

会話型処理による画像計測と 認識アルゴリズムの開発支援ツール

沼上 英雄、木戸出 正継、沢田 順夫、西出 明彦 (東芝)

1. まえがき

近年、デジタル画像処理技術を用いた、画像計測とその応用が、盛んに行なわれるようになった。

そこで、我々はいろいろな対象物に対する、図形認識アルゴリズムの開発を効率よく行なうための道具として、画像処理、特徴パラメータの計測、認識などを統一的に扱えるシステムの開発を行なうことにした。このシステムが出来れば、個々の対象に対して、個別に対応していたのが不要になり、大幅な研究開発の効率化を計ることが可能となる。

デジタル画像処理研究に柔軟に対応するために、既に、会話型画像処理システム“TOSPICS”(1)の開発を行なってきた。(最近、東芝から発表されたTOSPIXの基本思想のひとつになったものであるが、直接には関係しない。)このTOSPICSでは、画像入力から処理・出力までの各種処理をコマンドで実行できるようになっている。しかし、前出のコマンドの解析結果を参照して認識などの処理を行なうことが効率良く実現できなかった。

ここでは、TOSPICSに“パラメータボード”の概念を導入し、各コマンドの解析結果をシステム内に蓄積できるようにした。そして、図形認識を行なうための特徴パラメータの計測、統計処理のプログラムパッケージを増強した。図1にその概念構成を示す。

2章でシステムの概要、3章でパラメータボードの設計方針と構造、4、5章で図形認識のために増強した特徴パラメータの計測と分類判別のためのプログラムについて説明し、6章では、マクロ機能を用いた対象物の認識プログラムについて述べる。

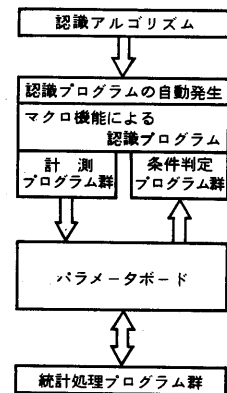


図1 画像計測システム概念構成

2. システムの概要

このシステムは従来の“TOSPICS”の上に、パラメータボードを構築して、いろい

ろい対象物に対する図形認識の処理を、統一的に扱えるようにしたものである。ハードウェアは、人間と機械の会話性や応答速度を良くするために、画像メモリ(IMU)とこれに直結したカラーディスプレイと並列画像処理装置(IPU)を中心に構成されている。システム全体のプログラム制御はホストコンピュータのT-40Cで行なわれ、ホストコンピュータは画像データ、解析結果をファイルする大容量磁気ディスク(200MB×3台)を備えている。図2にその構成図を示す。

ソフトウェアは、これまでの会話型ソフトウェアシステムにパラメータボードの管理部、特徴パラメータの計測、統計処理のプログラムパッケージを増強している。また、いくつかのコマンド列をひとまとめにして実行したり、確立したアルゴリズムをひとつの大きなプログラム化として利用できる、マクロ機能も持っている。

図3は、画像計測及び認識処理の概略を示したもので、まず対象画像を入力して、ヒストグラム作成、領域分け、2値化などの前処理を行ない、対象物を抽出する。

次に、切り出した対象物に対して特徴パラメータの計測を行ない、計測結果を“パラメータボード”というデータ領域に記録する。パラメータボード上のデータは対象物毎にまとめて、パラメータファイルに蓄積できる。

以上の操作を繰返して、パラメータファイルに適当な数のデータが蓄積されたら、統計処理を行ない、認識アルゴリズムを決める。そして、この認識プログラムは、パラメータファイルのデータをサンプルデータとしてアルゴリズムの検証を行なうことになる。

これらの操作は、人間が途中結果を見て、処理アルゴリズムやパラメータを変更しながら会話型で行なわれることになる。以下、パラメータボード、パラメータの計測、統計処理、認識について詳しく述べる。

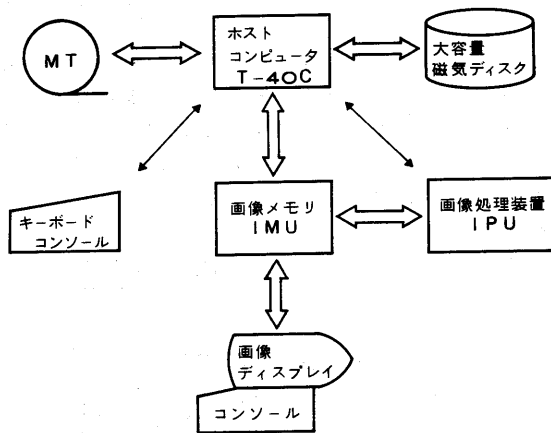


図2 システム構成図

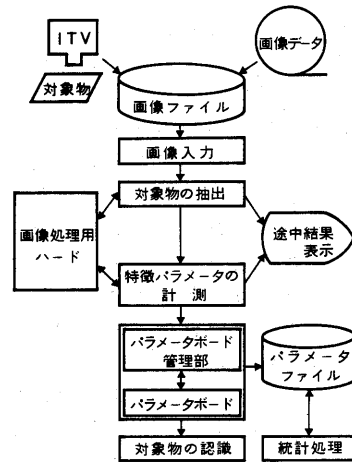


図3 画像計測システムの処理の流れ

3. パラメータボード

3.1 パラメータボードの設計方針

“TOSPICS”は、コマンドを組合せることにより、いろいろな処理過程を実現することができる。しかし、各コマンドの解析結果を、システム内に蓄積していないため、この解析結果を参照して認識などの処理を行なうことが十分にできなかった。

そこで、システム内に“パラメータボード”という、解析結果を一時蓄えるデータ領域を設け各コマンドの解析結果をこの領域に記録しておき、必要とする時に参照できるようにして、認識などの処理を行なえるようにした。

このパラメータボードは、ホスト計算機のメモリサイズと管理の便宜上、単一の対象物の解析結果を記録できる構造になっている。そこで、複数の解析結果は、漸次対象物毎にパラメータファイルに保存したり、パラメータボード上に復元できるようになっている。

パラメータファイルに蓄積したデータは、認識アルゴリズムを決定するための統計処理、確立したアルゴリズムを検証するための、サンプルデータとして利用できる。

3.2 パラメータボードの構造

パラメータボードは、システムのプロックコモン領域内に設定されている。その大きさ

は可変（現在4KB）で、パラメータボードの領域を示す先頭番地、最終番地、及び現使用領域の番地（現在番地）の3つのポイントを持っている。

パラメータボードの構造を図4に示す。特徴パラメータ毎に、1つのレコードが作られ、各レコードには、特徴パラメータの名称、タイプ、次元数、個数及びデータの値（特徴量）が書かれている。タイプは、データの型を表わし、4種類定義でき、バイト、整数、倍長整数、実数のいずれかが選べる。また、次元数はデータの次元を表わすもので、0次元データは面積、周囲長のようにスカラー量で表わされるもの、1次元データは濃度ヒストグラムなどである。その他、共分散行列（2次元）などを含めて0～3次元まで定義できる。

3.3 パラメータボードの管理

特徴パラメータの計測結果は、計測プログラムを実行した時に、自動的にパラメータボードに記録されるが、パラメータボードの初期化、パラメータファイルへの蓄積などは、ユーザが適宜行なわなければならない。

パラメータボードの管理プログラムには、次のものがある。（ ）内はそのプログラム名である。

1) 初期化 (INITPB)

パラメータボードを初期化する。初期化とは、ポイントの初期設定である。

2) データの書き込み (PUTDAT)

パラメータボードに、レコード単位でデータを書き込む。書き込むべき特徴パラメータがすでに登録されている時は、更新する。

3) データの読み出し (GETDAT)

パラメータボードから、指定された特徴パラメータ名のレコードを読み出す。

4) 内容のプリント (PBPRNT)

パラメータボードの内容を、指定されたモードでプリントする。モードは、プリントする内容により次の3種類がある。

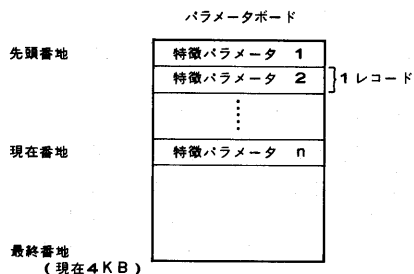
- ・全ての特徴パラメータの名称
- ・全ての特徴パラメータの名称と特徴量
- ・指定された特徴パラメータの特徴量

5) ファイルの書き込み (PDS)

パラメータボード上のデータを、指定されたファイル名でパラメータファイルへ蓄積する。付属情報として、対象物のカテゴリやその画像データの名称を付けることができる。

6) ファイルからの読み出し (DSP)

パラメータファイルから読み出し、パラメータボードに書き込む。



1レコードの形式

項目	バイト数	内容
レコード長	2	レコードのバイト数 (総バイト数-2)
名称	8	特徴パラメータの名称を8文字で表す
データ・タイプ	1	データのタイプを0~3で表す 0-8ビット整数 1-整数 2-倍長整数 3-実数
データの次元数	2	データの次元数を0~3で表す
データの個数	次元数×2	各次元のデータの数
データ	可変	特徴量

図4 パラメータボードの構造

4. 特徴パラメータの計測

4.1 計測プログラムの作成方針

計測プログラムの作成は、次の基本方針のもとに行なった。

1) 対象物を切り出した画像を扱う

計測は、画像メモリ上に対象物が1つだけ存在し、背景濃度は零として行なう。そのため、画像計測の前に、対象物を抽出しておく必要がある。

2) ファイルへの蓄積はユーザが行なう

特徴パラメータの計測結果は、主メモリ上のパラメータボードに書き込む。このパラメータボード上のデータを、パラメータファイルに保存するのは、ユーザが行なう。

3) 処理時間の短縮化

画像処理専用ハードで処理できるパラメータ計測は、それをフルに利用し、しかも、対象物を囲む外接矩形領域内だけを処理するようにして、処理時間の短縮を計る。

表1 特徴パラメータ一覧表

特徴パラメータ		コマンド名	パラメータ名称	データのタイプ	データの次元数
濃度的特徴	濃度 和	ADNS	SUMDENS	2	0
	平均濃度	〃	MEANDENS	1	〃
	最大濃度	〃	MAXDENS	1	〃
	最小濃度	〃	MINDENS	1	〃
幾何学的特徴	面積	ADNS	AREA	2	0
	周囲長	PERI	PERI	1	〃
	円形度	CIRCLE	CIRCLE	3	〃
	穴の数	HOLENO	HOLENO	1	〃
	穴の面積	〃	HOLEAREA	2	〃
	重心座標 X	ECCENT	MASSCX	1	〃
	重心座標 Y	〃	MASSCY	1	〃
	離心率	〃	ECCENT	3	〃
	重心まわりの2次モーメント X ²	〃	MOMENT20	3	〃
	Y ²	〃	MOMENT02	3	〃
	XY	〃	MOMENT11	3	〃

4.2 計測プログラム

濃度的と幾何学的特徴パラメータの例として、表1に示す12種類の特徴パラメータがある。これらの計測は次の5つのプログラムで実行される。()内はそのプログラム名である。

1) 面積・濃度など (Area Density - ADNS)

対象物の濃度和、平均濃度、最大・最小濃度、および面積を計測する。まず、対象物の濃度ヒストグラムを専用ハードのヒストグラム作成機能で求め、

$$\cdot \text{濃度和} = \sum_{i=1}^{255} \text{ヒストグラムデータ}(i) * i$$

$$\cdot \text{面積} = \sum_{i=1}^{255} \text{ヒストグラムデータ}(i)$$

i : 画素の濃度 (i = 0 ~ 255)

ヒストグラムデータ(i) : 濃度がiの画素の数

$$\cdot \text{平均濃度} = \text{濃度和} / \text{面積}$$

を計算する。最大・最小濃度はヒストグラム(i)を両端から調べ、最初に頻度が零でなくなった時の濃度をそれぞれ、最大・最小濃度とする。

2) 周囲長 (Perimeter - PERI)

対象物の周囲長を計測する。まず、専用ハードウェアの論理フィルタ機能で対象物の境界線を抽出し、そしてヒストグラム機能によって境界線の画素の数を求める。

境界線抽出に用いる論理フィルタの出力テーブルは、対象物と背景が水平・垂直方向に連結している境界画素(出力コード: 1)を抽出するものと、対角方向に連結している境

界画素（出力コード：2）を抽出するものを用意する。水平垂直方向の境界画素数をN 1、対角方向の境界画素数をN 2とすれば、

$$\text{周囲長} = N_1 + (\sqrt{2} - 1) * N_2$$

で表す。対象物に穴が存在する時は、その周囲長も含む。

3) 円形度 (Circularity - CIRCLR)

対象物の円形度 = (周囲長) / (面積 * 4π) を計測するプログラムである。周囲長、面積が既にパラメータボードに書き込まれている場合は、パラメータボードから読み出して計算する。まだ計算されていない場合は、ADNSとPERIを起動して周囲長と面積を求めてから、円形度を計算する。(真円であれば、円形度は1である。)

4) 穴の数と面積 (Hole No., Area - HOLENO)

対象物に含まれる穴の数とその面積を計算する。対象物の背景について領域分けを行ない、この画像のヒストグラムから計算する。これらの処理は図5に示す手順で全て専用ハードが高速に行なう。

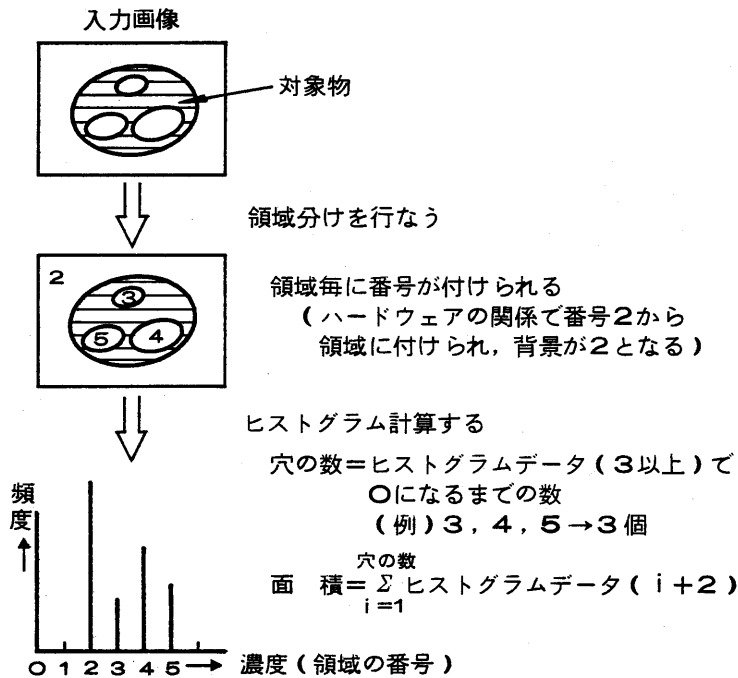


図5 穴の数と面積の計測手順

5) 離心率など (Eccentricity - ECCENT)

対象物の重心座標、重心まわりの2次モーメント、離心率を計算する。まず、対象物に外接する矩形領域の左上点 (X, Y) を原点として重心を計算する。矩形領域の大きさを (LX, LY)、領域内の濃度分布を F (X, Y) として、原点からのモーメント M00、M10、M01を求め、

$$M_{uv} = \sum_{X=1}^{LX} \sum_{Y=1}^{LY} F(X, Y) X^u Y^v$$

重心 (X, Y) を計算する。

$$\bar{X} = M_{10} / M_{00}$$

$$\bar{Y} = M01 / M00$$

次に、重心まわりのモーメントとして $m11$, $m20$, $m02$ を求め、

$$m_{uv} = \sum_{X=1}^{LX} \sum_{Y=1}^{LY} F(X, Y) (X - \bar{X})^u (Y - \bar{Y})^v$$

離心率 E を計算する。

$$E = \sqrt{1 - b^2 / a^2} \quad \text{但し} \quad \begin{cases} a = \max (m20, m02) \\ b = \min (m20, m02) \end{cases}$$

5. 分類判別処理

計測された特徴パラメータを用いて、入力された対象物を前もって用意されているカテゴリに分類判別をする。分類のカテゴリの決定方法について、最短距離法や決定ツリー法(2)が代表的である。ここでは、本システムに実装しやすい決定ツリー法を例にとって説明する。

決定ツリー法は図6に示すように、未知な対象物について計測した特徴パラメータを用い、枝分れ的に分類していき、最終的にどのカテゴリに属するかを決定する方法である。この決定ツリーの各ノードの判定条件を決定するために、多くの対象物について解析し学習する必要があり、そのために次のプログラムを用意した。これらのプログラムは、パラメータファイルに蓄積されているデータを処理対象にしている。

1) カテゴリ変換 (Category Conversion - CATCNV)

対象物のカテゴリを統合するための、対応表の作成を行なう。

決定ツリー法は図6に示すように、二分法で漸次細分類していく方法である。このため、各ノードの判定条件を決定するための統計処理を行なう時にも、各ノードに対応して対象物のカテゴリを統合した方が良いと思われる。

そこで、実際の対象物のカテゴリと統計処理時に用いる時のサブカテゴリの対応表を用意しておき、統計処理プログラムはこの対応表を参照して、サブカテゴリに変換してから処理するようにした。例えば図6のノード1では

カテゴリ1	サブカテゴリ1
カテゴリ2~4	サブカテゴリ2

と編集して統計処理を行なう。

対応表の作成は、サブカテゴリに対応するカテゴリを会話型式で入力して行なう。完成した対応表は指定された名称でディスクにファイルされる。

2) 統計量 (Statistics - STAT)

特徴パラメータ値を調べて平均値、標準偏差、最大値、最小値などの統計量を計算する。

統計量の計算は各サブカテゴリの特徴パラメータ毎に行なわれ、処理結果はプリントされると同時に、指定された名称でパラメータファイルに蓄積される。

3) 頻度分布 (Frequency Distribution - FRQDST)

このプログラムは、ある条件を満足する対象物について、指定された特徴パラメータの基本統計量の計算と値の頻度分布の作成を行なう。

条件は特徴パラメータの種類とそのしきい値、しきい値との大小関係で与える。この条件は16レベルまで指定できる。

頻度分布は色分けされてディスプレイに表示される。また、頻度分布をある値で二分割した時の分布の割合を、分類毎に計算して表示することもできる。

6. 対象物の認識プログラムの具体化

まず、決定ツリー方式による対象物の分類認識を、本システムのマクロ機能を用いて実現した。

このマクロ機能は変数が利用でき、またマクロ用特殊コマンドで簡単な四測演算や処理のながれを制御できる。その結果、BASICのプログラム程度の複雑な処理が可能である。また、決定ツリーの判定条件を調べるプログラムとしてCMPD (CompareData) を作成した。

CMPDは指定された特徴パラメータの値(しきい値)と、これに対応するパラメータボード上の値(計測結果)の大小関係を比較するもので、結果はシステムステータスワードに記録する。マクロ制御用プログラムは、このステータスワードを参照して、処理の流れの制御を行なう。

図6の決定ツリーをマクロで記述した例を図7に示す。このマクロは特徴パラメータ1~3をそれぞれ面積、周囲長、円形度とし、またしきい値1~3は変数にしてマクロ実行時に引数として与え、認識結果をカテゴリ番号でプリントするように組んである。

このように基本的な処理コマンドを組み合わせて、いろいろな対象物に対応した認識プログラムを容易に実現することができる。またマクロ編集用のエディタが用意されているので、プログラムの登録や修正は容易に行なえる。

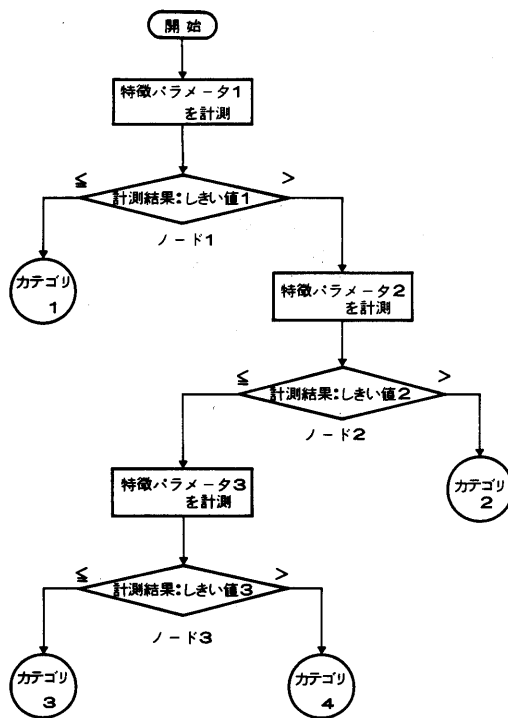


図6 決定ツリー方式による認識

1	ARG=	X, Y, Z	しきい値1~3をX, Y, Zにセット
2	*		
3	AREA	M1	面積を計測する
4	CMPD	AREA, \$X	しきい値1と比較する
5	IFGO	-P, C1	面積≤しきい値1ならばC1にとぶ
6	*		
7	PERI	M2, M1	周囲長を計測する
8	CMPD	PERI, \$Y	しきい値2と比較する
9	IFGO	P, C2	周囲長>しきい値2ならばC2へとぶ
10	*		
11	CIRCLR		円形度を計測する
12	CMPD	CIRCLR, \$Z	しきい値3と比較する
13	IFGO	-P, C3	円形度≤しきい値3ならばC3へとぶ
14	SETV	\$\$C, 4	変数Cにカテゴリ番号4をセット
15	GOTO	PR	PRにとぶ
16	*		
17	C3	LAB C3	
18	SETV	\$\$C, 3	変数Cにカテゴリ番号3をセット
19	GOTO	PR	
20	*		
21	C2	LAB C2	
22	SETV	\$\$C, 2	カテゴリ番号2をセット
23	GOTO	PR	
24	*		
25	C1	LAB C1	
26	SETV	\$\$C, 1	カテゴリ番号1をセット
27	*		
28	PR	LAB PR	
29	MOUTB	CAT, NO=\$C	カテゴリ番号をプリントする
30	END		

図7 認識プログラムの例

マクロ機能による認識プログラムを作成してきたが、最終的には「ある特徴パラメータを、どのように用いるかを与えて、認識プログラムを自動発生する」ことを目標としている。例えば図6に示す決定ツリーにおいて、各カテゴリを次のように定義すれば、図7に示すようなプログラム列が自動的に発生することである。

```
カテゴリ1=AREA. LE. 100
カテゴリ2=AREA. GT. 100. AND. PERI. GT. 200
カテゴリ3=AREA. GT. 100. AND. PERI. LE. 200
           . AND. CIRCLR. LE. 6
カテゴリ4=AREA. GT. 100. AND. PERI. LE. 200
           . AND. CIRCLE. GT. 6
```

7. あとがき

図形認識アルゴリズムの研究の道具として、パラメータボードを有する会話型画像計測システムを開発した。

これからは特徴パラメータ、統計処理、認識などのプログラムについて、逐次追加していく予定である。また、ある特徴パラメータをどのように使うかを与えて、認識プログラム自動発生機能、トレーニングデータを用いて認識方法を自動的に改良する学習機能などを持たせていきたい。

このシステムは拡張性、柔軟性を持っており、非破壊検査やロボット視覚モジュールなど、いろいろな図形認識システムの開発に有効と考えている。

参考文献

- (1) 沼上、木戸出、他 「会話型画像処理システム-TOSPICS-」
電子通信学会研究会資料 PRL-75-51 1975年5月
- (2) 坂井、金出、梶 「AND-OR特徴トリーによる認識対象の表現とマン・マシン対話的生成」
電子通信学会研究会資料 PRL-75-27 1975年5月