

重なりあった二次元形状の認識

中村裕一 長尾真
京都大学工学部

モデルをあらかじめ登録してある2次元形状がいくつか重なりあって、お互いに隠れしあっている場合にも、それらを正しく分離し認識する方法について述べる。

本研究では、認識対象を直線の集合とそれらが持つ局所的な特徴の集合として表わす。これらの特徴からモデルを推定し、それらの特徴を組み合わせることによって候補モデルを可能性の高いものに限定する。モデル候補が絞れたものについては、改めてモデルとの詳細なマッチングを行なう。この様な二段階の認識処理を行なうことにより、柔軟で効率のよい認識を行うことができる。

Recognition of Partially Occluded 2-D Objects

Yuichi NAKAMURA Makoto NAGAO
Department of Electric Engineering, Kyoto University
Yoshida-hommachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606 Japan

This paper describes a new method for the recognition of partially occluded 2-D objects.

This method considers an object as a set of straight lines combined each other locally as typical features of an object. Possible candidate models are estimated from these features, and detailed structural matching is performed between these models and the features obtained from a picture. Even if the whole structure is not obtained due to a partial occlusion, the system can infer an object if some unique features of the objects are obtained. Lines are matched with a model minutely when model candidates are limited to one or a few.

1. はじめに

ここ数年来、ベルトコンベア上の物体の認識などの応用を目的として、2次元形状の認識が研究されてきた。これらの研究では、図形同志が重なりあって一部分が隠されているような場合でも、対象の効率の良い分離と認識を行なうことが目的とされている。

認識対象が重なりあっている場合には、①隠べいにより見えない部分ができ、情報が失われる。②複数の対象図形の特徴が混在し、それらがどの図形に属するかを判断することが困難であるのでセグメンテーションが難しい。等の問題があり、単独に存在する物体の認識方法をそのまま応用することはできない。

従来の研究¹⁻⁷⁾では、部分的に隠された認識対象とモデルとのマッチングをとる方法(①の問題)についてはある程度成功してきたが、②の問題のために入力画像データからモデルを推定する部分が貧弱であった。例えば、認識の段階で認識対象のある辺と長さが似ている直線を画像中から探し、それを基に画像中の直線群とモデルとのマッチングを行うといった単純な直接のマッチングしか行なっていないものが多い。この様な方法では、隠べいに対して柔軟な認識を行えないばかりでなく(例えば、最初に探すべき辺が隠べいされているような場合)、モデルの数・複雑さが増すに連れて認識の効率が非常に悪くなる。

本報告では、画像中の何本かの直線が組み合わさって構成される複合特徴を用いて認識対象のモデルを絞ることに重点を置き、効率のよい認識を行う方法を提案する。この方法では認識対象を直線の集合で表わし、そこから隠べいが起こっても発見しやすい局所的な特徴をいくつか取り出し、それらの特徴を組み合わせることによって候補モデルを可能性の高いものに限定する。候補モデルが少数に絞れたものについては、あらかじめ詳細なマッチングを行って、推定したモデルの確認を行なう。この様な認識方法をとることにより、どの部分が隠べいされるか予想のできない場合でも柔軟な対応ができ、詳細なマッチングの回数を少なくすることができる。

この認識方法でドライバーやペンチ等の工具の2次元形状の認識を試み、その有効性を確かめた。

2. 認識処理の概要

システムの概要を図1に示す。モデルのデータは、モデルが持つべき特徴のデータ群と個々のモデルの構造に関するデータとに分けて管理され、それぞれモデル推定部分、マッチング部分で参照される。モデルの構造記述及びその作成については3~4章で述べる。

認識処理の流れは、図1の矢印のように①前処理・直線抽出、②モデル推定、③マッチングの順になる。上記の認識処理①~③については、それぞれ5章~7章で詳しく述べる。

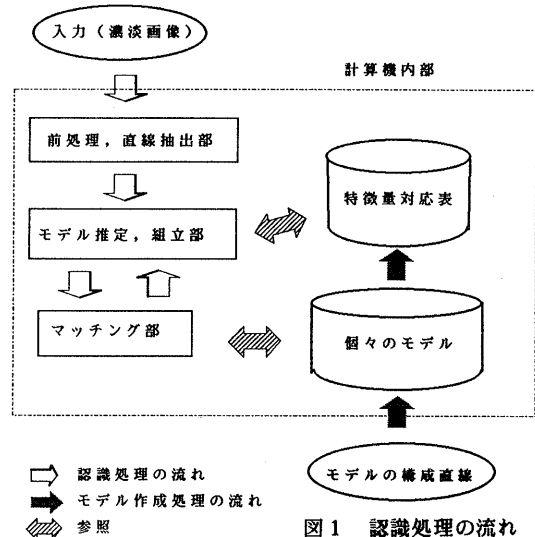


図1 認識処理の流れ

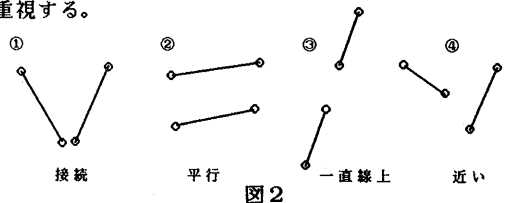
3. 認識対象の特徴とモデル記述

大ききの違う相似な対象図形を同一のモデルによって扱うため、認識対象及び認識対象のモデルは直線とそれらの直線間の相対的位置関係の集合と考える。

3.1 直線同志の位置関係と複合特徴

2直線間の位置関係として次の4つを考える。
①接続。②平行。③一直線上にある。④お互いの距離が近い。(図2参照)

これらの位置関係は図形に隠べいがある場合でも多く現れ、これらの位置関係を満たす直線同志が同一図形に属する可能性が比較的大きい。ここでは、①~④の順に同一図形に属する可能性が高いと考え、その順に重視する。



上で述べた位置関係のうち、明確な特徴と考えられ、比較的多く現れる①、②を基にして、複合特徴(複数の直線の組)を考える。相似な図形どうしを同一のモデルによって扱うため、相対的な位置関係を特徴量として使用する。これらは次のようなものである。

- (1) 角: 二直線のなす角。
 - (2) 平行二直線: 二直線間の距離と二直線の長さの和との比(縦横比)。
 - (3) 平行直線群: 3本以上の直線がお互いに平行な場合、これらをまとめて一つの特徴として考える。特徴量は平行線二直線の場合と同様に考える。
- ②で縦横比の小さいものや、③、④は、特徴

としては使用しないが、後で述べる特徴同志の組合せを考える条件とする。

3. 2 対象図形の構造記述

対象図形を構成する直線は、図形の輪郭線である必要がなく、またお互いに接続してなくても良い。対象図形の構造記述は、対象図形の構成直線と直線の集合が持つ角などの特徴によって表わす。それらは以下のようになる(図3参照)。

- 直線集合: ①直線の位置(座標)のデータ
 特徴集合: ②角のデータ, ③平行線のデータ,
 ④平行直線群のデータ

```
NAME: MODEL-2

:: <<LINE-DATA>>
:: (1) LINE-LIST
::
:: <line>:=(name),<x1>,<y1>,<x2>,<y2>,<length>,<orientation>)
:: ((LINE1 -99.375 -11.675 -126.375 47.125 65.74182 116.17529)
:: (LINE2 153.625 -3.675 -126.375 46.125 286.39832 169.94566)
:: (LINE3 72.625 -31.675 154.625 -2.675 86.977995 19.476574)
:: (LINE4 72.625 -31.675 -97.375 -16.675 171.29214 172.95795))
::
:: <<FEATURE-DATA>>
:: (2) CONNECT-PAIRS:
::
:: <connect-pair>:=(angle),<model-name>,<line1>,<line2>,<type>)
:: ((29.530604 MODEL-2 (LINE2) (LINE3) 2)
:: (153.48137 MODEL-2 (LINE3) (LINE4) 1)
:: (123.21735 MODEL-2 (LINE4) (LINE1) 3)
:: (83.778398 MODEL-2 (LINE1) (LINE2) 4))
:: (3) PARALLEL-PAIRS:
::
:: <parallel-pair>:=(aspect-ratio),<model-name>,<line1>,<line2>)
:: ((4.9520884 MODEL-2 (LINE2) (LINE4)))
:: (4) MP-GROUPS:
::
:: <mp-group>:=(number-of-lines),<parameters>,<model-name>,<lines>)
:: n11
```

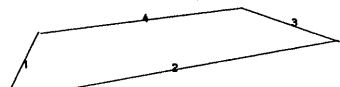


図3 モデル記述例

3. 3 特徴とモデルとの対応表

未知対象の認識処理において、ある特徴が発見されたときに、その特徴に対応する特徴を持つかどうかを全てのモデルについて調べることは効率が悪い。そのため、特徴とモデルとの対応をとるための特徴量対応表を個々のモデルと別に用意し、未知対象のモデル推定処理では、この表を参照する。この表は、全てのモデルの特徴をまとめて、特徴を軸として並び変えたものであり、ある特徴が発見されたときその特徴を持つモデルは何かはすぐ分かるようにしてある。例えば、図4に示す角の特徴量対応表は、全てのモデルの全ての角を、その角の値によってソーティングして作成する。この処理は、モデル集合が変更(追加・削除・修正等)になるたびに再行われる。

```
:: <<DATA-NAME>>
:: 'CORNER
:: <<MODEL-LIST>>
:: (KNIFE HEXAGON WIRE2 WIRE YATTOKO CAP PENCAP PENCH CLIP RIBON)
:: <<DATA-LIST>>
:: <corner>:=(angle),<model-name>,<line1>,<line2>)
:: ((1.1664014 YATTOKO (LINE10) (LINE1))
:: .....
:: (84.41774 CAP (LINE6) (LINE1))
:: (84.78385 PENCH (LINE11) (LINE10))
:: (88.04451 HEXAGON (LINE5) (LINE7))
:: (88.45100 KNIFE (LINE6) (LINE7))
:: (89.71410 KNIFE (LINE7) (LINE1))
:: (89.97446 RIBON (LINE11) (LINE10))
:: (89.80713 CLIP (LINE2) (LINE3))
:: (90.86507 RIBON (LINE10) (LINE9))
:: (91.11627 CAP (LINE4) (LINE5))
:: (92.906006 HEXAGON (LINE7) (LINE2))
:: (93.731905 CAP (LINE3) (LINE4))
:: (94.32257 HEXAGON (LINE4) (LINE6))
:: (97.020096 PENCH (LINE10) (LINE9))
:: (98.00095 RIBON (LINE4) (LINE5) (LINE6))
:: (107.19151 PENCH (LINE1) (LINE2))
:: (109.169235 PENCH (LINE10) (LINE17))
:: .....
:: (332.1392 YATTOKO (LINE6) (LINE9))
:: (335.8559 WIRE (LINE9) (LINE10)))
```

図4 特徴量対応表例

4. モデルの自動作成

認識処理の前に、対象図形のモデルを自動作成し、システムに登録する。その手順は図5のようになる。

① 構成直線の抽出とその修正: 対象図形をTVカメラで撮影して画像処理システムに入力し、前処理を行なった後、スリット法によって直線を抽出する。この前処理・直線抽出処理は未知対象の認識処理と同様の処理を行っており、詳細は5~6章で述べる。抽出された直線をディスプレイに表示し、人間が目で見ながら修正することが可能であり、現在の段階ではほとんど何らかの修正を行なっている。これは、影、反射等の影響のために、1回の入力画像だけで十分な直線を抽出することが難しいためである。

② 特徴の抽出: 直線の組合せから既に述べた(1)(2)(3)の直線の組合せ特徴を抽出し、特徴の持つ特徴量を計算して、個々のモデル記述の表に書き加える。
 ③ 特徴量対応表への特徴の登録: 全ての特徴を特徴量の値によって参照しやすい形に並びかえて特徴量対応表とする。

この様に、未知対象の認識処理過程で実際に抽出されやすい特徴を重視してモデルの作成を行うことによって、人間が最初から理想図形を与えた場合に比べて、画像中から抽出された特徴とモデルの持つ特徴の一致をとりやすい。

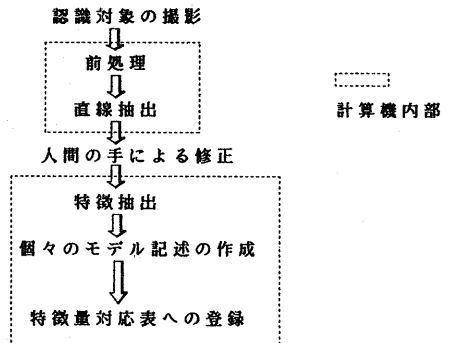


図5 モデル作成処理の流れ

5. 前処理と直線抽出

5. 1 前処理

2次元形状(工具類等)をテレビカメラで撮って画像処理装置に入力し(図6参照)、次のような順に処理を行なう。①ノイズ除去のための平均化フィルタリング, ②空間微分(SOBEL OPERATORによる一次微分), ③二値化(しきい値処理), ④1の値を持つ領域の拡大と収縮による雑音除去。このようにして図7の様な線図形を得る。

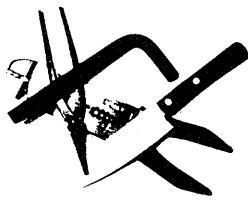


図6 原画像

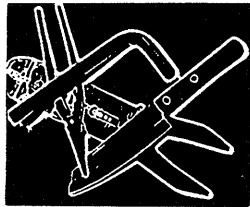


図7 前処理後

5.2 スリット法による直線抽出

直線抽出部分では、スリット法⁸⁻⁹⁾による直線抽出を行う。まず、図8aのように画像全体に大きなスリットをかけ射影曲線を求める。その射影曲線の中で、ある値(しきい値)以上の鋭いピークを持つ部分があれば、その部分に直線が存在する可能性がある。図8bのように細いスリットをその部分に何回かかけ直して詳しく調べる。その結果ある条件を満たせば、直線が存在したとする。これを、スリットの方向を変えて繰り返し行なうことにより、ある長さ以上の全ての方向の直線を抽出することができる(図9参照)。

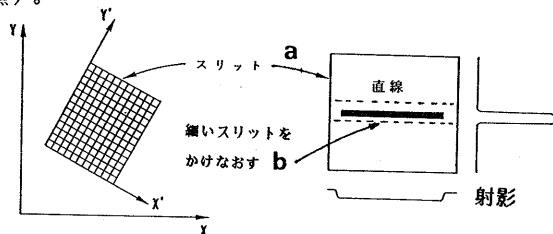


図8 スリット法による直線抽出

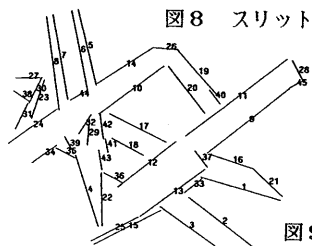


図9 直線抽出結果

6. 認識対象に対するモデル推定

モデル推定部分の処理の流れを図10に示す。ここでは、上記の方法により抽出された直線から、①位置関係を抽出して、それにより直線の大まかなグループ分けを行なう処理、②個々の位置関係特徴から得られる複合特徴からモデルを推定し、さらにそれらを組み合わせて候補モデルを限定する処理を行なう。

6.1 位置関係抽出とグループ分け

ここでは、同一の対象に属する可能性が大きな直線同志をまとめて、全体の直線をいくつかのグループに分ける。まず、抽出された直線の集合から、接続、平行、一直線上、の関係を求める。ここでは二直

線の全ての組合せについてそれらの関係が成立するかどうかを調べる。次に、これらの何らかの位置関係が認識された直線同志が必ず同一のグループに含まれるように直線集合をグループ分けしなす。このようなグループ分けを行うことにより、同一図形に属する可能性の小さな直線同志が分離される。十分に境界線が抽出された場合には、このような簡単な処理で重なりあった形状を分離できる(図11参照)。しかし、境界線が十分に抽出されなかった場合等は、このような方法だけで分離するのは難しい。

ここで一つのグループとして認識された直線集合は、同一対象に属する可能性の高いものであり、以下の処理はこのグループごとに行なう。

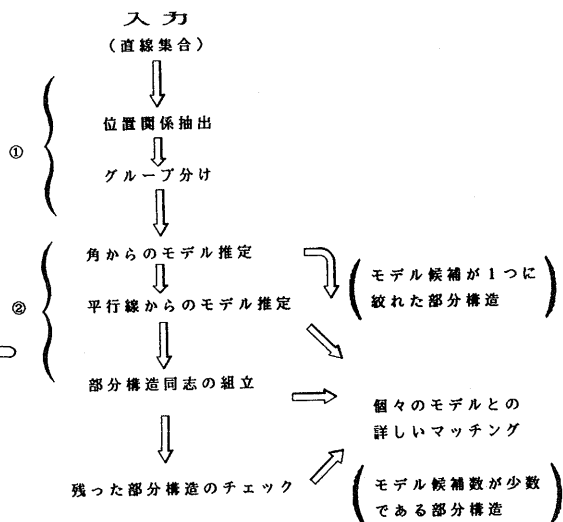


図10 モデル推定処理の流れ

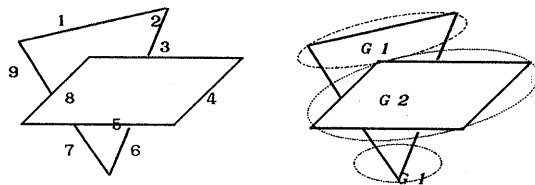


図11 グループ分けの例

- 位置関係
接続 : (1 2), (3 4), (4 5), (5, 8), (8 3), (6 7), (9 1)
- 平行 : (3 5), (4 8)
- 一直線上 : (2 6), (7 9)
- グループ分け結果
G1 = {1, 2, 6, 7, 9}
- G2 = {3, 4, 5, 6}

6.2 対象図形に対するモデルの推定

抽出された直線群の位置関係から複合特徴を作り、その特徴量からモデルを推定する。しかし、ここで用いる局所的な特徴は対象図形内に多数存在し、モデル相互間でも、特徴量として近い値を持つ特徴が多く存在する。そのため、個々の局所的な特徴では、そ

れに対する推定モデルの数が多くなる。

この問題を解決するために、局所的な特徴量を組み合わせることにより、その対応モデルの可能性を減らす。その際に、同一対象に属する可能性の高い位置関係から順に特徴の組合せを考える。その結果、対応モデルが一つにしばられた場合には、その候補が正しいものであることを確認するために、モデルとのさらに詳しいマッチングを行なう。その詳細は以下のようなになる。

6. 2. 1 角からのモデル推定

次のような処理を順に行い、各々の角から対応モデルを推定する。

① 3本以上の直線が接続している接続点の分解：
3本以上の直線が接続している接続点を2本の直線の接続に分解する。スリット法による直線抽出の様に、輪郭線以外の直線を抽出するような場合には、線の接続関係が複雑となり、そのままではモデルの推定が行えないので、この様な判断を行なう必要がある。図12に示すように、まず、同一の直線（または、境界線とそれによる影の線）と考えられる線を1本にし、次に線の両側の濃淡、お互いの角度、長さなどを使い、それらを総合して接続関係を推定する。そのために、接続している直線の全ての2直線の組について、(I)お互いのなす角が180度に近い、(II)長さが長い、(III)直線の両側の濃度が近い、を評価し、評価の高いものから順に接続していると見なす。

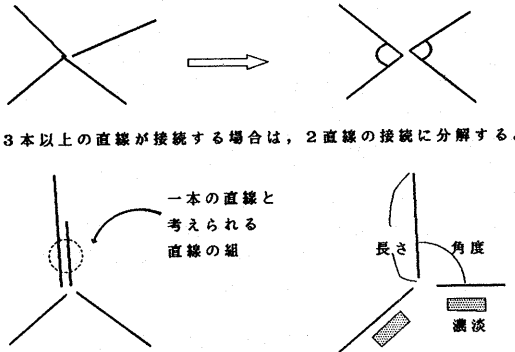


図12 接続の分解

② 180度に近い角を持つ直線を一本にする：曲線は直線の集合として抽出される。この近似はスケールの変化や他の形状の影響に対して不安定で、このように折れ線近似されたものどうしを比較して一致をとることは難しい(図13a参照)。しかし、比較的曲率が小さいゆるやかな曲線が何本かの直線として抽出される場合には、図13bのように180度に近い角を持つ複数の直線を一本の直線として考えることができる。

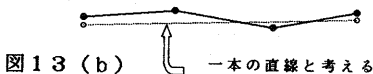


図13 (b) 一本の直線と考える

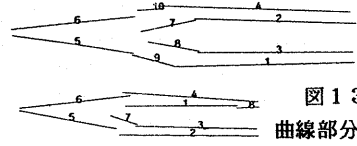


図13 (a)

曲線部分の直線抽出例

③ 角の内側外側の判断：①②により直線のつながりが確定する。それぞれのつながりの内側(物体側)を決定するために次のような処理を行なう。そのために、図14のように直線の両側の小領域の濃度を求め、どちらかが背景の濃度に近ければその方を外側にする。両方とも背景の濃度と大きく異なる場合には、連続している直線の内角の和の小さくなるように決める。

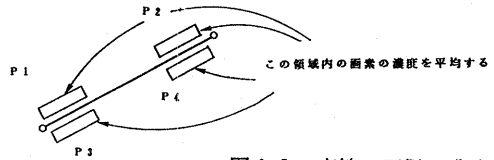


図14 直線の両側の濃淡

④ 個々の角からのモデル推定：直線抽出その他の誤差を考えて、内角の値に対してある許容範囲内にあるモデルの角のすべてをその候補部分モデルとする(以後、モデルの一部を「部分モデル」と呼ぶ)。

6. 2. 2 接続関係による角の組立

上記の処理から得られる直線のつながりからそのまま角のならびが得られる。角が2つ以上つながっている場合には、図15のように、各々の角から推定されるモデルの角が連続するものを探し出す。特徴量対応表により、角に対応する部分モデル(ここではモデルの角を構成する2直線)が求まるので、隣あう角について、その直線を共有するかどうかを調べれば対応する部分モデルが連続しているかどうかを判定できる。この際に、包含関係にあるものは、含まれている方を一時的に除去し、含んでいる方がマッチングなどで否定されない限り考えない。また、包含関係にないものは、お互いに矛盾していても排除しない。

直線の並び	L1	L2	L3	L4	L5
角の並び	C1	C2	C3	C4	
対応部分モデル	(M11 M12)	(M12 M13)	(M18 M19)	(M15 M18)	
	(M13 M17)	(M15 M18)	(M19 M20)	(M22 M24)	
	(M20 M25)	(M27 M28)	(M32 M35)	(M27 M28)	
	(M31 M34)	(M33 M38)	(M35 M36)	S3

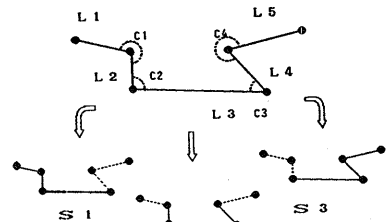


図15 接続関係による角の組立

このような角のならばは、含まれる直線集合を一つにまとめて部分構造として扱う。以後、このような複数の直線の集合を部分構造として扱い、計算機内では、構成直線とそこから推定されるモデルを記述中に含むオブジェクトとして考える（図16参照）。



(例) 直線集合：
 {L1, L2, L3, L4}
 候補部分モデル集合：
 { {M1, M2, M3, M4},

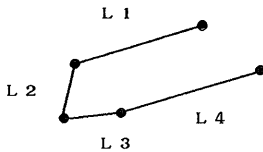
 {M6, M7, M8, M9} }
 (M*はモデル中の直線とする)

図16 部分構造の例

6. 2. 3 平行線からのモデル推定

平行線、平行線群からモデルの推定を行なう。隠ぺいに対処するために、平行線・平行線群は、得られた特徴量（縦横比）以上の値を持つもの全てを対応部分モデルと考えなければならない。そのため、縦横比の小さい平行線は候補部分モデルが多くなるので、縦横比の比較的大きなものをモデルの推定に使用する。

まず、お互いに平行な3本以上の直線があるかどうかを調べ、あればそれらを平行線群としても使用する（平行2直線としても使用する）。次に、これらの平行2直線・平行線群の各々について、その対応部分モデルを推定し、部分構造を生成する。ただし、構成2直線の両方を含む部分構造が既に存在する場合には、その平行2直線から推定される部分モデルを使ってその部分構造のモデル候補を限定することも行なう（図17参照）。



角の並び {L1 ~ L4} の候補部分モデル集合：
 B1 = { (M1 M2 M3 M4), (M5 M6 M7 M8),
 (M9 M10 M11 M12), }

平行線 {L1 L4} の候補部分モデル集合：
 B2 = { (M1 M4), (M5 M6), (M8 M9), }

チェック後の候補部分モデル集合：
 B3 = { (M1, M2, M3, M4), }

図17 モデル候補のチェック

6. 2. 4 部分構造どうしの組立による大きな部分の推定

接続関係、平行関係により得られた基本的な部分構造は多くの場合複数の候補モデルを持っているので、それらを更に組み合わせることにより候補モデルをしぼる。この組合せの条件は、一直線上にある、平行、距離が近い等の位置関係と、部分構造の領域の方向の整合性を条件に用いる（図18参照）。このような組合せを下記の位置関係の順（①～③）に行う。
 ① 部分構造の端の直線どうしが1直線上；内側が同一の側に推定されている。
 ② 部分構造に含まれる直線どうしが平行；お互いの挟む領域に対する方向が、内側同志か外側同志である。
 ③ 部分構造の端の直線同志が近傍にある；内側と推定されている方向が矛盾しない。



1 一直線上 2 平行 3 近い
 内側と推定されている領域

図18 部分構造同志の組立

これらの組合せを考える手順は以下のようにする。まず、位置関係が認識された直線の対を1つ選び、各々の直線が含まれる部分構造を求める。1本の直線が複数の部分構造に含まれる場合には、両方の直線から求まる部分構造のすべての組合せについて考える。これらの組合せについて、以下の処理を行う。

- I) 異なる部分構造の組の場合： 上記のように2つの部分構造の領域の方向の整合性、推定部分モデル間の整合性を調べ、整合性が確認されたならば、それらをひとまとめにした新しい部分構造を生成する。
- II) 同一の部分構造である場合： この位置関係から推定される部分モデルとの整合性を考えて、部分構造のモデル候補を絞る（図17参照）。

新しい部分構造が生成された場合及びモデル候補のチェックが行なわれた場合には、その度にモデル候補数のチェックを行い、モデル候補が1つに絞れればすぐに詳細なマッチングを行う。

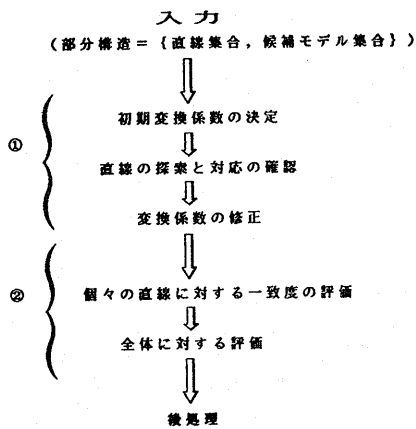
6. 2. 5 残った部分構造に対するモデル決定

上記の様な方法で、すべての部分構造の組み合わせについて処理を行なった後でも、モデル候補が絞れずに複数のモデル候補が残った部分構造が残る場合がある。その様な部分構造に対しては、これ以上入力データからモデルを絞ることができないので、直接候補モデルとマッチングを行って対応モデルを決定する。そのためにまず、それぞれの部分構造について、含まれる直線と候補モデルの数の比を求める。①比の値がしきい値以下の（含まれる直線の数が多く、候補モデルの数が少ない）部分構造については、各々の候

補モデルと詳細なマッチングを行い、評価の高かったものを認識結果とする。このしきい値を大きくすれば、多くの対象を認識できる。しかし、認識処理のコストとトレードオフの関係にあるのであまり大きくはできない。②比の値がしきい値以上の（モデル候補の多い）部分構造は残したまま認識処理を終了する。

7. マッチング

モデル推定部分で得られる部分構造では、図形形状の一部分でのモデルと直線群との対応が与えられているので、そこで得られる座標変換係数等のパラメータがモデルの他の部分についても成立するかどうかを確認する必要がある。このマッチング部分の処理は、①未対応の直線の探索、およびモデル記述中の座標系と画像中の座標系との座標変換係数の計算を行なう部分、②座標変換係数を用いて、モデルと画像中の直線との一致度を評価する部分からなる（図19参照）。①では、最初に得られた部分的な対応を基にして、未対応の直線を順に探しながら変換係数の修正を行う。このようにして直線の対応と変換係数の決定が終了した後に、②で一致度の評価を行なう。



7.1 マッチングのための座標変換係数

① 座標変換係数：真上から見た場合のみを対象としているので、モデル記述中の座標系と対象画像の座標系との対応は、相似変換（拡大縮小・回転移動・平行移動）だけで表され、その変換式は次のようになる。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} TX \\ TY \end{pmatrix} + K \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (7.1)$$

（但し、TX、TYは平行移動、Kは縮尺、 θ は回転角を表す。）

原理的には一本の直線の対応（または、2点の対応）が与えられれば、上式により座標変換係数が求まるが実際には②のようにする。

② 初期変換係数の決定：部分構造から得られる初期対応により、初期変換係数を求める。隠ぺいのため

に直線の一部分が隠されている場合があるため、初期対応で与えられる直線の端点のうち、他の直線と接続している端点のみを使用する。複数の直線により座標変換係数が計算可能な場合には、各々の直線ごとに求まった係数を、直線の長さで重みをつけて平均をとり、全体の係数とする。

$$P = \frac{\sum L_i \cdot P_i}{\sum L_i} \quad (7.2)$$

（但し、i番目の直線の長さを L_i 、その直線による座標変換係数を P_i とする。）

7.2 未対応の直線の予想と探索

初期変換係数を求めた後、画像中の直線群からモデル記述中の直線（未対応のもの）と対応するものを探索する。対応する直線があれば、この対応を用いて変換係数を修正する。この探索には、下記の2つの方法を用いる。

① モデル記述中の角、平行線の位置関係の情報から次に探すべき線を探し、画像中の位置関係の情報により、対応する直線を探し。変換係数の不正確さの影響を受けにくく、既に位置関係抽出の段階でその情報を求めているので探索のコストも小さい。

② モデル記述中の直線の位置情報から、座標変換係数を使って予想位置を求め、その条件を満たす直線を画像中の直線群から探し。既に対応のとれている部分の直線から前述のような位置関係の情報で発見できない直線を探しすることができる。しかし、変換係数の誤差の影響を受けやすく、①に比べてコストがかかる。

ここでは①を優先し、①で対応するものが発見できない場合に②の方法で探索する。対応する直線の候補が見つかった場合には、次節で述べるような対応の確認と変換係数の修正を行う。

また、直線の1対1対応として考えられない場合には、多対多対応をとる。例えば、図20のように直線の方向および片方の端点のみの位置が許容範囲内にあるような場合には、多対多対応として考え、次にもう一方の端点と接続している直線、または一直線上にある直線を探し。これを繰り返すことにより多対多対応部分の対応をとる。

このようにして、モデル記述中の全ての未対応の直線について探索を行う。

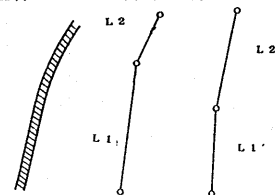


図20
多対多対応の例

7.3 対応の確認と変換係数の修正

探索により候補が上がった直線から座標変換係数を求め、既に対応のとれている部分の変換係数に対してある許容範囲にあるかどうかを確認する。許容範囲があれば7.2式により変換係数を修正する。この許容範囲は直線の対応がとれていくにつれて小さくなるように動的に変化させる。

また、変換係数が許容範囲にない場合で、多

対多対応として考えられる場合には、対応だけを記録し、変換係数の修正は行なわない。

7. 4 マッチングの評価

上記の処理を行なうことにより、座標変換係数が決定し、大まかな直線の対応が求まる。これらを使って画像中の直線群とモデルとの一致度の評価を行なう。まず、個々の直線の対応の評価を行い、その結果を重みづけ平均して、全体としての評価を行なう。この様な評価を行うことにより、入力として与えられた部分構造とその推定モデルが正しいかどうかを判断し、それを認識結果とするかどうかを決定することができる。

① 個々の直線の一致度の評価

隠れい線や線の途切れに対処し、さらに曲線部分の一致度の評価もできるように、2直線が近傍にある部分とそうでない部分の割合を考える。そのために、一方の直線の周囲にマッチング領域を考え、その領域に他方の直線部分の含まれている割合を一致度の評価とする(図2.1参照)。

$$M = L_{in} / L \quad (7.3)$$

(但し、Mは個々の直線に対するマッチングの評価、 L_{in} はマッチング領域に含まれる部分の長さ、Lは直線の長さとする。)

マッチング領域は直線抽出の誤差に影響されない程度の大きさとする。実験では、この領域を1.0~1.5画素程度の幅とすることにより良い結果を得た。

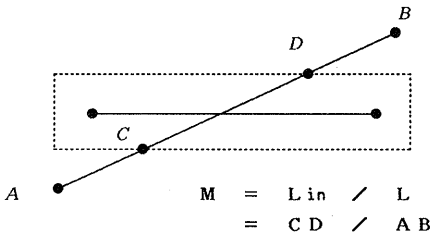


図2.1 マッチング領域

画像中の対応のとれた直線を座標変換係数を使って、モデル記述中の座標系に変換し、モデル中の直線各々について上式のような計算を行なったもの(M_{model})と画像中の直線について行なったもの(M_{image})を求める。この際に、前述のように直線同志の多対多対応しか与えられない場合は、対応する全ての直線に対して上式の値を求めて対応している直線のマッチング領域全てについての結果を加える(図2.2参照)。

$$M = \sum L_{in} / L \quad (7.4)$$

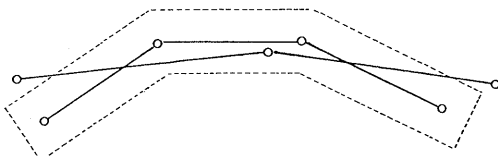


図2.2 多対多対応部分のマッチング領域

② 全体の評価

全体の評価は、次のように、各々の直線の一致度の評価を直線の長さLと下記に説明する直線の重み(W)によって重みづけし平均する。

$$M_{image}(\text{or } model)$$

$$= \sum_{image(model)} M_i \cdot L_i \cdot W_i / \sum L_i \cdot W_i$$

$$M_{all} = B_1 \cdot M_{image} + B_2 \cdot M_{model} \quad (7.5)$$

(但し、 M_{all} は全体の評価、 M_i は個々の直線に対するマッチングの評価、 L_i は直線の長さ、 W_i はその直線に対する重みとする。)

重み W は、その直線が部分構造に含まれていたかどうかによって変える。部分構造に含まれていた直線はモデルを限定するだけの特徴が存在する部分であり、これによってモデル候補が少数(多くの場合は1つ)に限定されている。それに対して他の部分では、他の形状により隠されてマッチングしていない可能性や、他のモデルの直線と間違っただけで対応している可能性がかなりある。そのため、部分構造に含まれていた部分を重視して重みを大きくし、その他の部分では重みを小さくする。

この M_{all} によって最終的な評価を次の3段階に区別する。これは、単純に2つのしきい値により判定する。

① マッチングに成功したとして、その部分のモデルを確定する。② 保留とし、お互いに矛盾する部分構造についてもマッチングを行う(その中で評価の高かったものを認識結果とする)。③ マッチングに失敗したとして部分構造を消去する。

7. 7 マッチングの後処理

このマッチングの結果によって他の部分構造の書き換えを行う。このような部分構造の消去、モデル候補の書き換え、部分構造の復活を行うことにより、正しい部分構造(とそのモデル候補)が残っていく。

① マッチングに成功した場合: マッチングによりモデルの直線と認識された直線は画像中の直線群から消去し、これ以後の認識処理では使用しない。また、それらの直線を含む部分構造は正しい特徴集合ではないと考えられるので、全て消去する。これにより部分構造の数が減り、残った部分構造の認識の効率が良くなる。

② 保留の場合: 何も行わない。

③ マッチングが失敗した場合: この部分構造を消去する。但し、その部分構造に含まれる直線は消去しない。

8. 実験例と考察

8. 1 システム構成

この研究ではハードウェアとして、画像処理専用計算機(TOSPIX)とLISP専用計算機(Symbolics)を使用した。この2つの計算機間は、RS232C回線で接続され、データの転送及びお互いの起動が可能で

ある。前処理・直線抽出などの画像処理に関する部分はTOSPPIXで行ない、モデル推定、マッチングなどの認識処理部分は、Symbolicsで行った。

8.2 実験例

①平面図形（紙片を適当な形に切り取ったもの）：モデル数10、②平面的な物体（工具類）：モデル数10、の2種類について、対象同志が複雑に重なって存在する場合の認識実験を行った。図6が原画像で、これは対象をテレビカメラで撮影した濃淡画像である。これに対して前処理を行うと図7となり、次に直線抽出を行った結果が図9になる。ここで抽出された直線の座標データが後の認識処理部分の入力となり、これをもとに認識を行った経過を図23の(a)～(e)に示す。この例では、処理全体で12回マッチングが起動され、4個の形状が認識された。他の2例の認識結果を図24に示す。

8.3 実験結果の考察

・成功率について：平面図形については、お互いの境界線が消えている場合が多いにも関わらず、成功率の高い認識が得られた。②の平面的な物体については、かなり曲線が含まれており、その部分の直線抽出がうまくいかない場合があること、物体の内部の境界線が抽出されて複雑になること、影の影響によりエッジが抽出されないことが多いこと、等の条件に大きく左右され、認識できない形状が少しあったが、おおむね良好な結果が得られた。

・マッチングの起動：上の結果に見られるように、マッチング処理の起動回数は非常に少なくして良い。②の形状では、大体の目安として入力画像に存在する形状の個数の2～3倍の回数となった。

・位置関係による組合せの有効性：角の並びの特徴で最も多くの形状が認識された。①の様な簡単な形状では、多くの場合全ての形状が認識された。平行線による組合せは、角の並びほど多くは現れないが、②の様な棒状の部分を持つ形状に対して有効であり、その結果も正しいものが多い。一直線上にあるものの組合せについても、同様のことがいえる。最後の、近傍にある直線同志の組合せは、組合せの数が多くなり、その結果が正しくない場合が多かったが、この段階で初めて認識される形状もかなりあった。

9. 結論

物が重なりあっている場合に認識が難しくなる理由は、隠べいによって見えない部分ができるということに加えて、お互いの境界がうまく認識できないために各々の特徴がどの物体に属するのかが判断できないという点にある。

その様な場合の認識方法として、個々の局所的な特徴からモデルの推定を行い、それらの局所的な特徴を、推定したモデル同志の整合性を考えながら組み合わせ認識することを考えた。この方法により、多数の異なった対象が重なって存在している場合でも効率の良い認識が行えることを確認した。

参考文献

- 1) Haettich W., Recognition of Overlapping Workpieces by Model Directed Construction of Object Contours., DSIA, VOL.1, No.2-3
- 2) H.Tropf, Analysis-by-synthesis search to interpret degraded image data, Proc. Robot Vision and Sensory Controls.1981 Stratford-upon-Avon, UK
- 3) Nicholas Ayache, Oliver D. Faugeras, A new approach for the recognition and positioning of two-dimensional object, IEEE Trans. VOL. PAMI-8 No.1 1986
- 4) S. Castin, J. Shen, N.Q. HE, A Method for Recognition and Positioning of Partially Observed Objects, Proc. CVPR '86 IEEE
- 5) Thomas Skordas, Radu Horaud, Planning a Strategy for Recognizing Partially Occluded Parts, Proc. CVPR '86 IEEE
- 6) P. Rummel, W. Beutel, Workpiece Recognition and Inspection by A Model-Based Scene Analysis System, Pattern Recognition. Vol.17 No.1 pp.141-148, 1984
- 7) Peter Rummel, GSS - A Fast, Model-Based Gray-Scale Sensor System For Workpiece Recognition, Proc. CVPR '86 IEEE
- 8) 長尾 真, 「試行錯誤的形狀認識方式とそのハードウェア化」信学論 '85/4 vol. J68-D No.4 p.442-448
- 9) 中島重義, 長尾真, 「可変スリット法とハフ変換の関係」, 情処研報, CV-47-4, 1987

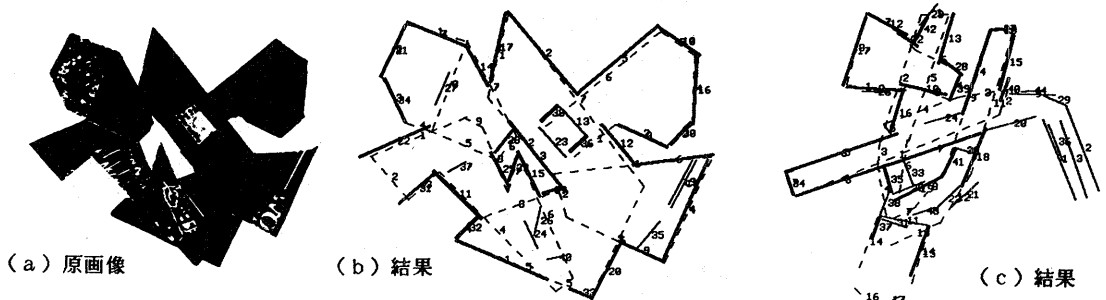
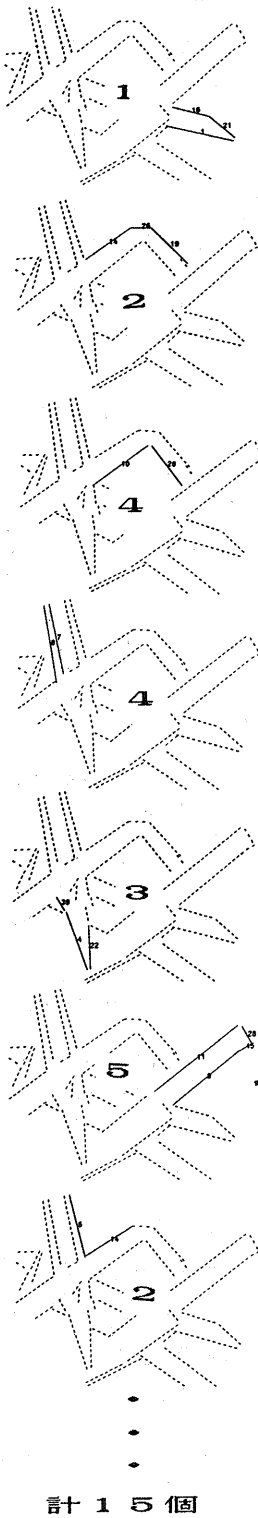


図24 実験例2

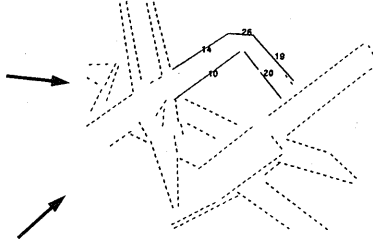
a 角の並び, 平行線による部分構造
(数字は候補モデルの数)



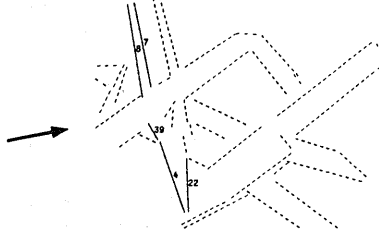
候補モデルが一つに絞られたので
すぐに詳細なマッチングを行う



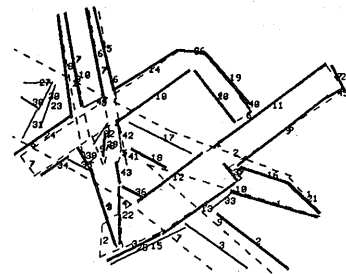
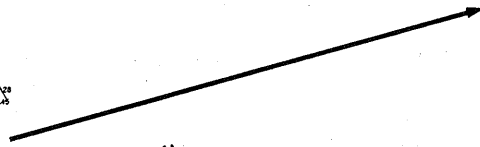
b 平行線による組合せ



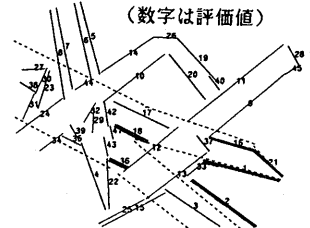
c 近傍にあるものの組合せ



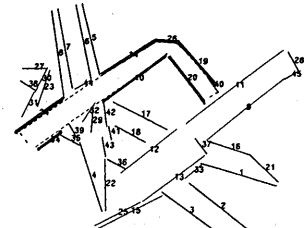
候補モデルが絞れずに最後まで残った
(各々の候補モデルと詳細なマッチング
を行って評価の高いものを結果とする)



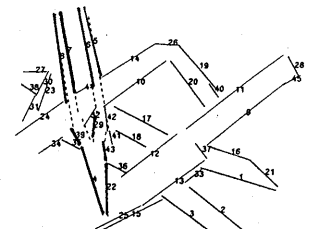
d マッチング結果
(数字は評価値)



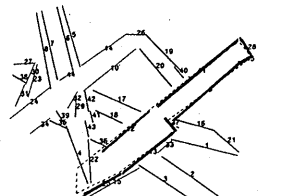
0.6 (保留)



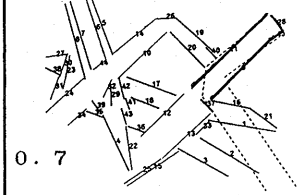
0.95 (成功)



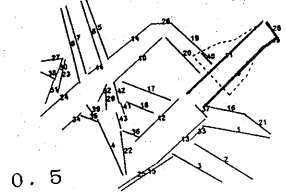
0.9 (成功)



0.95 (成功)



0.7



0.5

e << 認識結果 >>

太線: モデルの直線として認識された直線

点線: 認識されたモデルの位置

細線: モデルとの対応がとれずに残った直線

図 23 実験例 1 (実行経過)