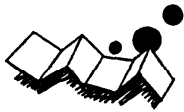


## 解説

## FA 用情報処理技術



## 画像処理技術の FA への応用†

白井 良明††

## 1. はじめに

十年前には、計算機を使った画像処理はコストが高かったため、産業への応用はほとんどなかった。画像処理の研究も限られた研究所で行われていたにすぎなかった。現在は、メモリやプロセッサの低価格化と高速化のおかげで、広範囲な実用化がはかられ、また実用化をめざす研究も盛んになっている。

画像処理の応用を、その目的によってつぎの二つに分けてみる。一つは、人間とのインタフェースとしての画像処理である。CAD/CAM のための入力、手書図面の入力などがその代表例である。他の一つは、それ以外で、リモートセンシングデータの解析、医用画像処理、物体認識など、その範囲は広い。前者は図形処理ともよばれ、人間にとってわかり易いように、一定の約束にしたがって描いた図形を対象とし、その対象は毎回異なることが普通である。後者では、同じ対象を繰り返して処理することが多い。

FA のための画像処理も同じように二つに分けて考えることができる。前者は、オフィスでの設計のようなスタッフの仕事、後者は現場の物を作るラインの仕事に対応しよう。この図形処理と、いわゆる画像処理（図形を除いた画像の処理）とは、処理の技術は同じでないが、お互いに密接に関係して用いられると効果がある。

ここでは、まず、広く画像処理の動向を概観してから、図形処理の典型として手書き図面認識を述べ、画像処理では三次元シーンの認識を取り上げて解説する。

## 2. 画像処理の動向

画像処理の研究と実用化には大きなギャップがあ

る。技術的には解決されている画像処理も、信頼性、経済性などの要因で実用化しないことが多い。現在実用化されている画像処理は、ほとんど十年程前から知られている技術を使っている。しかし、なにが実用化されているかを知ることは有意義であるので、本章ではまず実用化の動向を述べてから研究の動向を述べる。

## 2.1 実用化の動向

画像処理の主な目的はつぎの三つであろう。

- (1) 位置決め 既知の物体の位置を求める。
- (2) 検査 対象の異常を検出する。
- (3) 分類 対象がどの種類に属するかを分類するいわゆるパターン認識である。等級判定、選別もこのなかに入る。

画像処理は、いっばんに時間がかかり信頼性が乏しいといわれてきた。したがって実用化では、対象物とそれ以外を明確に判別できる画像を入力し、簡単な処理によってその目的を達成してきた。とくに半導体のボンディングのような位置決めでは、対象物と背景が区別できる 2 値画像を扱っている。検査や分類も、2 値画像を対象とした簡単なパターンマッチング<sup>1)</sup>が使えることが多い。このように、2 値画像に、パターンマッチングや、簡単な特徴抽出を施すだけである程度問題は解決できる。そのための実用システムも商用化している<sup>2)</sup>。

ところが、実際にはもっと柔軟な処理を必要とする場合が多く、そのためにはより高機能の専用プロセッサを使わなければならない。例えば、プリント配線板のマスクパターンの検査では、それが設計パターンと異なっても、機能的には許容される場合がある。致命的欠陥だけを検出すれば、合格率が上がる。この程度の柔軟性のある処理もハードウェアの進歩により、実用化されるようになった<sup>3)</sup>。

2 値画像処理の実用化は進んでいるが、濃淡画像やカラー画像の処理は産業への応用は遅れている。医用画像処理、リモートセンシング画像の処理などでのよ

† Application of Image Processing Technology to Factory Automation by Yoshiaki SHIRAI (Electrotechnical Laboratory).

†† 電子技術総合研究所制御部

うに、処理結果に基づいて直ちに外界へ働きかけなくともよい場合には、濃淡やカラーの画像が使われている。

産業応用でも限られた目的のためには、2値画像以外の処理が実用化している。ICチップの粗い位置決めで50×50の分解能で16レベルの濃淡画像が用いられたり<sup>4)</sup>、特定の果物の色を分析して熟れ具合を調べるのに色の情報が用いられたり<sup>5)</sup>している。合板の表面に貼る天然木の薄膜の検査に色の情報を使い、6種類の入力変数の線形判別関数によって異常を検出する例<sup>6)</sup>もある。この例では、専用プロセッサによって高速処理が行われている。

なお、色を積極的に利用することもできる。形では区別できない物でも、色をつければ容易に区別できる。配線を自動化するために、ワイヤの色によってワイヤの位置決めを行うシステムも開発されている<sup>7)</sup>。

さらに、距離情報が実用システムに使われ始めたことも最近の特徴である。距離情報については4章でやや詳しく述べる。

### 2.2 研究の動向

画像の表わしているシーンに関する情報を得るために種々の処理が必要であるが、それぞれの関係を図-1に示す。図の意味は明らかであろうが、その説明は文献8)に譲る。

このなかで、画像の特徴の抽出技術がよく研究されてきた。そこでは、画像から線や点を抽出したり、一様な領域を求めたりしている。この種のアルゴリズム

は多く開発され、その一部はサブルーチン・パッケージにもなっている<sup>9)</sup>。画像の特徴抽出には、特定のオペレータによって線を強調したり、与えられた領域の幾何学的性質を求めるように、入力画像と出力である特徴の関係が明確に定義できるものと、線のみをつけたり、領域分割を行ったりするように、入出力関係を簡単に定義できないものがある。後者を人間が行う場合には、対象の意味を考慮しながら処理をする。したがって、対象を特定しない汎用的アルゴリズムによる処理結果が必ずしも人間の直観と一致しないのは当然である。それに基づいてシーンの特徴を正しく求めることもむずかしい。

この問題の解決のために、距離情報を使ったり、対象に関する拘束を利用する試みがなされている。とくに1970年代は、対象のモデルを使って複雑なシーンを認識する研究が盛んであった<sup>10)</sup>。

その後、画像生成過程を逆にたどって距離情報を得たり<sup>11)</sup>、動画像から剛体の運動を求める<sup>12)</sup>といった基礎的な研究がなされた。

最近では、物体のモデルとして三次元モデルが注目されるようになり、モデルの自動作成<sup>13)</sup>、CADデータに基づくモデルの作成、および三次元モデルを利用したシーンの認識<sup>14)</sup>などが盛んになってきた。

### 3. 手書き図面認識

計算機への入力として、文字や図形が用いられることが多い。ここでは、FAで重要な図面入力に焦点を絞る。そこでも、CADのように人間と対話しながら一つのものを作り上げる場合と、製作現場で加工のための略図を入力するように、簡単な認識を何度も行わなければならない場合がある。

前者は、人間との対話を必要とするので、人間が計算機の端末のディスプレイに向かってオンラインで図面を入力する方式が普及している。1970年後期には、手書きの論理図の認識の試みもあったが<sup>15)</sup>、同時にそのようなオンラインの認識と対話的なオンラインの認識優劣が議論された。しかし、1980年代に入ると、オフライン図面認識の研究が盛んになり<sup>16)</sup>、簡単な実用システムも開発されるようになった<sup>17)</sup>。その主な理由はつぎのようである。

- (1) 大きい紙に従来の筆記用具で書くほうが分解能の高い質のよい図面が得られる。
- (2) 長時間ディスプレイに向かって入力作業をすると目が疲労する。

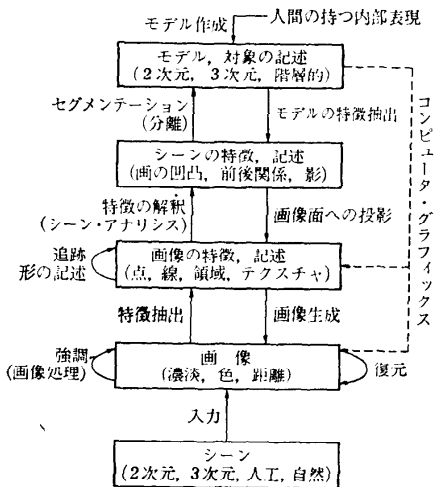


図1 種々の画像処理の関係

(3) 多数のオンライン入力用の端末より、一台のオフライン入力装置のほうが経済的である。

(4) 紙に図面を書く作業はどこでもでき、それを人間が見て理解でき、しかも容易に送ることができる。

オンライン入力の長所もあり、当分は両方式が並行して使われるであろう。ここでは CAD/CAM 用のオフライン手書き図面認識を取り上げる。

### 3.1 認識対象

認識技術は認識対象の性質に依存するが、それを記述する方法は何通りもある。主なものをつぎに列挙する。

(1) 図面はどのような要素（実線、点線、線の太さや方向の種類、円弧、曲線、塗りつぶし領域、ハッチング、記号、文字など）を含むか。

(2) 図形の寸法が重要であるか（実体配線図のような実物の縮尺であるか、論理図のような接続関係だけが問題になるか）。

(3) 図面の質はどうか（紙と筆記用具、複写したものの、またどれだけいいねいに書かれているか）。

(4) 図面の大きさと入力に必要な分解能。

以上のなかで(4)は、入力装置の分解能と、分割処理の必要性を決めるが、分解能は(4)以外に密接に関係する。(1)~(3)は、認識アルゴリズムの複雑さを決める。ここでも研究段階と実用段階では異なるが、実用システムでは、8方向で太さ2種類の実線、一定の大きさの記号（塗りつぶし領域を含む）、分離した文字を要素とし、格子上に書かれた実体図あるいは論理図<sup>18)</sup>で、濃い筆記用具でいいねいに書かれた図面を対象としている。研究では、より自由に書かれた実線や記号を含む論理図も扱われている<sup>19)</sup>。

### 3.2 認識手法

図面認識の手法は対象に依存するが、実用化のための高速処理と、広範囲の図面に適用するために研究されている柔軟な処理に分けることができる。

前者は、全体の処理をいくつかの簡単な処理に分解し、それぞれをできるだけ専用プロセッサによって高速化をはかろうとする。図-2 に処理手順の典型的な例を示す。

図面を入力しながら適当なしきい値で2値化する。2値画像に局所処理を施して、小さな黒点や黒の中の小さな白点を除く。ノイズが除去された2値画像に細線化処理を適用し、太い線を幅1の細い線にする。細線化するのにどれだけの幅を削り取ったかによって、線の太さや塗りつぶし領域を知ることができる。線分

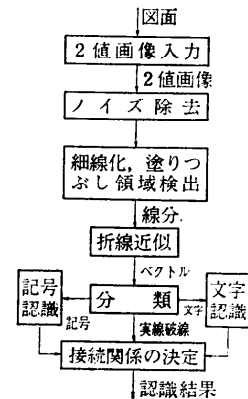


図-2 実用的図面認識の手順

とみなされた部分を折線近似しておく。折線の連結領域の大きさに基づいて文字を分離し、短い線分に対しては破線かどうかを調べる。単純な線以外を記号とみなし、あらかじめ蓄えられている記号の記述と照合する。実線や破線の始点と終点になんの記号があるか、文字はどの線や記号を説明したものを決め、図面を認識する。

このような方法は、最初に2値図形をベクトルと塗りつぶし領域に変換するので、情報を圧縮できる利点がある。しかし、処理の各段で原画像に戻ってあいまいな部分を見直すことはできない。したがって、対象がいいねいに書かれた一定の図面に限られる。

人間が図面を理解する場合は、端から順に見るのではなく、わかり易い部分から見ていき、あいまい性のある部分は、隣接する部分がわかってから見るであろう。そうすれば、すでにわかっている部分がヒントとなってあいまい性がなくなることが期待される。

例えば、まず単純な長い線だけを追跡して求め、つぎにその線が他の線と交叉したり、他の記号と接続している部分を解析する。短い線や曲線は最後に検出し、曲線部は円弧で近似する<sup>19)</sup>。

さらに、記号の意味も考慮すれば、記号の入出力の線がどのようにでなければならないか、どこに接続するかなどを指定でき、認識の誤りをチェックすることができる。また、文字や数字もでたらめではなく、それがなんの説明であるかによって書かれる単語が限定されることが多い。このような対象に関する知識を利用すれば、あいまいな手書図面でも認識できるようになる。

いいねいに書かれていない図面を認識するためには、局所的な判断だけではすまないことがある。例え

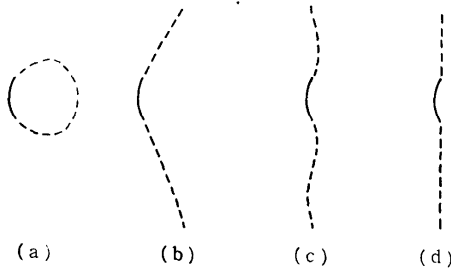


図-3 局所的に判断できない例

ば図-3の(a)~(d)の実線部は円弧の一部である。しかし点線も含めれば、(a)は円の一部であり、(b)は二つの直線の接続点である。また、(c)は人間が直線を描こうとして曲ったとみなされ、(d)は故意に円弧を描いたとみなされよう。このように、図面を解釈するためには、人間の特性を考慮し、大局的に判断をしなければならない。しかしこのような柔軟な処理を行うことはまだ実用的でなく、興味深い研究課題にとどまっている。

#### 4. 三次元シーンの認識

生産過程において、運搬、組立、検査、仕分けなどに視覚情報を利用できれば、簡単な設備でFAを達成できることが期待できる。ここでは、比較的単純な画像処理を高速に行うことが要求され、それを何度も繰り返して行うことが想定される。そのための技術は、三次元シーンの認識処理と、対象のモデルや処理手順の教示に分けて考えられる。また、最近盛んになってきた距離情報の利用を紹介し、つぎにモデルの生成とそれに基づくシーンの認識を述べる。

##### 4.1 距離情報の利用

FAのための画像処理では、対象物体の三次元位置を知りたいことが多い。物体の種類が決まっている、それが一定の姿勢で一定の面に接しているような場合は、濃淡画像から三次元位置を求めることができる。それ以外は、なんらかの距離情報を直接得なければならない。物体表面の各点の三次元座標を入力する研究が1970年頃から始められたが<sup>21)</sup>、少数の研究所に限られていた。その主な理由は、入力装置が簡単に入手できないことであった。最近、米国では面状の光を投影し、その反射光をTVカメラで観測して三角測量の原理で距離を測定する装置が商用化している。それを用いて機械部品を認識する研究も行われている<sup>22)</sup>。

フランスでは、物体の三次元モデルを作るために、

レーザスポットを投影し、それを二つの撮像装置で観測する方式が用いられている<sup>23)</sup>。レーザ光の飛行時間によって距離を直接求めるレーダ方式は、最初米国で開発されたが<sup>24)</sup>、その後数カ所で試みられている<sup>25)</sup>、<sup>26)</sup>。

照明光の方向を変えて複数の画像を入力し、物体表面の反射特性を既知として面の方向を計算する方法もある<sup>27)</sup>。表面が拡散反射でなければならないとか、相互反射があってはならないなどの制限はあるが、入力時間が短くてすむ利点があり、ロボットの目としても試みられている<sup>28)</sup>。最も短時間に入力する方法は両眼立体視である。距離情報を求める場合、現状では「入力時間が短いほど、入力後の計算量が多い」という傾向にある。しかし、ハードウェアの進歩により、計算量の問題は解決に向うことが予想される。このような情勢を反映して、両眼立体視も最近再び注目されるようになった。

##### 4.2 三次元モデルの作成

FAで認識しなければならない対象物は人工物が多く、その三次元形状は一定と考えてもよい。そこで、機械部品や建物の構造物のように、人間が設計して製作した物体の認識を取り上げる。

モデルの表現法としては、三次元の形状の記述を基礎とした方法が一般的であろう。三次元モデルはいったん作ってしまえば、いろいろな目的に利用できる。しかし最初に作るのに手間がかかる。その手間を軽くするため、つぎのような手法が考えられている。

- (1) 実物を見せることによって計算機に大ざっぱなモデルを作らせ、それを人が修正する。
- (2) 人間と計算機が対話的に作る。
- (3) すでにあるモデル（設計データなど）を修正する。

いずれの方法も、計算機内に三次元形状を表現することが必要である。その表現から、面の接続関係、重心、与えられた方向から見た場合の線面など、形に関する情報を取り出すことができなければならない。

例として、CAD用に作られた幾何モデラ GEO-MAP<sup>29)</sup>で作る三次元モデルを取り上げる。そのモデルでは、三次元形状が図-4に示すようなリング構造で表わされている。このなかには形に関する基本的な情報だけが蓄えられている。物体の分類、面の形の複雑度、頂点の種類のような属性を蓄えるためには、図-4のbody, face, vertexに備えられているユーザポインタを用いることができる。

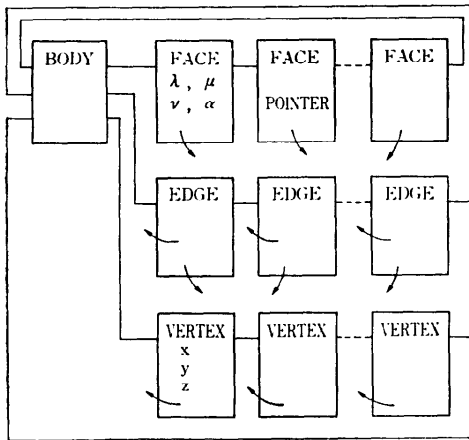


図-4 GEOMAP で作るモデルの構造

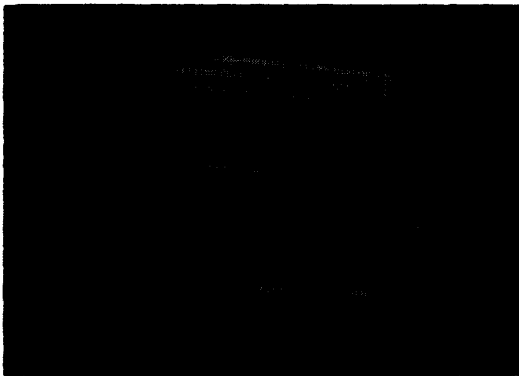


図-5 モデルと画像の重ね合わせた表示

ロボットの作業環境を対話的にモデル化するために、実物を TV カメラで見ながら、必要な点の三次元座標を距離測定機で入力し、GEOMAP を使って三次元モデルを構成していくこともできる。図-5 に、このようにして作ったモデルとシーンのモニタ像を重ね合わせた例を示す<sup>30)</sup>。

#### 4.3 モデルとシーンの照合

シーンを認識するためには、図-1 のどこかのレベルでモデルと照合しなければならない。FA のためには、既知物体が予想される位置からどれだけ離れているかを求める場合が多い。物体の位置の自由度が少なければ、その輪郭だけをモデルと照合して、正確な位置を求めることができる。あるいは、濃淡画像<sup>31)</sup>や距離情報<sup>32)</sup>から主要な特徴を検出し、それとモデルの対応する部分とを照合することもできる。いずれも、物体の種類やだいたいの位置が既知のため、従来のパ

ターン照合法が適用できる。

シーン内の物体の種類がいくつかあり、その姿勢も決まっていない場合には、モデルとの照合が複雑になる。まず、シーン内に物体が 1 個だけある場合を考える。

物体が 1 個でも、それがなにであるか、どの方向を向いているかが未知であれば、あらかじめ蓄えられたモデルとの照合は簡単でない。すべてのモデルについて、すべての姿勢を想定して照合することは能率が悪い。

その問題を解決する一つの方法は、多段照合を行うことである。最初に大ざっぱな照合を行って、モデルの候補を絞り、少数の候補に対してだけ詳細な照合を行うのである。そのためには、モデルを階層的にしておくことが考えられる。

例えば、シーンの記述として、画像の各点の面の方向が得られるとしよう。これを直ちに三次元モデルと照合する代わりに、面の方向分布という上位レベルのモデルを介することができる。あらかじめ、各モデルに対して面の方向分布を作っておく。まず面の方向分布のレベルで照合し、モデルの候補と姿勢の候補を絞ってから、画像の各点の面の向きという低レベルで照合する<sup>14)</sup>。

モデルの階層化の方法は一通りではなく、形の詳しさをや用いる属性などに基づいて、最適な階層構造を作ればよい。

シーン内に物体が複数ある場合は、シーンの記述をそのままモデルと照合することができない。しかし、あらかじめ物体を分離できれば、問題は簡単になる。すなわち、物体の一部が他の物体に隠されるため、少ない情報を使って認識することだけが問題となる。物体の種類によっては、凹の稜<sup>33)</sup>や面の向きの不連続<sup>28)</sup>

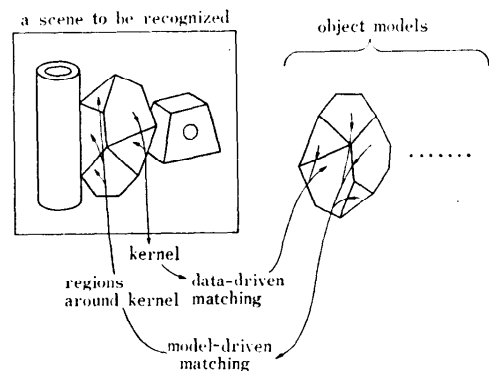


図-6 あらかじめ分離できない物体の照合

によって物体を分離できる。

認識する前に物体を分離することができない場合は別の方法を考えなければならない。一つの方法は、物体を一定の規準で分割し、同じ規準で分割しておいたモデルと、部分ごとの対応を求めることである。この分割によって、異なる物体の部分が同じ部分とならなければ、対応のとれた部分間の関係に基づいて照合することができる。この分割が細かすぎると照合の手間がかかり、分割のメリットがなくなる。大きすぎると異なる物体の部分が合併されてしまう。

妥当な方法としては、シーンを滑らかな面を単位に分割しておき、照合ではそのなかの特徴的な面、あるいは隣接する面の対(図-6の kernel<sup>34)</sup>)を手がかりにしてそれを含むモデルの候補を探し、そのモデルに基づいてシーンの記述との照合を進めることであろう。

## 5. おわりに

画像処理の FA に関係がありそうな側面を述べた。いずれも、画像処理だけ独立して存在するのではなく、人間計算機のインタフェースとして知的作業を行ったり、環境を認識した結果に基づいて機械が環境に働きかけたりする。したがって、そこで利用する対象のモデルや対象に関する知識は、共同作業する CAD/CAM, ロボット制御, 自然言語処理などのシステムと共同できると便利であろう。

## 参 考 文 献

- 1) 鳥野 武: 自動組立てにおけるパターン認識の応用, 情報処理, Vol. 22, No. 4, pp. 286-292 (1981).
- 2) 特集パターン認識によるオンライン検査システム, 映像情報, Vol. 15, No. 10 (1983).
- 3) 中島, 稲垣: パターン測長によるプリント板用ホトマスクの致命欠陥検査, 第11回画像工学コンファレンス, pp. 33-36 (1980).
- 4) Baird, M.L.: SIGHT-I: A Computer Vision System for Automatic IC Chip Manufacture, IEEE Trans. Vol. SMC-8, No. 2, pp. 133-139 (1978).
- 5) 小室, 宮下, 一川, 秋山: 青果物自動選別装置, 富士時報, Vol. 52, No. 8, pp. 487-490 (1979).
- 6) 井上, 井狩, 野村: 目視検査工程の自動化, 松下電工技報, No. 26, pp. 7-11 (1983).
- 7) Takagi, M., Konishi, T. and Kitsuki, J.: Shape Reconstruction of Wires Using Color Images for Automatic Soldering System, Int. Symp. of Robotics Research (1983).
- 8) 白井良明: 画像理解, 情報処理, Vol. 21, No. 6, pp. 626-632 (1980).
- 9) 画像処理 サブルーチン・パッケージ SPIDER User's Manual, 電子技術総合研究所 (1980).
- 10) 白井良明: 物体・光景の認識と理解, 情報処理, Vol. 19, No. 10, pp. 969-975 (1978).
- 11) Kender, J.R.: Shape from Texture, Proc. 6th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp. 475-480 (1979).
- 12) Horn, B.K.P. and Schunk, B.G.: Determining Optical Flow, Artificial Intelligence, Vol. 17, No. 1-3, pp. 185-203 (1981).
- 13) Faugeras, O.D. and Ponce, J.: Prism Trees: A Hierarchical Representation for 3-D Objects, Proc. 8th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp. 982-988 (1983).
- 14) 白井ほか: ビジョンシステムにおける3次元モデルの利用, グラフィックスとCADシンポジウム論文集, 情報処理学会, pp. 37-42 (1983).
- 15) Kakumoto, S. et al.: Logic Diagram Recognition by Divide and Synthesis Method, Artificial Intelligence and Pattern Recognition in Computer Aided Design, J.C. Latombe (ed.), North-Holland Publishing Co., pp. 457-476 (1978).
- 16) 棟上, 佐藤: 図面の自動認識と理解, 情報処理, Vol. 24, No. 9, pp. 1086-1094 (1983).
- 17) 吉田ほか: 手書図面の自動入力/処理装置, 情報処理, Vol. 22, No. 4, pp. 300-306 (1981).
- 18) Shimizu, S. et al.: Logic Circuit Diagram Processing System, Proc. 6th Int. Joint Conf. on Pattern Recognition, pp. 717-719 (1982).
- 19) Sato, T. and Tojo, A.: Recognition and Understanding of Hand-Drawn Diagrams, *idem.*, pp. 674-677.
- 20) 田村秀行: 図形の細線化についての比較研究, イメージプロセッシング研資 1-1, 情報処理学会 (1975).
- 21) Shirai, Y.: Recognition of Polyhedrons with a Range Finder, Pattern Recognition, Vol. 4, No. 3, pp. 243-250 (1972).
- 22) Bolles, R.C., Horaud, P. and Hannah, M.J.: 3DPO: A Three-Dimensional Part Orientation System, Proc. 8th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp. 1116-1120 (1983).
- 23) Boissonnat, J.D. and Germain, F.: A New Approach to the Problem of Acquiring Randomly Oriented Work Pieces out of a Bin, Proc. 7th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp. 786-802 (1981).
- 24) Nitzan, D. et al.: The Measurement and Use of Registered Reflectance and Range Data in Scene Analysis, Proc. IEEE, pp. 206-220 (1977).
- 25) Giralt, G. et al.: An Integrated Navigation and Motion Control System for Autonomous Multisensory Mobile Robots, Proc. Int. Symp.

- of Robotics Research.
- 26) Jarvis, R. A. : A Laser Time-of-Flight Range Scanner for Robotics Vision, IEEE Trans. Vol. PAMI-5, No. 5, pp. 505-512 (1983).
- 27) Woodham, R. J. : Photometric Stereo: A Reflectance Map Technique for Determining Surface Orientation from Image Intensity, Proc. SPIE, Vol. 155 (1978).
- 28) Ikeuchi, K., Horn, B. K. P. and Nagata, S. : Picking up an Object from a Pile of Objects, Proc. Int. Symp. Robotics Research (1983).
- 29) Kimura, F. and Hosaka, M. : Program Package GEOMAP, Proc. Geometric Model Project Meeting, CAM-I Inc. (1978).
- 30) Hasegawa, T. and Inoue, H. : Modelling and Monitoring a Manipulation Environment, Proc. 6th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp. 369-371 (1979).
- 31) Bolles, R. C. : Verification Vision for Programmable Assembly, Proc. Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp. 569-575 (1977).
- 32) 松下, 佐藤: ロボットビジョン言語—照会レベルのロボットビジョン言語の試作—, コンピュータビジョン研資 21-3, 情報処理学会 (1982).
- 33) 杉原厚吉: 頂点辞書を利用した距離画像解析, 情報処理学会論文誌, Vol. 20, No. 1, pp. 39-44 (1979).
- 34) 大島, 白井: 3次元情報を用いた物体認識, 電子通信学会論文誌, Vol. J65-D, No. 5, pp. 629-636 (1982).

(昭和58年11月29日受付)

