

# 位置・形状計測に向けた小形画像処理装置 “HISEC-SP”

## Compact Image Processor “HISEC-SP” for Positioning Applications

知能的なロボットや自動機を実現するために、部品種類の判定や位置決めを行なう、小形、高速で低価格の画像処理装置が要求されている。そこで、線分化画像処理方式と呼ぶ画像をデータ圧縮してソフト処理により高速処理する認識手法を開発し、簡単なハードウェア構成で高速処理が可能な小形画像処理装置HISEC-SPを実現した。

線分化画像処理方式は、2値画像処理でよく行なわれる特徴量抽出を高速実行でき、位置決めなどの用途に向いている。

HISEC-SPのソフトウェアには、線分化画像処理方式をベースにした対話形画像処理言語FA-BASIC/Vが用意されており、各種の位置決めや長さの計測などの応用システムの開発効率を大幅に向上している。

秦 清治\* Seiji Hata  
有賀 誠\* Makoto Ariga  
鈴木健司\* Kenji Suzuki  
中島正明\*\* Masaaki Nakajima  
梶山 繁\*\* Shigeru Sugiyama

### 1 緒言

知能的なロボットや自動機を構成する要素として、画像処理機能の役割は大きい。このような分野で要求される画像処理の主な機能は、ロボットなどが正確に部品をつかみ、組立てを行なえるような部品の位置、姿勢の決定、辺の長さなどの計測であり、これを自動機などに見合う速度、コストで実現しなければならない。

ところで、従来の画像処理では、ハード回路を使ってテレビジョン画像の全画面を何度も繰り返し処理する手法により、必要な速度性能を得ていたため、ハード回路が多量となり、十分なコストパフォーマンスが得られなかった。このため、線分化画像処理方式と呼ぶ、画像をデータ圧縮してソフトウェア処理で高速に認識する手法を開発し、小形画像処理装置HISEC-SP(Hitachi Sequence Controller-Shape Processor Option)に適用した。

### 2 線分化画像処理方式<sup>2)</sup>

#### 2.1 図形的特徴量による認識

線分化画像処理方式は、2値画像処理のなかで、特徴量形に属する認識手法である。この基本的な考え方は、部品の位置や姿勢を認識するのに、2値画像中の部品画像の図形的な中心(重心、一次モーメント)や重心から輪郭の最遠点へ方向などの、図形的特徴量を用いるものである(図1)。この特徴量には、他に面積、周囲長、二次モーメント主軸長など画像の写っている位置に不変なパラメータがあり、それらを標準パターンと比較しての種類判定などが可能である。

#### 2.2 線分化画像処理方式の原理

線分化画像処理方式は、部品の2値画像の輪郭をできるだけ忠実に多数の線分で近似、その結果得られる多角形図形として画像を表現し、データ処理する画像処理方式である(図2)。このように画像を線分化処理すると、全画面では6万点ほ

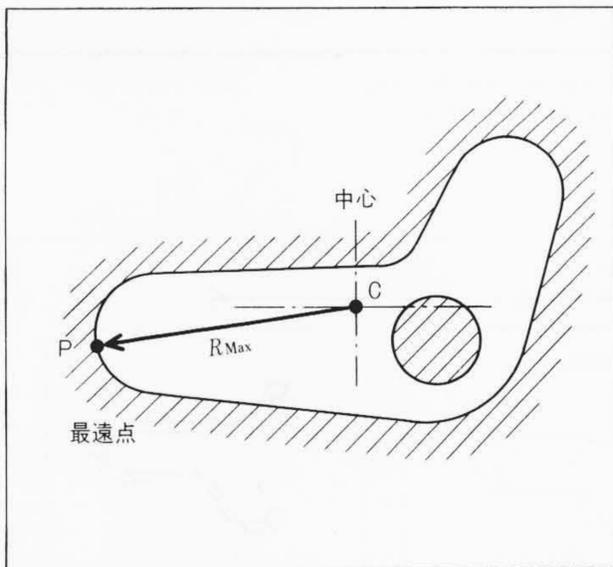


図1 特徴量による位置、姿勢の決定 部品の位置や姿勢を表わすには、画像の中心を位置とし、それから輪郭の最遠点へ方向を姿勢とするなど、図形的な特徴量を用いることが多い。

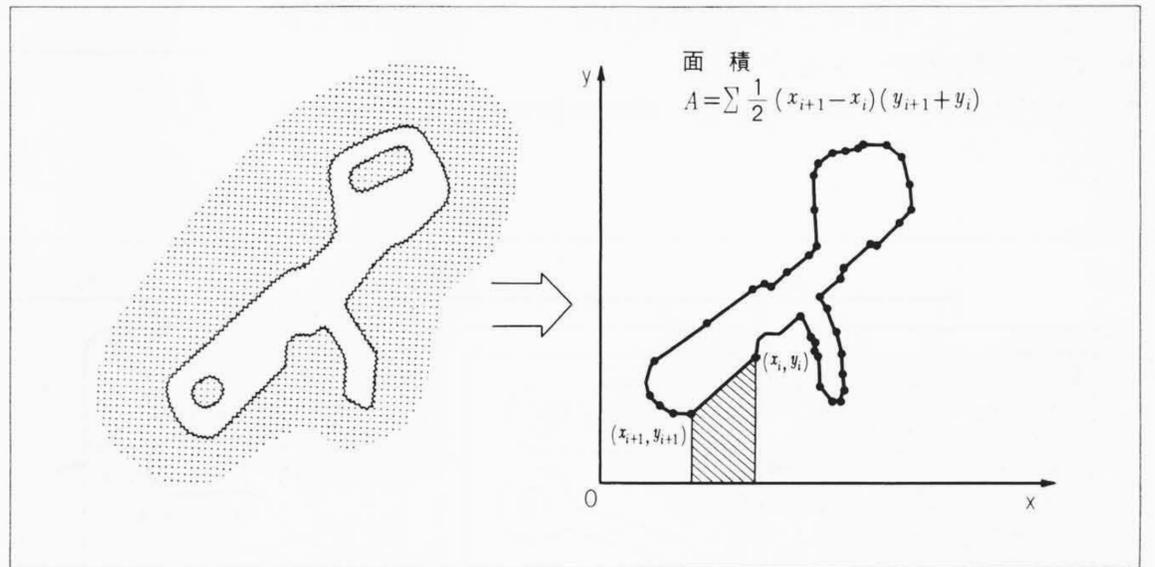


図2 線分化画像処理方式の原理 部品の2値画像の輪郭を線分で多角形に近似、その項点の座標列としてデータ圧縮することにより、面積などの特徴量計算が、マイクロコンピュータのソフト処理で高速に実行できる。

\* 日立製作所生産技術研究所 \*\* 日立製作所大みか工場

表1 特徴量計算時間の比較 従来用いられているランレングス法による特徴量抽出時間と比較して、線分化法では約5倍程度高速に計算できる。

項目	線分化法	ランレングス法
面積, 一次モーメントなど	2~5	20~40
周囲長, 二次モーメントなど	5~10	40~60
主軸長, 角度など	40~60	100~120

注: 単位 ms

どのデータから成る画像を、40~50点ほどの頂点座標 $(x_i, y_i)$ の組で表現することができる。したがって、図形的な特徴量計算も点数分のループ計算でソフト的に処理が可能であり、その処理時間も大幅に高速化される。表1に従来よく用いられているランレングス法との速度比較を示す。

### 2.3 線分化画像処理方式の処理フロー

線分化画像処理方式の基本的な流れは、次の5ステップから成る(図3)。

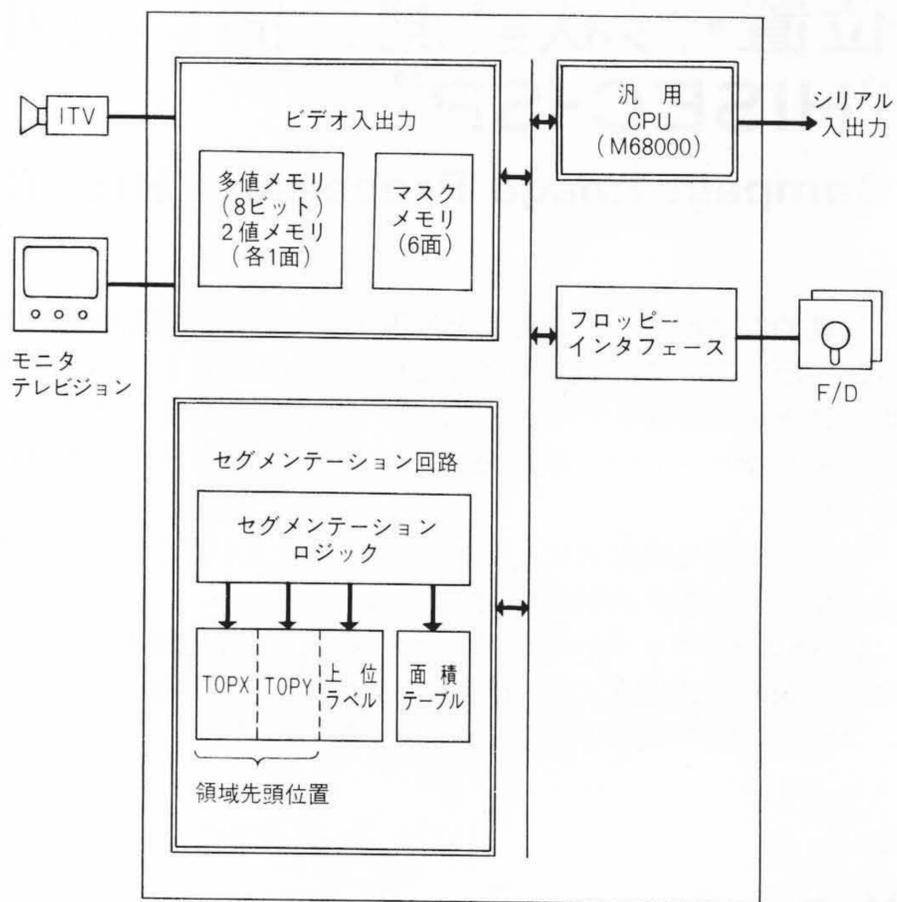
- (1) 画像入力と2値化
- (2) セグメンテーション……2値画像を白・黒の領域ごとに解析し、部品らしい領域を抽出して、面積、位置などを記録する。
- (3) 線分化……輪郭を多数の線分で近似、 $(x, y)$ データ化する。
- (4) 特徴量計算……面積、中心位置、周囲長などを抽出する。
- (5) 判定、認識……特徴量の組合せから、種類判定をする。輪郭データが形状を保存していることを利用して、辞書パターンと重ねて重なり面積の比率から信頼性の高い種別判定もできる(線分化パターンマッチング)。

ここで、セグメンテーション処理は画面全体を対象とするため、ハード回路による高速化が必要であるが、それ以降の処理は、データ圧縮によりソフトウェアで高速処理できる。

### 3 HISEC-SPのハードウェア<sup>3)</sup>

HISEC-SPは、線分化画像処理方式の各ステップ(図3)のうち、画像入力とセグメンテーション部をハード回路化して高速化を行なった画像処理装置である(図4)。表2に仕様の概要を示す。以下に本回路の特長を述べる。

- (1) 画面内で処理する領域を任意の形で指定できるマスクメモリをもち、その領域だけの処理を行なうことで、高速で信頼性の高い処理ができる。
- (2) セグメンテーション回路で、領域の輪郭の先頭位置や面



注: 略語説明 ITV(工業用テレビジョン), CPU(中央処理装置), F/D(フロッピーディスク)

図4 HISEC-SPの回路構成 線分化処理方式の採用により、専用ハード回路化されるのは画像入力とセグメンテーション回路だけであり、小形の画像処理装置を実現することができる。

表2 HISEC-SPの基本仕様 高速セグメンテーション回路と処理領域を自由に指定できる多数のマスクメモリにより、高速で信頼性の高い画像処理が可能である。

項目	仕様
CPU	CPU: 68000 RAM 256kバイト, ROM 32kバイト
画像	● 2値及び多値(8ビット)メモリ 各1 ● 分解能 256×240画素 ● マスクメモリ 6画面
セグメンテーション方式	テーブル参照形 最大ラベル数 1,024
外部メモリ	F/D

注: 略語説明 RAM(Random Access Memory) ROM(Read Only Memory)

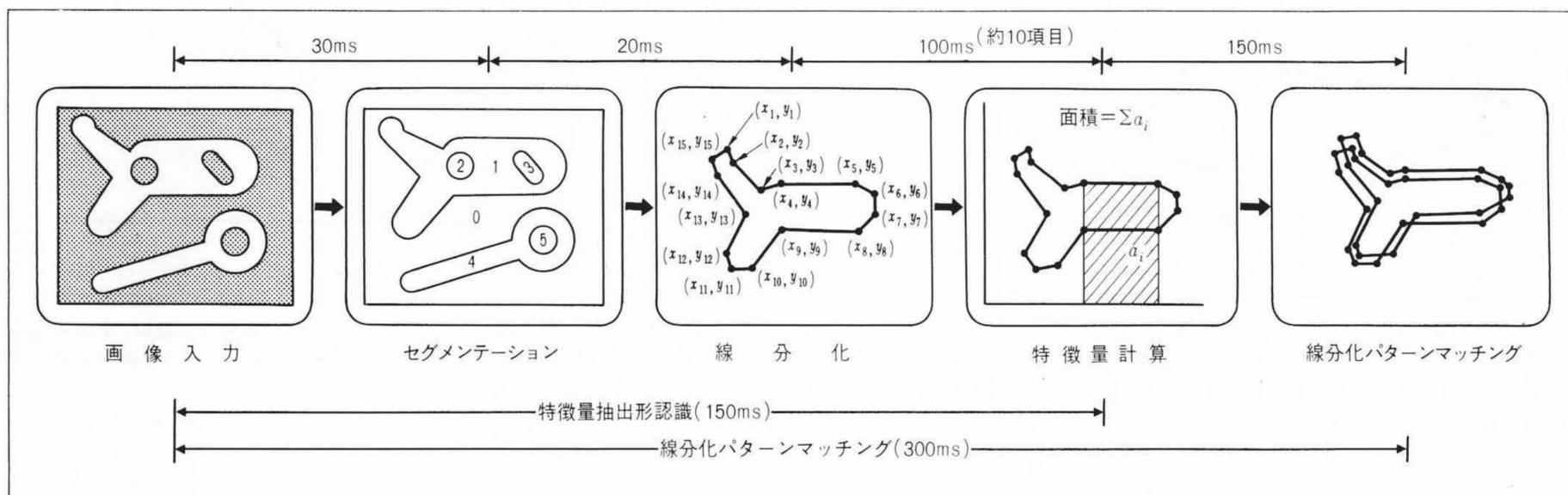


図3 線分化画像処理方式の基本フロー 特徴量だけの組合せによる判定でも、高速に種類の判定が可能であるが、線分化パターンマッチングを行なうことで、信頼性の高い認識ができる。処理時間は、標準的な部品の代表値である。

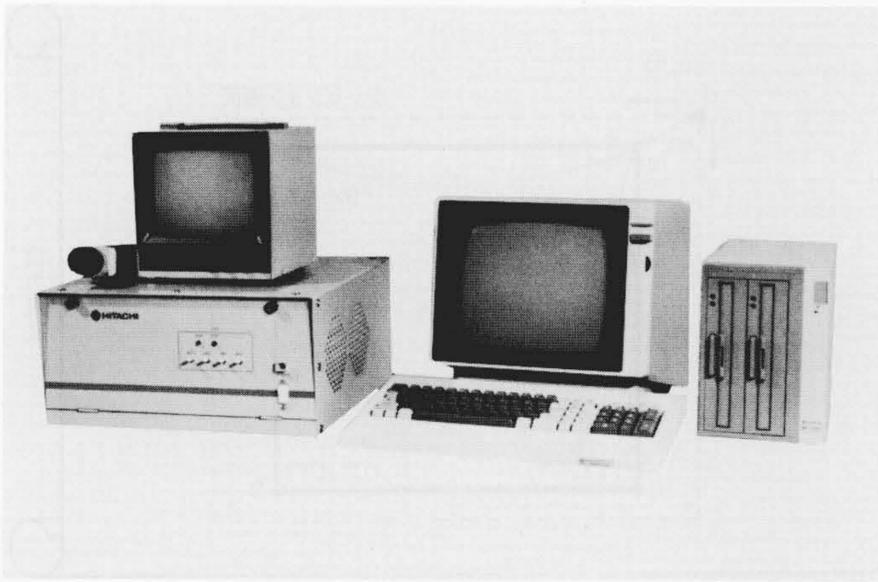


図5 HISEC-SPの外観 HISEC-SPには、シーケンスコントローラ組込形とフロッピーディスクを付けたパーソナルコンピュータタイプ(本図)とがある。

積などの属性を同時に抽出し、以降の処理を高速化する。

このように、線分化処理方式の採用と、それに最適のハード構成を行なうことにより、小形、低価格で高速性能のFA (Factory Automation)用画像処理装置を実現できた。HISEC-SPを図5に示す。

#### 4 画像処理言語FA-BASIC/V<sup>4)</sup>

HISEC-SPは、ロボットや自動機の位置決め、測長的な各種の用途への適用を目的としている。このため、応用システムの開発は言語形式で行なうことにし、画像処理言語FA-BASIC/V (Factory Automation-BASIC for Vision)<sup>\*)</sup>を開発した。

##### 4.1 言語のねらい

画像処理言語FA-BASIC/Vは、特に実験による検証の比重の高い画像処理応用システムの構築で、画像の評価フェーズから実機でのデバッグまでの全期間を通じて、開発を支援するシステムとして構築された。このため、BASIC形の対話機能と高速の実行性能を特徴としている。

- (1) BASICの単文実行機能により、対話形で画像評価や光学系の検討などができる。
- (2) コマンドに文番号を付けることで、簡単にプログラムの作成、修正ができる。
- (3) 従来のパーソナルコンピュータなどと比較して、数十倍の実行性能をもつインタプリタ構造の採用で、高速画像処理ができる。

##### 4.2 言語仕様

表3に言語仕様を示す。FA-BASIC/Vは、標準的なBASICコマンドに、画像処理向きのコマンドを付加した言語である。以下に、画像処理向きの命令について説明する。

###### (1) 画像処理用変数

B0, G0はそれぞれ2値・多値メモリであり、配列指定によりプログラム中で直接値を参照できる。Tnは、セグメンテーション後のテーブルであり、これを利用して部品画像を参照できる。線分化された画像データは、Lnで参照される。

###### (2) 画像処理コマンド

図3の各ステップを実行させるためのコマンド、画像の入

表3 FA-BASIC/Vの仕様 FA-BASIC/Vのコマンド仕様は、標準的なBASICに画像処理向きのコマンドを付加したものになっている。

項目	コマンド例
基本 B A S I C	プログラム命令 LET式, DIM配列指定, IF~THEN~GOTO, FOR~NEXT, DEFSNG, DEFFN, PRINT, READ, DATA, REMほか
	エディション命令 LOAD, SAVE, NEW, RENUM, AUTO, FILES, LISTほか
	デバッグ命令 RUN, TRACEほか
画 像 処 理 向 き コ マ ン ド	画像処理変数 B0(256, 256): 2値画像メモリ G0(256, 256): 多値画像メモリ Tn(*, 8): セグメンテーションテーブル } n: 0, 1, 2, ... Ln(*, 2): 頂点座標テーブル [Xn, Yn, Rn, WXn, WYn, WRn] X: プロセス入力, Y: プロセス出力, R: 内部レジスタ, W: ワード形, n: ビットのアドレス
	画像処理コマンド PICTURE: 画像入力 GDISP, BDISP, ほか: 画像表示 SEGMENT: セグメンテーション LINESEG, LINEALL: 線分化 LSHIFT, LROTATE: 画像データ変換 FEATURE, GRAVITY, など: 特徴量計算 THDSET: スレッシュホールドセットほか
	画像処理関数 AREA: 面積, PERIM: 周囲長, LENGTH: 距離 MAJOR, MINOR: 二次モーメント 長, 短軸 RMIN, RMAX: 最近点, 最遠点 ANGLE: 主軸角, ほか

力やディスプレイを行なうコマンドなどから成る。

###### (3) 画像処理関数

面積や周囲長などの画像の図形的特徴量を抽出する関数である。

FA-BASIC/Vには、これらのコマンド、関数が約50種あり、BASICの命令語と組み合わせて多様な処理を行なうことができる。画像処理関数を、標準的な部品画像に適用した場合の処理時間を表4に示す。これらの値は、ハード回路による画像データの走査(12ms程度)より速い。

表4 画像処理コマンド、関数の処理時間 二次モーメントなどの複雑な関数を除いて、ほとんどの関数の実行時間は、数ミリ秒程度と高速である。

名称	内容	実行時間(ms)
PICTURE	画像入力	17
GDISP	多値画像表示	1以下
SEGMENT	セグメンテーション	20~30
TSUM	画像内の領域数を求める。	1以下
TTOP	従属領域を求める。	1以下
TDOWN	親領域を求める。	1以下
LINESEG	線分化(多角形近似)	20~30
LROTATE	パターン移動(回転)	5~10
GRAVITY	重心を求める。	5~10
ANGLE	慣性主軸方向を求める。	30~80
RMAX	指定点からの最遠点を求める。	5~10
MATCH	二つのパターンの重なり面積	60~200
HOLE	穴の数	1以下
AREA	面積	1~2
PERIM	周囲長	1~2
MOMENT	慣性主軸周りのモーメント	40~90

\*) FA-BASIC/Vは、本号掲載の別論文「FAセル制御統一言語“FA-BASIC”」に述べるFA統一言語の一つである。

## 5 応用例

### 5.1 特徴量による位置，姿勢の決定

典型的な機械部品について，画像の図形的な特徴量である中心と二次モーメントの主軸方向から，位置，姿勢を求めるプログラム例を図6に示す。また，処理結果を図7に示す。

プログラム中，(GX, GY)は部品の中心座標値である。また，Aは部品の二次モーメント値と等価な長円の長軸のx軸となす角度である。図7の処理結果では，VTRの部品を見てそれを多角形近似し，その等価長円を表示している。物体周りの白点は線分化後の多角形の頂点を示す(長円表示のための記述は，図6からは省略)。このように，たかだか10ステップほどで部品の位置，姿勢を求めるプログラムが記述可能である。

### 5.2 形状データによる長さ計測

図8は，出力機器の出力幅などをチェックするパターン例である。 $l_x, l_y$ の長さを測定して規定値と比較することにより，調整の良否を判定する。この点Aの座標位置(Ax, Ay)を求めるプログラムは，図9のようになる。ここでは，原点(0, 0)が画面の左上の角であるから，その最近点を求めることによりAが求まる。同様にして，B, C, D点の座標を求めれば， $l_x, l_y$ は簡単に求めることができる。

このように，FA-BASIC/Vでは，画像が線分化された頂点データとして高速に参照できるため，図形処理的な手法により，柔軟に各種の位置決めや計測に応用できる。

```

10 PICTURE 0.....画像入力
20 SEGMENT T1.....セグメンテーション
30 LINESEG T1,2.....線分化
40 GRAVITY LT(T1,2),GX,GY.....重心計算
50 A=ANGLE(LT(T1,2)).....角度計算
60 PRINT GX,GY,A.....表示出力
70 END
    
```

図6 部品の位置，姿勢認識プログラム。GX, GYは中心位置，Aは角度を示す。たかだか10ステップ程度の記述で，部品の位置，姿勢を決定することができる。

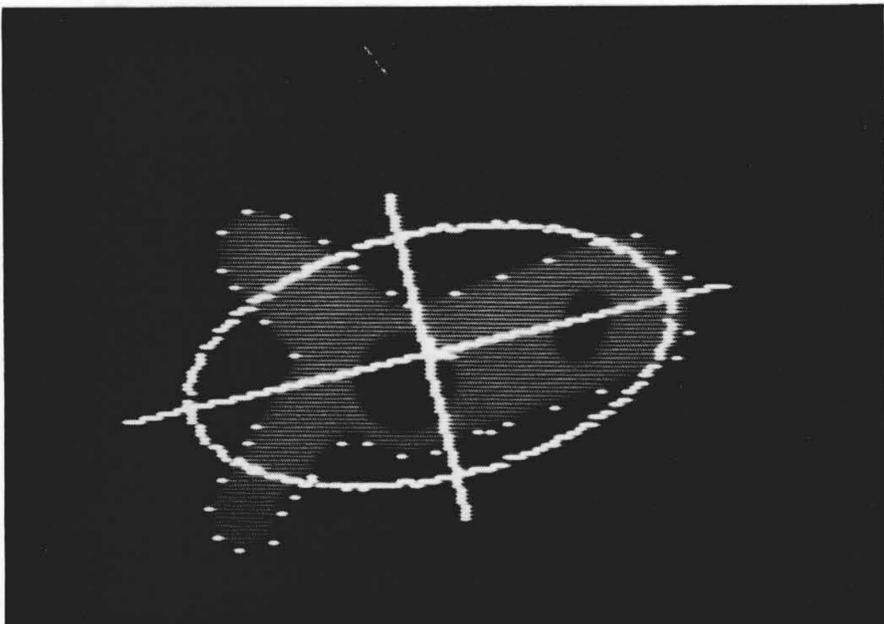


図7 部品の位置，姿勢抽出例。白点は，線分化したときの多角形の頂点を示す。二次モーメントの等価な長円の主軸方向で，部品の姿勢を決定している。

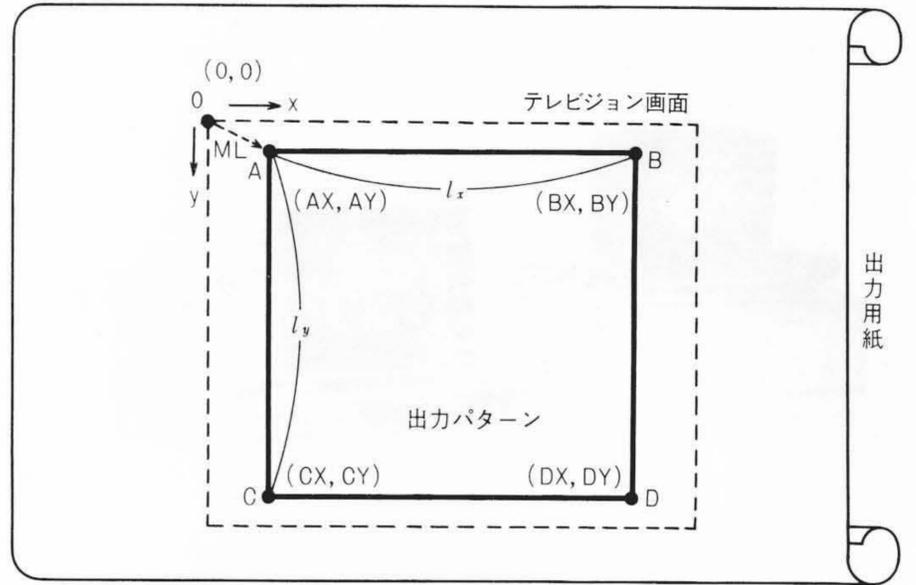


図8 出力幅の測定パターン例。出力機器からこの図のようなパターンを出力し，A, B, C, Dの座標値を決定して，出力幅 $l_x, l_y$ の長さから機器の良否を決定する。

```

10 PICTURE 0.....画像入力
20 SEGMENT T1.....パターン分離
30 LINESEG T1,2.....パターン線分化
40 LTRANS L1,LT(T1,2).....線分列移動
50 NUM=L1(0,0).....頂点数セット
60 i=1
70 ML=100000 }.....最短頂点検出フラグ
80 FOR J=1 TO NUM.....繰返し
90 MX=L1(J,0)*L1(J,0)+L1(J,1)*L1(J,1) }
100 IF MX>=ML THEN 130 }.....原点からの長さ比較
110 ML=MX
120 i=J
130 NEXT J
140 AX=L1(i,0).....A点のX座標
150 AY=L1(i,1).....A点のY座標
160 END
    
```

図9 出力幅の測定プログラム例。原点(0, 0)から，線分化点列の最も近い点を選んでAの座標値とする。このように，プログラム中で画像の形状を図形的に処理することができる。

## 6 結 言

パターンマッチング法と並ぶ2値画像処理の代表的な手法である特徴抽出法を，高速に実行する方式として線分化画像処理方式を開発した。また，その応用により，小形，低価格で，かつ高速の実行性能をもつ小形画像処理装置HISEC-SPを実現した。

現在，HISEC-SPの開発ソフトウェアとしては，対話形の画像処理言語FA-BASIC/Vが用意されており，多様な応用展開が可能である。更に，今後このよりいっそうの利用拡大のために，各種の機能パッケージを用意し，FA用の画像処理装置として充実を図りたい。

### 参考文献

- 1) 秦，外：ロボット視覚用小形画像処理装置“HV/R-1”，日立評論，66，10，735～740(昭59-10)
- 2) 秦，外：線分化方式による高速画像処理，電子通信学会全国大会，No.1368，p.5～196(昭60-3)
- 3) 有賀，外：セグメンテーション処理をハード化した小形画像処理装置，同上，No.1367，p.5～195
- 4) 秦，外：線分化方式による画像処理言語FA-BASIC/V，電気学会全国大会，1549，p.2001(昭60-4)