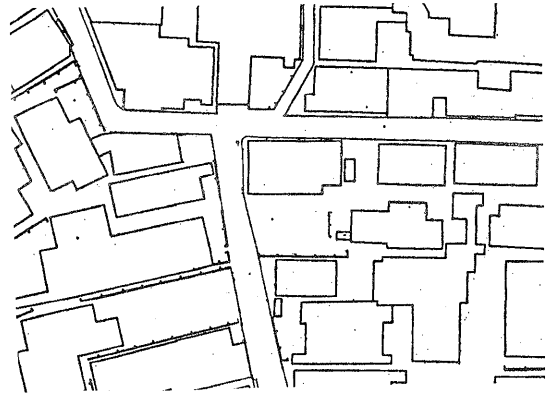


図1 街路図二値画像

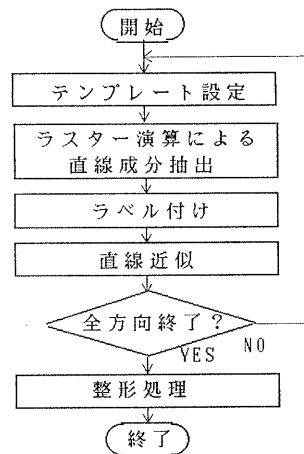


図2 RV法のフローチャート

るので、正確な近似直線が得られる。この操作を、図面画像中のすべての直線を網羅するように、抽出方向を変化させ、処理を繰り返す。すべての方向の直線を抽出した後、MD木<sup>9)</sup>を利用し線図形の整形処理を行う。以下、各処理の内容を説明する。

### 2.1 特定方向の直線成分の抽出

画像から特定方向の線成分を抽出するためにラスタ演算を利用する。すなわち、直線部分は同一方向に連結した黒画素の集合であるから、ある方向に連結した黒画素列をテンプレート（図3(a)参照）として用いて、テンプレートマッチングを行うことにより抽出できる。通常のテンプレートマッチング法では、画像中のある位置にテンプレートを置き、テンプレートと画像との一致度を求める。一致度は、画素の値（

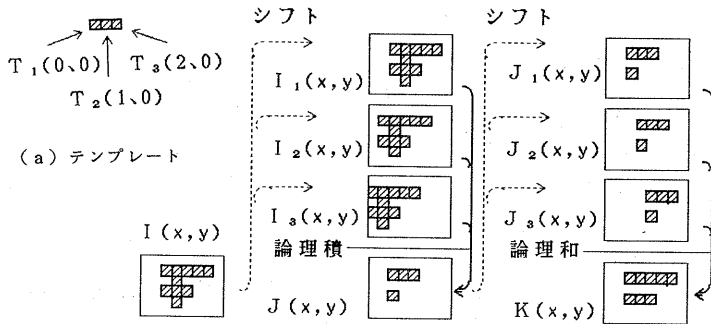


図3 直線成分の抽出 (水平方向)

黒画素を“1”、白画素を“0”とする)の論理積を求め、“1”の画素数をカウントすることで与えられ、その一致度により類似性の判定を行う。

R V法では、テンプレートを画像上で移動させマッチングを取る代わりに、画像データ自身の論理演算により同様のことを行う。すなわち、R V法はテンプレート中の黒画素がある一点に重なるように画像全体をシフトさせ、シフトした画像間で画素ごとの論理積をとることにより同様の処理を行う。つまり、テンプレートの黒画素を

$$T_i(x_i, y_i), i=1..N,$$

ただし、 $T_i(x_i, y_i) = 1, i=1..N$ 、  
 テンプレートの基準点を $T_1$ とし  
 $x_1 = 0, y_1 = 0$

とする。図面の画像データを $I(x, y)$ としたとき、

$$I_i(x, y) = I(x+x_i, y+y_i) \quad (1)$$

$$J(x, y) = \bigwedge I_i(x, y) \quad (2)$$

を求める。 $\bigwedge$ は画素ごとの論理積を示す。論理積画像 $J(x, y)$ 上では、 $I(x, y)$ にテンプレートと同一のパターンが存在するとき、そのパターンの $T_1$ に対応する画素が黒“1”となる。

次に、この論理積演算で検出された $T_1$ の箇所に、テンプレートのパターンを復元する。つまり、 $T_1$ だけでなく、各 $T_i$ に対応している画素も黒にする。それには、論理積画像を先程と逆方向にシフトさせて、画素ごとの論理和をとる。すなわち、

$$J_i(x, y) = J(x-x_i, y-y_i) \quad (3)$$

$$K(x, y) = \bigvee J_i(x, y) \quad (4)$$

を求める。 $\bigvee$ は画素ごとの論理和を示す。論理

和画像 $K(x, y)$ 上では、 $J(x_0, y_0)$ が黒画素のとき、 $K(x_0+x_i, y_0+y_i), i=1..N$ が黒になり、テンプレートのパターンが復元される。この操作は、Merlin-Farber-Hough変換にはないR V法独得の重要な操作である。以上の処理で、テンプレートと同一方向の直線成分が抽出される(図3(b))。式(1), (2), (3), (4)の画像の論理積、論理和演算をラスタ演算装置で実行する。これにより、特定方向の直線成分が高速に抽出できる。

## 2. 2 全ての直線成分の抽出

特定方向の直線を検出するには、前節の処理を一回行えば良い。ただし、全方向の直線を抽出するために、あらゆる方向に対して処理を行う必要はない。抽出する直線の線幅と最短長により、処理すべき方向と回数を決定する。

長さ $\varrho$ のテンプレートで抽出される直線の条件を考える。 $W$ を線幅、 $L$ を線の長さ、 $\theta$ をテンプレートとのなす角とすれば、図4より、

$$W \geq \varrho |\sin \theta| \quad (5)$$

$$L \geq \varrho |\cos \theta| \quad (6)$$

の関係が成り立つ。 $W=3, L \geq 1.0$ である直線を抽出する場合、式(6)を満足する $\varrho$ として $\varrho=1.0$ とすれば、式(5)より $\theta \leq 17.46^\circ$ になる。テンプレートの方向を中心に $\pm 17.46^\circ$ 以内の方向の直線が抽出されるので、 $30^\circ$ ごとのテンプレートを用意して6回処理を行う。

## 2. 3 直線性の判定と領域分割

抽出された黒画素に対し、最小二乗法により、一本の直線で近似する。この時、その連結黒画素が一本の直線として近似可能か判定を行う必要がある。これは、直線がその直線と少し異なる方向の直線と交差・接触している場合、図5

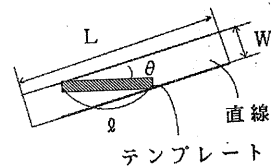


図4 直線抽出の条件

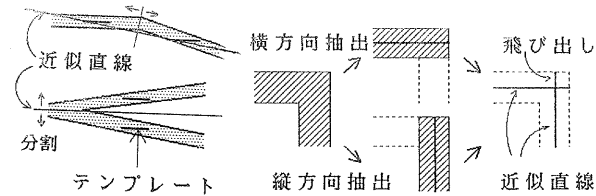


図5 抽出される連結画素列の例

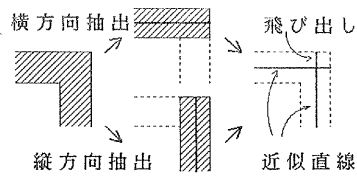


図6 近似直線の飛び出し

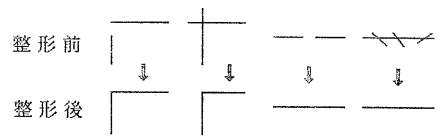


図7 整形処理の概略

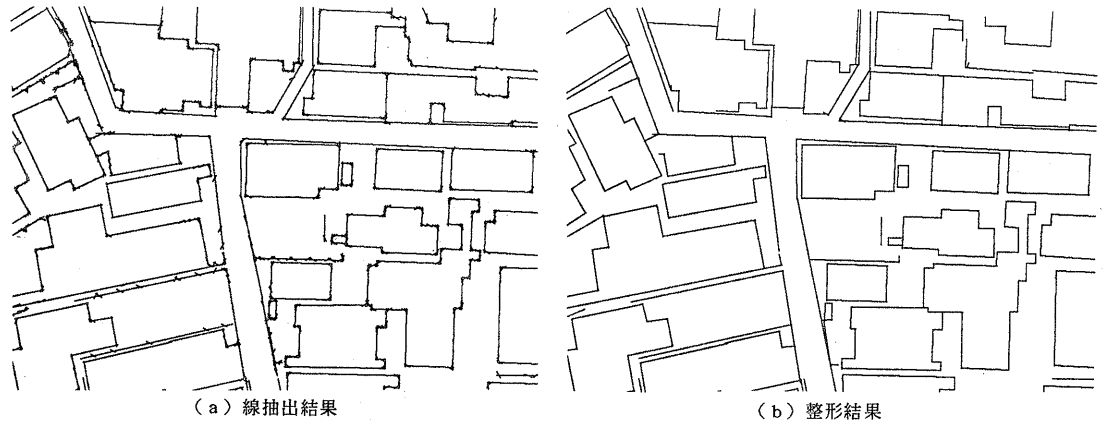


図8 RV法による街路図の線抽出結果

のような連結画素が抽出されることがある。そのため、一本の直線で近似するのが適当か否かの判定が必要である。近似した直線と黒画素との最大距離があらかじめ設定したしきい値以上の時、一本ではないと判定する。その黒画素領域の折れ点を探索し、二つの領域に分割する。

また、大きな黒領域は、テンプレートの方向によらずに抽出される。近似された直線の方向とテンプレートの方向が極端に異なれば、大きな黒の領域とみて直線は抽出しない。

線がテンプレートと同一の方向であれば、その線を構成する黒画素の大部分が連結領域として抽出される。その結果、図面上で一本の線を構成する黒画素は、一本の直線で近似される。したがって、交差やシンボルと重なった直線も、多くの短い線に分割されることはない。テンプレートとのなす角により、一本の直線が二つのテンプレートで抽出されることがある。これの一本化の処理は整形処理の段階で行う。

#### 2. 4 整形処理

RV法での線抽出では、すでに述べたように、直線その両端まで正確に求めることができる。この場合、図6に示すように近似直線どうしはコーナーにおいてお互い飛び出す。また、線幅の太い部分があると、その部分は、異なる方向

のテンプレートによっても抽出され、不要なヒゲを生ずる。そこで、抽出された直線をMD木で管理し、整形処理を施す。重なっている直線の一本化を行い、コーナーの飛び出しを押し、ヒゲを取り除く。整形処理の概略を図7に示す。MD木で直線を管理すれば、領域探索を高速に行えるので、整形処理を効率的に行うことができる。

#### 2. 5 認識結果

RV法による線の認識結果を示す。図8(a)は図1の街路図のRV法による線抽出の結果である。図1の線幅は3~4画素、抽出する最小の線の長さは10画素とし、30度ごとに6方向のテンプレートで処理を行った。処理時間は33.6秒(計算機は、APOLLO DN560、1024x800画素の画像)であった。図8(b)は図8(a)の結果を整形したものである。整形の処理時間は、約7秒であった。図9(a)に図1を細線化(8連結Hilditch法<sup>4)</sup>)した結果を、図9(b)にそれをベクトル近似した結果を示す。細線化法では、線の交差の影響を受けて歪んだり、コーナーがなまったりしている。これに対し、RV法では、ヒゲやコーナーの飛び出しはあるが、長い線が交差・分岐の影響を受けずに長ベクトルとして正確に抽出できている。

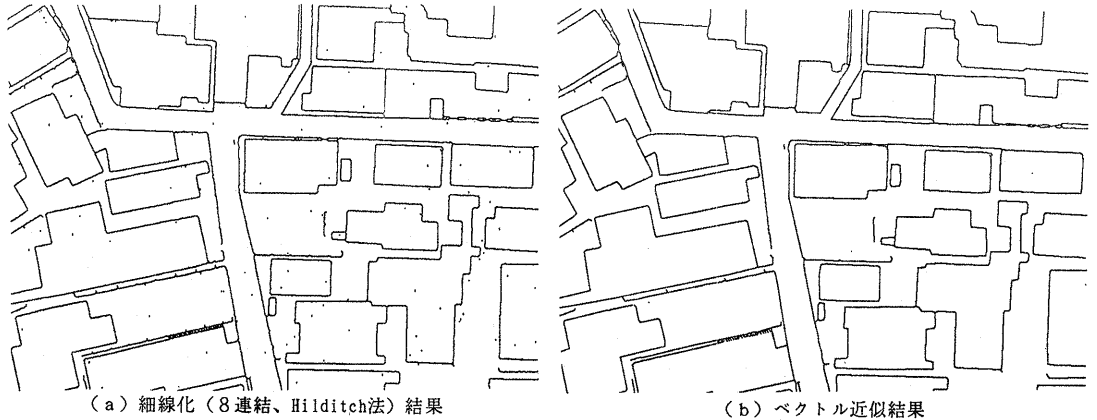


図9 細線化法による街路図の処理結果

### 3. TRV法（細線化とRV法の併用法）

RV法によれば、ある程度の長さ以上の直線は正確に抽出することができる。しかし、円や楕円などの曲線部分や文字を十分な精度でベクトル近似することは難しい。そこで、長い直線部分はRV法により抽出し、それ以外の曲線部分は、従来の細線化手法を適用することを考える。

RV法と細線化手法を併用する場合、適用方法がいくつか考えられる。第一の方法は、RV法で直線として抽出された部分の図形を消去し、残りの部分のみを細線化する方法である。しかし、この場合、RV法で抽出された直線と、細線化法で抽出された曲線とは必ずしも連結しないため、後処理で両者を接続する必要がある。

第二は、RV法で抽出した直線に肉付けし、その部分を図面から削除し、残りの部分を細線化する方法である。この方法では、線幅の情報が必要となること、また、図面から正確に直線部だけを消去することが難しい（直線部の周辺が残るとか消しすぎが起こる）ことから好ましくない。

第三は、図形データに直線の情報を埋め込み（フラッグを立てる）細線化の際、フラッグの立っている画素は消去対象とせず、必ず残すように細線化アルゴリズムを変更する方法である。この方法の場合、処理時間はRV法と細線化処理時間の合計時間となるが、連結性、直線性が保存されるため、品質の良い線画像を得ることができる。このため、ここでは第3の手法を採用し、TRV（Thinning with Raster Vectorization）法と呼ぶことにする。

#### 3.1 TRV法のアルゴリズム

TRV法の処理フローを図10に示す。まず、RV法によりある長さ以上の直線成分を抽出す

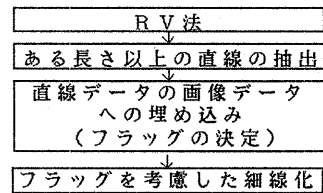


図10 TRV法の処理フロー

る。画像データ中に直線のフラッグを立て、細線化（ここでは、8連結Hilditch法を用いている）の際、フラッグの立っている画素は、消去対象としない。それ以外の画素は通常の処理を行う。次にRV法で抽出した直線はコーナーの部分で図6のような飛び出しを生じるため、この部分を整形する。これは、フラッグの立っている画素でかつ、端点である画素からある長さ以内に分岐点に到達するならば、RV法により生じた飛び出し部と判断し端点から分岐点までを消去するものである。

TRV法は、直線部分を一本のベクトルとして近似し、かつ、細線化処理で生じ易い角のなまりを避けたいという要望と曲線部や文字部分はトポロジーを崩さないという要望を満足する手法である。従って、機械図面のような直線と曲線、及び文字からなる図面の読み取りに適する。図11に機械図面のTRV法による線図形化結果と細線化のみによる結果を比較し示す。

#### 3.2 TRV法の特長

TRV法の特長を以下にまとめる。

- (1) 直線部分が折れ線近似ではなく、一本のベクトルとして求まる。
- (2) 直線と直線の交差部分（分岐点、コーナ）が正確に求まる。

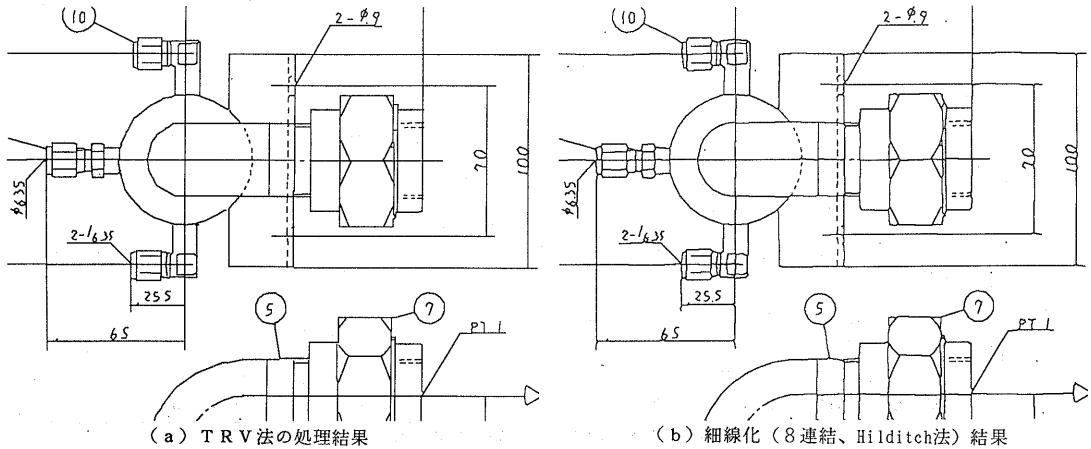


図11 TRV法と細線化法との比較

- (3) ヒゲや無駄な短ベクトルの発生が少ない。
  - (4) 曲線部や文字部分のトポロジーが崩れない。
- など、RV法と細線化法の両者の特長を持つ。さらに品質向上のためには、直線近似だけでなく、直線との接続情報を利用した曲線部分の円、楕円などによる近似が必要である。

#### 4. 設備図面のシンボル・線認識

図12に示すような配管設備図においては、シンボル、そしてシンボルの接続関係を正確に認識しなければならない。接続関係はシンボルから出ている配線を表す直線の認識による。このような配線の中には、シンボルや文字よりも短いものも存在する。また、線やシンボルに文字が接触していることもある。このような状況下では、シンボルから出ている配線を正確に識別することが重要になる。そこで、シンボルの位置情報を利用する。

フローチャートを図13に示す。まず、図面上のシンボルを認識する。そして、シンボルに接続している線を認識しやすいように、認識したシンボルを適当な図形に置き替える。この置き替えののち、RV法による線認識を実行する。これにより、シンボルに接続する短い線の抽出を容易にし、かつ、余計な線成分の抽出を押さえることができる。

まず、シンボル認識手法を簡単に説明し、シンボルの位置情報を利用した直線認識手法について述べる。

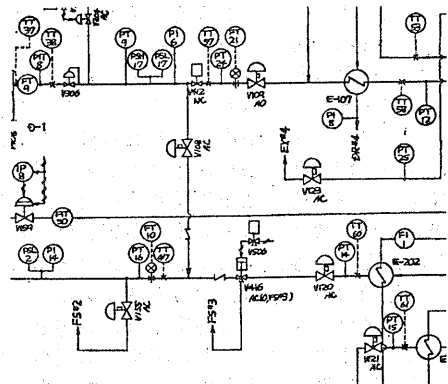


図12 配管設備図面二値画像

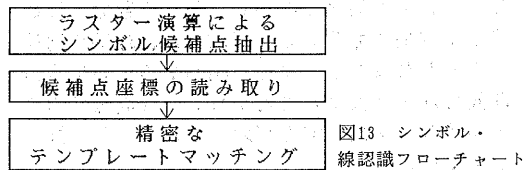


図13 シンボル・線認識フローチャート

##### 4.1 シンボル認識手法

シンボル認識手法(RTM法)についてはすでに報告している<sup>2)</sup>ので、ここではその概要のみを説明する。RTM法は二段階のテンプレートマッチング手法である。設備図面では、シンボルはテンプレートを用いて書かれることが多く、その認識にはテンプレートマッチング法が有効である。

RTM法のフローチャートを図14に示す。第一段階では、ラスタ演算を用いてシンボルの候補点を抽出する。認識しようとするシンボル上に、シンボルの特徴点 $P_i$ 、基準点 $O(0,0)$ を選定する。これを

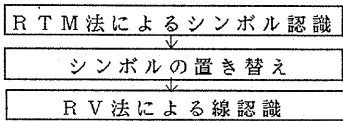
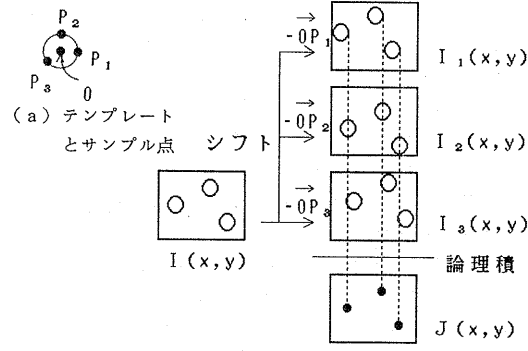


図14 RTM法のフローチャート



(b) 画像の論理演算による候補点抽出  
図15 シンボル候補点抽出

$$P_i(x_i, y_i), i=1..N,$$

とする。第一段階では、この特徴点のマッチングをとる。完全にマッチする箇所をシンボル候補点として抽出する。それには、特徴点が一点に重なるように画像をシフトさせ、それらの画素ごとの論理演算を行う。つまり、 $P_i$  に対し、画像を

$$\vec{OP}_i = (-x_i, -y_i)$$

シフトさせ、さらに、 $P_i$  が白ならシフトさせた画像を白黒反転させる。 $P_i$  が黒なら、

$$I_i(x, y) = I(x+x_i, y+y_i) \quad (7)$$

$P_i$  が白なら、

$$I_i(x, y) = \bar{I}(x+x_i, y+y_i) \quad (8)$$

とする。 $I(x, y)$  にテンプレートを置いたとき、特徴点  $P_i$  の値が一致すれば、基準点の画素が  $I_i(x, y)$  上で黒になる。このシフトさせた画像の論理積をとる。

$$J(x, y) = \bigwedge I_i(x, y) \quad (9)$$

すべての  $I_i(x, y)$  が黒、すなわち、 $N$  個の特徴点の値がすべてテンプレートと一致するとき、基準点の画素が  $J(x, y)$  で黒になる (図15)。 $J(x, y)$  の黒画素をシンボルの候補点とする。図面画像にノイズが多いときは、式(9)の論理演算の代りに、より冗長性を持たせた多数決演算を行う。この画像の論理演算をラスタ演算

表1 RTM法の特長

- (1) 認識速度が速く、並列処理も可能
- (2) 不鮮明なシンボルも認識可能
- (3) シンボルの位置が正確に求まる
- (4) シンボル、線、文字等をあらかじめ分離する必要がない
- (5) 異なる対象図面に対してもテンプレートの変更だけで済み、アルゴリズム変更の必要がない
- (6) 実際のシンボルの特徴を学習させやすい

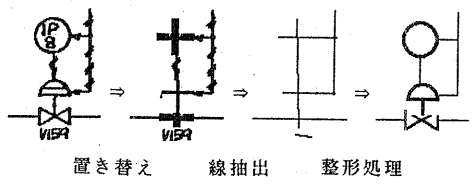


図16 シンボルの置き替えによる線抽出の例

装置で行う。抽出された候補点に対し、第二段階で、精密なテンプレートマッチングを行い、正しいシンボルを認識する。

RTM法においては、ラスタ演算の利用により、高速にシンボルを認識できる。RTM法の特長を表1に示す。

なお、RTM法もMerlin-Farber-Hough変換の拡張と見なすことができる。ただし、ラスタ演算で高速に実行するためにさまざまな工夫を行っている。例えば、二段回処理、白画素の反転論理演算、ラスタ演算を2次元ALUとみなした多数決演算の導入などである。

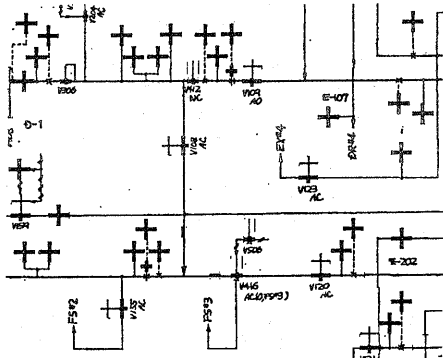
#### 4.2 シンボルの置き替えと線抽出

認識されたシンボルを、配線を表す線の認識に都合が良い図形に置き替える。図12の設備図面では、シンボルごとに、配線の接続する位置、方向が定まっている。したがって、短い配線が接続していた場合はその短い線を延長し、配線の接続し得ない位置に文字が接触していた場合は文字の線成分を孤立させるような図形にシンボルを置き替えることができる。

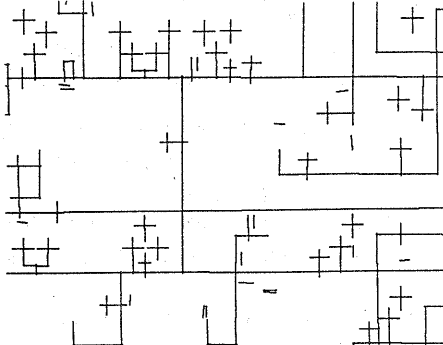
このシンボルの置き替えにより、短い配線がシンボルに接続していても、置き替えにより延長され、抽出が容易になる。抽出はRV法により行う。例を図16に示す。

#### 4.3 整形処理

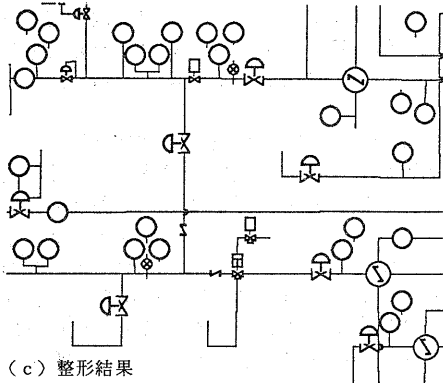
MD木を用いて2.4で述べた整形処理を行い、同時にシンボルと配線の接続関係を調べる。抽出された線がシンボル上を通る場合はシンボルとの接続を調べ、延長した部分の短縮、あるいは削除を行う (図16)。



(a) シンボルを置き替えた画像



(b) R V法による直線抽出結果



(c) 整形結果

図17 配管設備図の認識結果

#### 4. 4 認識結果

シンボルの位置情報を用いた認識の結果を示す。シンボル認識にはRTM法を用いている。シンボル認識時間は69.1秒(計算機はAPOLLO DN560, 1024x800画素の画像、テンプレートは18種)であった。図17(a)は、図12の配管図において、認識したシンボルを置き替えた画像である。この図17(a)の画像から、RV法により線を抽出した結果が図17(b)である。水平、垂直の2方向のテンプレートで抽出を行った。線幅

は3画素、テンプレートの長さは10画素である。シンボルに接続している線は、すべて抽出されている。線認識の処理時間は15.6秒(APOLLO DN560, 1024x800画素)であった。図17(c)は、図17(b)の抽出結果に整形処理を施し、シンボルを重ねて書いたものである。整形処理の処理時間は約7秒であった。

#### 5. おわりに

図面画像のビットマップと、それをシフトさせた画像のビットマップとの間でラスタ演算を実行することにより、図面画像中の特定方向の線成分を抽出するRV法を示した。異なる方向の成分は除去されるため、直線が他の直線と交差、あるいはシンボル、文字と接触していても、一本の長い直線として認識することが可能となる。この手法は、街路図など直線成分主体の図面の線認識に有効である。機械図面など曲線成分の多い図面では、細線化法との併用により高品質の線図形が得られ、また、シンボルを持つ設備図面では、シンボルの置き替えにより、シンボルに接続する短い線の抽出も可能になる。ラスタ演算は、ここで示したシンボル、線の抽出以外にも膨張・収縮処理など二値画像処理に広く応用できる。

#### 参考文献

- 1)棟上, 佐藤: 図面の自動認識と理解, 情報処理, Vol. 24, No. 9, 1086-1094(1983).
- 2)阿部, 亀井, 中村: ラスタ演算による設備図面のシンボル認識, 電学論(D), Vol. 107-D No. 4, 472-478(1987).
- 3)坂村: 高機能ワークステーションのアーキテクチャ, 情報処理, Vol. 25, No. 2, 93-102(1984)
- 4)R. O. Duda, et. al: Use of Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures, CACM, Vol. 15, No. 1, 11-15(1972).
- 5)田村: 細線化法についての諸考察, 信学技報, PRL75-66(1975).
- 6)大沢, 坂内: 多次元データ構造を用いた図面処理-図形のベクトル化-, 信学論(D), Vol. J68-D, No. 4, 845-852(1985).
- 7)長尾: 試行錯誤的の形状認識方式とそのハードウェア化, 信学論(D), Vol. J68-D, No. 4, 442-448(1985).
- 8)P. M. Merlin et. al: A Parallel Mechanism for Detecting Curves in Pictures, IEEE Trans., Vol. C-24, No. 1, 96-98(1975).
- 9)中村, 阿部: 多次元データの木構造による管理 - MD-tree の提案 -, 信学技報, PRU87-37(1987).