

## オブジェクト指向の工業用ロボット視覚システム†

松崎 吉衛<sup>††</sup> 磯部 光庸<sup>††</sup>  
秦 清治<sup>††</sup> 武市 謙三<sup>†††</sup>

工業用ロボット視覚のソフト開発効率向上を目的として、各種の認識対象を、基本となるオブジェクトの組合せとして定義できる、オブジェクト指向のロボット視覚システムを開発した。オブジェクトの表現内容は、認識対象の種類、輪郭形状、特徴量、干渉チェックの範囲等、認識対象自体の属性データのほか、認識に使用するメソッドの種類がある。ロボット視覚の環境は、ジョブ、ステージ、ウィンドウの3階層で表現され、この上でオブジェクトの位置が定義される。本ロボット視覚システムは、ユーザにより定義された認識対象をオブジェクトベースに格納しておくヒューマンインタフェースモジュール、実行を管理する認識モニタ、それに認識処理モジュールから構成される。認識モニタは、外部からの認識実行命令を受け、オブジェクトベースを参照しながら認識処理モジュールを制御し、その認識結果を外部に返す。認識処理モジュールは、画像入力、ローレベル処理、判別処理、計測処理を行う複数のモジュールから構成される。各モジュールは共通のワーキングデータを使用しながら処理を進めるので、任意のモジュールを組み合わせて使用できる。本ロボット視覚システムを、部品判別、位置検出等、従来専用システムが開発されていた各種の作業に適用し評価した。本論文では、まず本システムのアーキテクチャと実行方式を示し、ついで、適用範囲、ソフト生産性について考察する。

### 1. ま え が き

組み立てのための物体認識や外観検査等を行う工業用ロボット視覚（以下、単にロボット視覚と呼ぶ）は、フレキシブルな生産設備を実現するための一つの重要な要素として適用が増大しており、画像処理、認識機能の向上と共に、ソフト開発効率の向上が強く望まれている。

現在、ロボット視覚用ソフトの開発方法としては、画像処理言語<sup>1),2)</sup>、および専用パッケージ<sup>3),4)</sup>が使われている。前者は画像処理用のステートメントや関数を用いて、対象に適したアルゴリズムを自由に記述できるという長所があるが、開発工数が多大になり、増大するニーズにソフト開発が追いつかないという問題が出ている。後者は、画像処理の方法を定形化することにより、パラメタを教示するだけで容易に使用できるという長所があるが、幾何学的特徴量を用いるため、適用範囲は、2値化により単一のセグメントとなる形状の認識に限定されている。

これらの問題に対し、本システムではロボット視覚の認識対象を構成する基本要素を定義し、複雑な認識対象も、この基本要素の組合せにより記述できるよう

にした。基本要素の定義方法としては、オブジェクト指向モデルを用い、形状等、認識対象自体の属性データのほか、認識に使用するメソッドの種類を記述する。ロボット視覚は、この定義内容を参照して必要な処理を起動し、認識を行う。ユーザは、この定義をガイダンス方式で行えるので画像処理言語でプログラミングするより容易である。また、基本要素として、単一セグメントのほかに、濃淡画像から得られるエッジ等を設けたことにより、従来の専用パッケージより広範囲に使用できる。

ここでは、まず本システムの構成を示し、ついで適用性の評価を行う。

### 2. システムの概要

本ロボット視覚システムは、認識対象をオブジェクトとして扱う、オブジェクト指向のシステムである。ユーザは、ロボット視覚システムに対して、オブジェクトデータと呼ぶ認識対象の属性を与えることによりその認識結果を得ることができる。

なお、認識させたい時にオブジェクトデータを外部から入力すると、その伝送に時間を要するので、あらかじめ、全認識対象のオブジェクトデータをロボット視覚システムに記憶させておき、必要な時に認識対象を指定して認識を実行させる。

この機能を実現するために、本ロボット視覚システムは、図1に示すようなアーキテクチャをとった。図に示すように、システムは、ヒューマンインタフェー

† Object Oriented Industrial Robot Vision System by KICHIE MATSUZAKI, MITSUNOBU ISOBE, SEIJI HATA (Production Engineering Research Laboratory, Hitachi, Ltd.) and KENZOU TAKEICHI (Tochigi Works, Hitachi, Ltd.).

†† (株)日立製作所生産技術研究所

††† (株)日立製作所栃木工場

スモジュール、オブジェクトベース、認識モニタ、認識処理モジュールから構成される。

ヒューマンインタフェースモジュールは、ユーザと対話して、ユーザが指定する認識対象の属性を得ると、オブジェクトデータとして、オブジェクトベースに格納する。認識処理モジュールは、画像入力、ローレベル処理、判別処理、計測処理を行う複数のモジュールから構成され、シーンの中から対象を認識するため画像信号を処理する。認識モニタは、外部からの認識実行命令を受け、オブジェクトデータを参照しながら認識処理モジュールを制御して認識結果を得、その結果を外部に返す処理を行う。

ここで、オブジェクトデータはフレーム構造を持ち、認識処理モジュールは、オブジェクトデータ中のローレベル処理や判別処理の種類を示すスロットに付加されたメソッドとして働く。このように本ロボット視覚システムは、知識ベースシステムの構造を持つが、処理の高速化のため、知識ベースシステム構築シミュラは用いず、C言語で作成した。

### 3. 認識対象の表現形式

ロボット視覚の基本的機能は、認識対象を判別し、その位置を求めることである。したがって、認識対象を表現する内容としては、認識対象自体の性質に加え、その位置がある。本ロボット視覚システムでは、認識対象の形状をその認識対象固有の座標系（オブジェクト座標系）で定義し、その認識対象が存在する環境を表す座標系とオブジェクト座標系の座標変換パラメータをオブジェクトデータの中に持つことにより、位

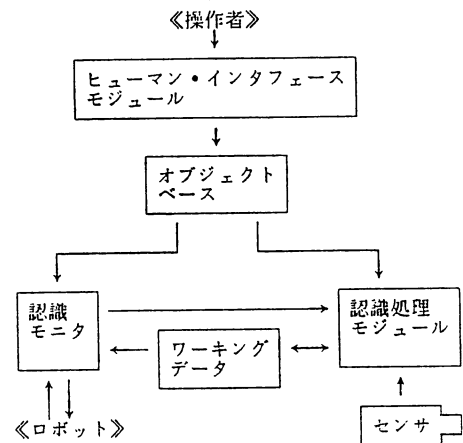


図1 ロボット視覚システムアーキテクチャ  
Fig. 1 System architecture of the robot vision system.

置を表す。

環境は、ジョブ、ステージ、ウィンドウの3階層で表現され、各階層で認識対象が存在し得る。

また、一般にロボット視覚の認識対象は、単一の部品だけでなく、例えば、部品aと部品bによって組み立てられている部組品cといったように、複数の物から構成されるものがある。このような物を表すためオブジェクトデータは、それを構成する下位の物体のオブジェクトデータを示すことにより、階層的に定義できるようにになっている。

図2は、この認識対象の表現形式を示したものである。

以下、オブジェクトデータの内容と、認識対象が存在する環境を表す座標系について示す。

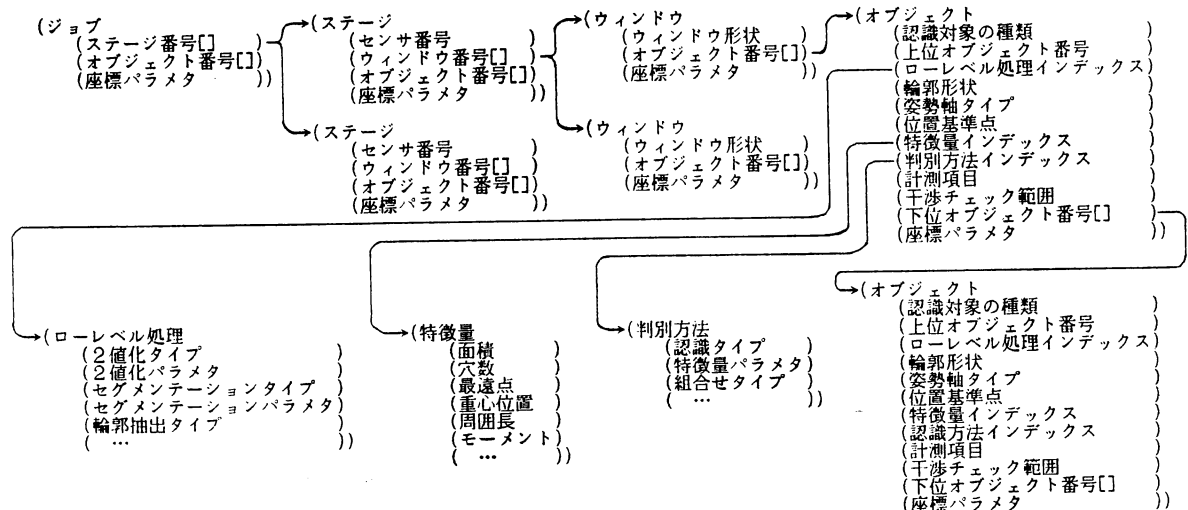


図2 認識対象の表現形式

Fig. 2 Expression of recognition objects.

### 3.1 オブジェクトデータ

本システムは、オブジェクトデータとして、以下のように、認識対象自体の属性データに加え、使用すべき認識アルゴリズム等、処理方法に関する情報も含んでいる。したがって、このオブジェクトデータの各項目を順に参照すれば認識処理を行うことができる。

(1) 認識対象の種類: 本システムでは、認識対象として、単一のオブジェクトデータで表せる1次対象物と、階層的な複数のオブジェクトデータで構成される高次対象物がある。1次対象物はさらに、単一のセグメントから構成される単純対象物と、複数のセグメントから構成される複合対象物に分類される。表1にこの種類を示す。

(2) 輪郭形状: 輪郭形状を多角形で表す。

(3) ローレベル処理方法: 認識を行うためには、ノイズ除去、2値化、セグメンテーション等のローレベル処理が不可欠である。この処理の内容は、認識対象によって異なるので、行うべきローレベル処理の種類、順序を指定する。

(4) 特徴量: SRI ビジョンモジュールアルゴリズム<sup>3)</sup>等、形状の特徴量を用いた認識アルゴリズムを用いるため、認識対象の特徴量を事前に計算し保持しておく。

(5) 判別方法: 有効な判別アルゴリズムも認識対象によって異なるので、使用する判別アルゴリズムを指定する。なお、同一物体と見なせる面積一致度等、判別を行う際のパラメタの指定も必要である。

(6) 計測項目: ロボット視覚は、組み立てに用いる部品の位置認識、検査のための物体の寸法測定等、各種の用途があり、必要な計測項目も異なるので、必要な項目を指定する。

(7) 干渉チェックの範囲: ロボットが組み立てを行う際には、部品位置を知ると同時に、部品の周囲に障害物が無いことをチェックする必要がある。本システムでは、この範囲を指定することができる。

### 3.2 環境記述座標系

本システムでは、ロボット視覚の環境を次の3階層の座標系で表し、この中で物体の位置を指定する。

#### (1) ジョブ座標

ジョブとは、1つの作業単位のことであり、ジョブ座標とは、そのジョブ全体に対して共通の座標であ

表1 認識対象の種類

Table 1 Type of recognition objects.

(a) 1次対象物			
種類	名称	内容	認識結果
単純	(1) 平面对象物	領域を有する平面状物体 任意形状、穴も可	指定作業点の位置
	(2) 線対象物	縁、溝等直線状の物体	傾きおよび切辺の値
	(3) 点対象物	形を特定せず、点と見なす物体 平面对象物の一種	中心位置
複合	(4) ストライプ対象物	ストライプ模様の物体	ストライプの数 中心位置
	(5) 非定形対象物	指定した範囲における白または黒の総面積	有/無
(b) 高次対象物			
名称	内容	下位対象物	認識結果
(6) 2点の構成物	2つの物体の特定の点から構成される線分	(1)(3)(4)	点間距離 傾き、切辺の値
(7) 点と直線の構成物	物体の特定の点から直線への垂線	(1)(3)(4) &(2)(6)	点と直線の距離 傾き、切辺の値
(8) 2直線の構成物	2直線の交点もしくは線間距離	(2)(6)	線間距離 交点位置
(9) 複数物体の構成物	対象物の有/無 パターンで定義	(1)(2)(3) (4)(5)(6) (7)(8)(9)	有/無

る。したがって、この座標は1つの作業に対するワールド座標であると言える。

#### (2) ステージ座標

ステージとは、1つのジョブにおいて、1回に撮像する範囲のことであり、ステージ座標とは、その範囲における座標である。一般に、ステージ座標はジョブ座標において定義されており、複数のステージの位置関係は、そのステージ座標が定義されているジョブ座標を介して求めることができる。ステージ座標は、ロボットの手先視覚のように、撮像する範囲が移動する場合、あるいは、複数のカメラを用いて大きな物体を分割して撮像し、それから全体の認識を行うような場合に有効である。

#### (3) ウィンドウ座標

ウィンドウとは、1つのステージにおける特定の範囲を言い、ウィンドウ座標とは、その範囲における座標である。一般に、ウィンドウ座標はステージ座標において定義されているので、複数のウィンドウの位置関係を求めることができる。ウィンドウは、認識する物体の存在範囲が限定されている場合、その周囲に設

定することにより、周囲をマスクして認識を容易にする効果があり、ウィンドウ座標はこの内部の処理に使われる。

#### 4. 認識処理モジュール

オブジェクトデータには、使用すべきアルゴリズムも含めて認識対象の属性が厳密に定義されている。また、実行のタイミングは認識モニタが制御する。したがって、認識処理モジュールは、このオブジェクトデータに示されたとおりに実行を進めればよい。ここで、認識処理モジュールに要求されるのは、多様な認識仕様に対応できることである。ここでの多様さとは、各種のセンサを使用できること、複数の画像を使用できること、各種のローレベル処理および認識アルゴリズムを実行できること、各種の認識結果を返せることである。これを実現するために認識処理モジュールは2つの方式を使用している。

第一に、画像メモリ等、センサに依存するデータにはタグを設け、アクセスはタグを参照して行うことにした。タグにはそのデータの入力チャンネルおよびセンサの属性、データのサイズ等が示されている。これにより、画像入力モジュールが、タグを参照し、センサの種類に応じたドライバルーチンを使用して、異なるセンサから画像を入力することができる。また、2値化モジュール、セグメンテーションモジュール等、画像データを使用するモジュールも、タグを参照して画像サイズを知り、それに合わせた処理を行う。

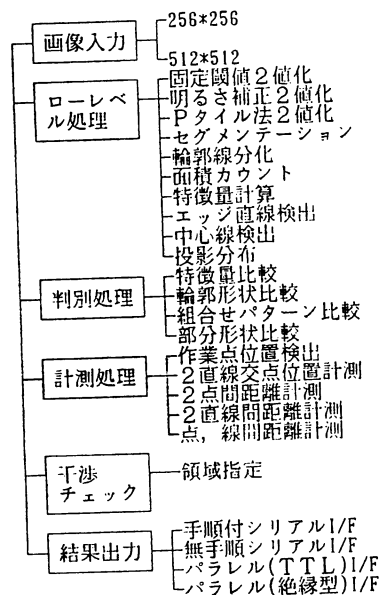


図3 認識処理モジュールの構造  
Fig. 3 Structure of the recognition module.

第二に、画像入力から認識までの処理を標準的な手順にそって階層化し、各階層ごとに使用モジュールを選択できるようにした。階層としては、画像入力、ローレベル処理、判別処理、計測処理、干渉チェック、結果出力がある。図3に認識処理モジュールの階層構造を示す。

各階層のモジュールは共通のワーキングデータを参照し処理を進める。このワーキングデータは、ウィンドウ処理データと認識結果データから構成される。ウィンドウ処理データは、ウィンドウごとに設けられ、原画像、2値画像、ラベリング結果、各セグメントの特徴量や輪郭形状が含まれる。また認識結果データは、その認識対象ごとに設けられ、認識対象の有無、位置、計測された寸法が含まれる。

各階層のモジュールは、ワーキングデータに対し、図4に示すような参照、書き込みを行うが、全モジュールが共通のワーキングデータを使用するので、図3に示した任意のモジュールを組み合わせることで実行することができる。

#### 5. 認識モニタ

認識モニタの機能は、外部機器からの認識実行の命令を受けて、認識処理モジュールの実行を制御し、認識結果を外部にかえすことである。ここでは、この機能について述べる。

##### (1) 複数の認識対象物の管理

外部からの認識命令が、1つの対象物を指定した場合、その対象物についてのみ、認識すればよいが、

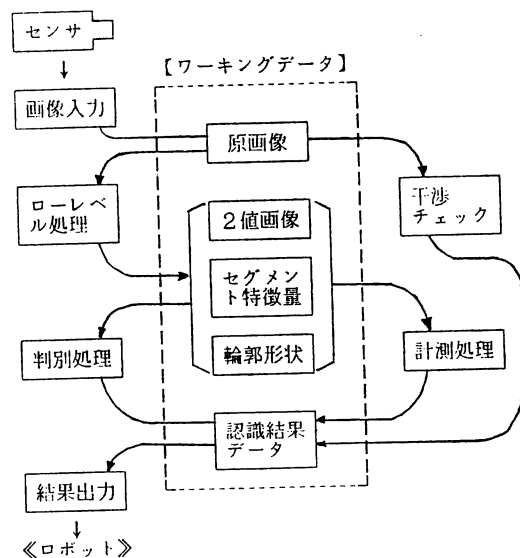


図4 ワーキングデータに対する参照、書き込み関係  
Fig. 4 Read write procedure to the working data.

複数の対象物を指定した場合は、認識モニタがこの管理を行う。認識モニタは、まず、指定されたすべての対象物の番号を認識モジュールに送る。認識モジュールは、どれか1つ認識した対象物の結果を認識モニタに返す。つぎに、認識モニタは、認識された対象物を除いた残りの対象物の番号を認識モジュールに送る。これを、認識した対象物が無くなるまで繰り返すことにより、複数個の対象物の結果を返すことができる。

(2) 階層的認識処理手順の生成

認識対象には、3.1で述べたように、1次対象物と高次対象物がある。各対象物には番号が付けられており、外部からはこの番号で、認識対象を指定してくる。ここで、1次対象物の場合は、外部から指定されたものだけを認識すればよい。しかし、高次対象物の場合は、その対象物を構成する下位の対象物を認識しないと、その組合せである上位の対象物を認識することができない。このため、認識モニタは、高次対象物の認識を指定されたら、その対象物を構成する下位対象物を調べ、認識モジュールに対し、まず、下位対象物の認識を指示し、それが完了したところで、外部から指定された高次対象物の認識を指示する。

(3) 実行モジュールの選択とパラメタ設定

オブジェクトデータは、個々の認識対象については使用する特徴量等、認識方法に関する属性も含めて定義されている。しかし、認識対象が複数存在する場合、最も効率の良い認識方法は事前に決定できず、以下のように、実行時に認識モニタが、複数のオブジェクトデータを調べて決定する。

(a) 重複処理の排除

複数の認識対象が同一のウィンドウに属し、ローレベル処理の指定も同一の場合、2つ目の認識対象に対してはローレベル処理は行わず、最初の認識対象に対して求めたローレベル処理を用いることで認識を高速化する。

(b) 特徴量の選択

複数の認識対象が異なる特徴量を使用する場合、それらを包含する特徴量の集合を求め、特徴量計算モジュールに対し、その特徴量の計算を指示する。これにより、認識対象が複数ある場合、同じ特徴量を重複して計算することの無いようにしてある。

(c) 最少セグメントの設定

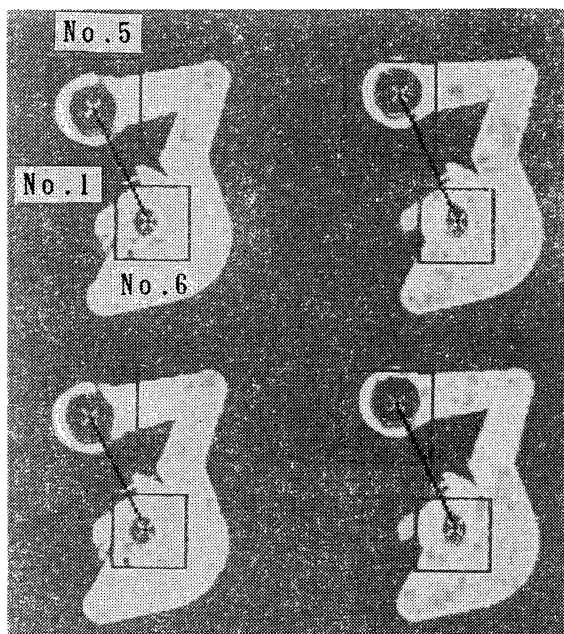
ごみやノイズ等の影響で現れる微小なセグメントを除去するために、認識対象に比べ十分小さなセグメントは、それを包含するセグメントに吸収する手法があ

る<sup>5)</sup>。認識モニタは、複数の認識対象を調べて面積の最少値を求め、それから吸収するセグメントの面積閾値を決定する。

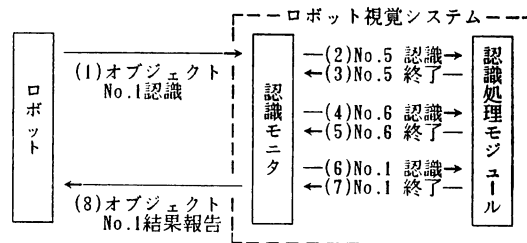
6. 認識の実行方式

次に、認識モニタと認識処理モジュールによる認識の実行手順を、図5に示すVTRの機構部品の位置認識の例<sup>6)</sup>について示す。

認識対象は、パレットに整列して供給される蝶番状の部品であり、この部品の位置と開き角度を認識し、組立ロボットに結果を送る。認識は、この部品の特徴である2つの穴の周囲にそれぞれウィンドウを設定し、2つの穴の中心位置を用いて行う。ここで、個々の部品が1つのステージオブジェクトとなっており、部品の穴がウィンドウオブジェクトとなっている。したがって、この作業の目的はステージオブジェクトの認識であるが、このためにはステージオブジェクトを構成するウィンドウオブジェクトの認識が必要であ



(a) 認識対象



(b) コマンドシーケンス

図5 認識の実行例

Fig. 5 An example of recognition sequence.

る。認識実行のタイミングは、ロボットが1つの部品の組み立てを終了することである。いま、左上の部品を認識する場合を想定する。

この場合、まず、ロボットがステージオブジェクト1番の認識要求をロボット視覚システムに出す。認識モニタは、オブジェクト1番のオブジェクトデータを調べ、下位オブジェクトとしてウィンドウオブジェクト5番と6番を持つので、まず、画像入力とオブジェクト5番の認識を認識処理モジュールに指示する。この指示を受けた認識処理モジュールは、画像入力した後、5番のオブジェクトデータを参照して認識処理を行う。ここで、オブジェクトデータにはローレベル処理、判別処理の種類が指定されているので、指定されたモジュールが実行される。

この認識が終了したら、認識モニタは、続いてオブジェクト6番の認識を認識処理モジュールに指示する。認識処理モジュールは、前に入力した画像を用いてオブジェクト6番を認識し、結果を認識モニタに返す。

2つの下位オブジェクトの認識が終了したところで、認識モニタは、ステージオブジェクト1番の認識を指示する。これにより、5番と6番のオブジェクトの有/無の結果を用いて、ステージオブジェクト1番の認識が実行され、オブジェクト5番の位置と6番との距離が求められる。認識モニタは、この認識結果をロボットに送り、オブジェクト1番の認識要求に対する処理が終了する。

このように、ロボット視覚システムは事前に格納されているオブジェクトデータを、ロボットから要求のあった時点で解析し、指定されたオブジェクトを構成する下位オブジェクトから順に認識を行うことで、複雑なオブジェクトの認識も可能としている。

## 7. 適用性の評価

### 7.1 適用範囲

ロボット視覚の用途は、一口で言えば物体認識であるが、その範囲は多岐に渡っている。文献<sup>7)</sup>によれば、物体認識の対象として、形状、位置等の幾何学的性状、物体の良否を表す質的性状、模様、文字等の付加的性状が挙げられている。本ロボット視覚システムの適用範囲は、2次元の幾何学的性状、および単純な文字等の付加的性状の認識である。

もちろん、この範囲の対象すべてに適用できるわけではなく、適用範囲を明確に規定すること自体難しいので、以下のように、適用対象の類型を列挙すること

により適用範囲を示す。各類型に属する具体的な事例、および、その時のオブジェクトデータの形式について表2に示す。

#### (1) 単純背景における2次元形状の判別と位置計測

これは、2値画像において対象物体が背景から分離でき、その輪郭形状の幾何学的特徴により判別ができる場合である。対象物体の存在範囲にウィンドウを設定し、その内部における位置検出を行う。供給装置上に置かれた部品を認識する場合等がこれに相当し、ロボット視覚として多くの適用例がある<sup>8)</sup>。この場合のオブジェクトは、部品の形状を幾何学的特徴とする単純対象物である。

#### (2) 複雑背景における2次元形状の判別と位置計測

基板やシャーシ等、複雑なパターンの中にある部品等を認識する場合である。この場合、視野全体を2値化すると対象物体を背景から分離できないので、特徴部の周囲にウィンドウを設定し、その内部の限定されたシーンのみを解析し、そこから得られた部分形状から対象物体を認識する<sup>9)</sup>。ここで、対象物体は粗位置決めされており、特徴部がウィンドウからはずれないことが条件となる。この場合のオブジェクトは、ウィンドウ内の部分形状を示すオブジェクトを下位に持つ高次対象物である。

#### (3) エッジに基づく精密な位置計測

電子部品の精密組立等においては、1画素以下の位置精度が必要なことが多いが、2値画像での領域の重心からは、このような精度は得られない。このような高精度位置決めを行うため、物体のエッジを濃淡画像の平均化処理から求める手法<sup>10)</sup>を用い、まず、指定されたエッジの存在範囲を解析して各エッジの精密な位置を求め、それから、物体の位置を精密に計測する。この場合のオブジェクトは、各エッジを線対象物、またはストライプ対象物として下位に持つ高次対象物である。

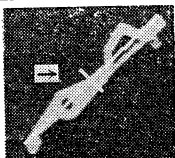
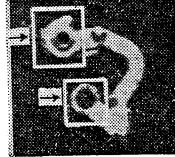
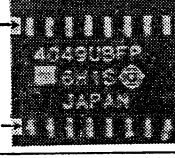
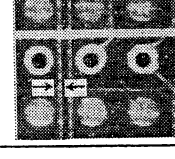
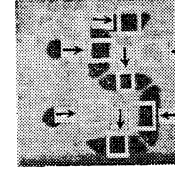
#### (4) 物体の特定部分の寸法計測

長方形の物体等、寸法が辺と辺、あるいは頂点と頂点の距離として指定できる場合、辺や頂点の周囲にウィンドウを設定し、検出した位置結果から距離を計測する。この場合のオブジェクトは、個々の辺や頂点を下位オブジェクトとする高次対象物である。

#### (5) 複数の要素から構成されるマークの判別

液晶の7セグメント文字のように、複数の要素の組

表 2 適用対象の類型  
Table 2 Typical application.

類型	事 例	オブジェクト記述例	
(1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>供給装置上の部品認識</li> <li>穴位置検出</li> <li>ICペレット位置検出</li> </ul>	(オブジェクト 1 種類: 平面对象物)	
(2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>基板, シャーシ上部品認識</li> </ul>	(オブジェクト 1 種類: 2点の構成物 下位対象物: 2,3) (オブジェクト 2 種類: 点対象物) (オブジェクト 3 種類: 点対象物)	
(3)	<ul style="list-style-type: none"> <li>基板組立用 IC, 電子部品位置認識</li> <li>位置合わせ用マーク検出</li> </ul>	(オブジェクト 1 種類: 2点の構成物 下位対象物: 2,3) (オブジェクト 2 種類: ストライプ対象物) (オブジェクト 3 種類: ストライプ対象物)	
(4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>液面計測</li> <li>棒状物体の長さ計測</li> <li>帯状物体の幅計測</li> <li>メータ読み取り</li> </ul>	(オブジェクト 1 種類: 2直線の構成物 下位対象物: 2,3) (オブジェクト 2 種類: 線対象物) (オブジェクト 3 種類: 線対象物)	
(5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>印字品番号読み取り</li> <li>7セグメント文字読み取り</li> <li>電子部品種類判別</li> </ul>	(オブジェクト 1 種類: 複数物体の構成物 下位対象物: 2,3,4,5,6,7,8) (オブジェクト 2 種類: 非定形対象物) (オブジェクト 3 種類: 非定形対象物) (オブジェクト 4 種類: 非定形対象物)	

合せて種類を判別する場合である。例えば、位置決めされた液晶文字は、各セグメントの位置にウィンドウを設定し、ウィンドウ内の要素の有無の組合せで種類を判定できる。この場合のオブジェクトは、各構成要素を下位オブジェクトとして持つ高次対象物である。

また、本ロボット視覚システムが適用できない対象は、3次元の幾何学的性状、質的性状、および複雑な付加的性状である。これは、本システムが、物体の表現として2次元輪廓形状を用いており3次元形状を定義できないこと、およびキズ、模様等、形状に特徴はあっても、一定ではないものを定義できないためである。これに属する事例としては、山積み部品の認識、塗装検査、ハンダ付検査、画質検査等がある。

7.2 処理時間

本ロボット視覚システムは、オブジェクトベースに格納されたオブジェクトデータを、認識モニターおよび認識処理モジュールが参照して処理を進める。したがって、必要なプログラムのみで構成された専用システ

表 3 処理時間例  
Table 3 Processing time example.

モジュール種類	実行時間 (m 秒)
明るさ補正 2 値化	30
セグメンテーション	60
特徴量計算	80
組合せパターン比較	10
2 点間距離計測	10
単体モジュール合計	190
トータル	210
オーバーヘッド	9.5 (%)

ムと比較して、オブジェクトデータを取り出し、解釈する時間がオーバーヘッドとなる。この時間を評価するために、6章で示した例につき、本システムのトータルな処理時間と、そこでの正味の画像処理時間を測定した結果を表 3 に示す。

立  
重  
な  
象  
さ  
立  
ま  
で  
頂  
ウ  
測  
を  
組

ここで、測定に用いた画像処理装置は、16ビットマイクロコンピュータ 68000 に2値化回路、および変化点検出回路を付加したロボット用視覚装置である。この装置の外観と構成を図6に示す。

この測定結果では、本システムのオーバーヘッドは10%以下となっており、特に問題となる値ではないと思われる。

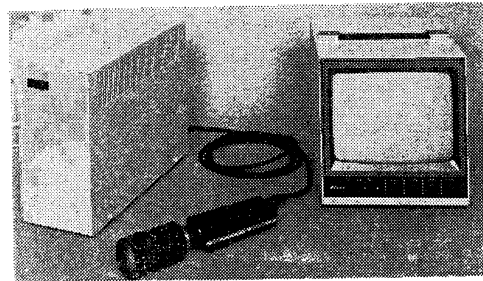
なお、認識モニターには、4章に示したように、認識対象に応じて、実行モジュールの選択や、モジュールに対するパラメタの設定を最適にする機能があり、これによる高速化の効果は、オーバーヘッドによる速度低下を十分に補えると思われる。

7.3 システム開発の生産性

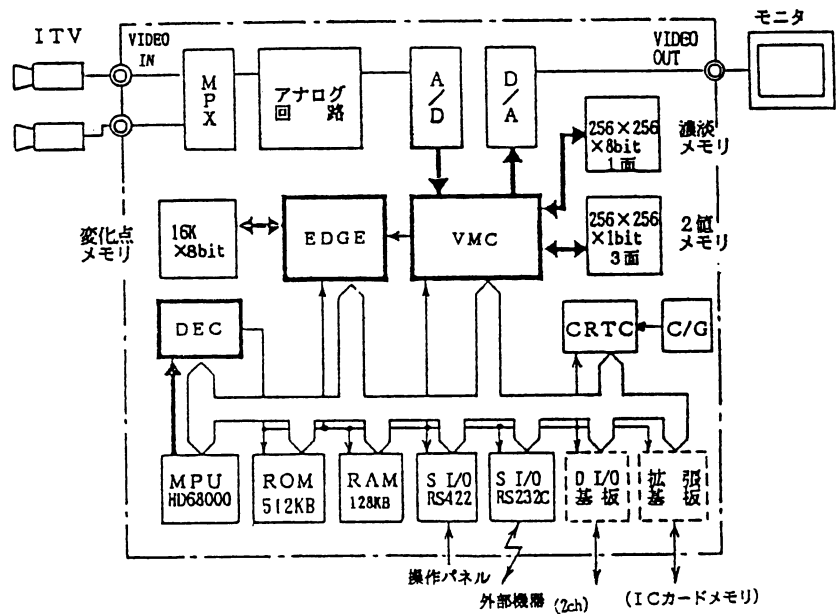
本ロボット視覚システムを使用して特定の応用システムを構築する際の作業は、オブジェクトデータの設定である。これは、ヒューマンインタフェースモジュールにより、対話型でデータを設定することで行える。ここで、ユーザが行うのは2値化方法の選択等、画像処理のノウハウを必要とする項目の設定であり、認識対象の幾何学的特徴量等、実物画像から計算できる項目は本システムが自動設定する。ユーザ設定を必要とする項目数を、表2の事例について示したものを表4に示す。この項目を対話型に設定する工数は、プログラムを作成する工数に比べ大幅に少ない。

さらに、本システムの特徴は、組み込み済みの機能では実現できない応用に対し、新たなモジュールを開発し、付加したとしても、全体を新規開発するのに比べ大幅に工数を低減できることである。

図7は、本システムの機能とプログラム容量の関係を開発順に示したものである。ロボット視覚の基本である、特徴量比較アルゴリズムによる位置認識機能だけを備えた時点で、250Kバイトであったものが、輪郭形状比較、組合せパターン比較、形状計測等のアル



(a) 外観



VMC	・画像バス制御、2値化制御 ・ウインドウ(アドレス発生)回路	2500ゲート
EDGE	・変化点検出処理、変化点メモリ制御	1800ゲート
DEC	・MPU周辺バス制御	1800ゲート

(b) ハードウェア構成

図6 ロボット用視覚装置

Fig. 6 Hardware of the robot vision system.

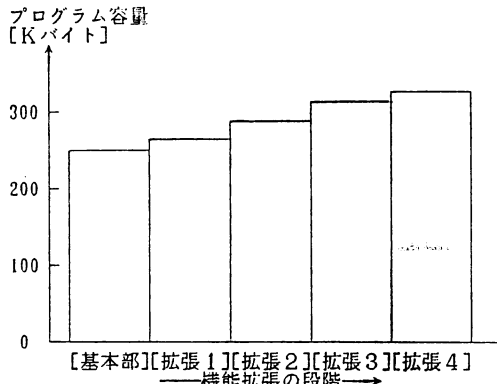
表4 オブジェクト設定項目数: 表2の事例

Table 4 The number of object definition items for examples in Table 2.

事例	設定項目数
(1)	48
(2)	54
(3)	39
(4)	39
(5)	132

ゴリズムを組み込んでも各々10Kバイト程度しか増加していない。これは、ロボット視覚の応用システムにおいては、基本的な画像処理部、マンマシンインタフェース部、ロボットとの通信部、実行管理部等が容





- [基本部]: 特微量比較アルゴリズムに基づく位置認識  
画像入力, 2 値化, セグメンテーション,  
面積カウント, 特微量計算, 特微量比較,  
位置検出, 干渉チェック, 結果出力
- [拡張1]: 輪郭形状比較アルゴリズムに基づく認識  
輪郭線分化, 輪郭形状比較
- [拡張2]: 高次対象物の認識  
組合せパターン比較
- [拡張3]: 形状計測  
エッジ直線検出, 距離計測
- [拡張4]: 特殊形状の認識  
中心線検出, 投影分布, 部分形状比較
- 図 7 機能拡張とプログラム容量

Fig. 7 Relation between enhanced function and program size.

量的には大きな比率を占め、画像処理の高度化による部分は、それほど大きくないからである。これは、従来から知られていることであるが<sup>11)</sup>、これまでのシステムは、異なるアルゴリズムの追加が難しく、類似のモジュールをシステムごとにより直さざるを得ない点があった。

本システムは、アルゴリズムやハードウェアに対し拡張性のあるアーキテクチャとなっているので、新規機能の部分だけを作成して付加すればシステムを完成することができ、システム開発の生産性が極めて高くなる。

## 8. む す び

認識対象をオブジェクトとして扱う、オブジェクト指向のロボット視覚システムを開発した。オブジェクトは階層構造を持つので、複数のセグメントから構成される物体も記述することができる。

本システムでは、オブジェクトの基本要素は、既存のローレベル処理アルゴリズムや認識アルゴリズムで検出できることを前提としており、現状のアルゴリズムで認識が困難な対象には、本システムも対応できない。しかし、対象を限定すれば、これまでに開発された画像処理・パターン認識技術で十分対応できるとの

考え方があり<sup>12)</sup>、本システムもこの考えに立ち、ソフト開発効率の向上を目的としたものである。

本システムにおいて、オブジェクトの定義はユーザが各項目を個別に指定する方式をとっているが、これは、ユーザが認識対象に適した認識方法等の知識を持つことを前提としている。今後の課題は、ヒューマンインタフェースモジュールにこの知識を持たせ、画像処理エキスパートシステム<sup>13)</sup>を内蔵したロボット視覚とすることである。この時、画像処理エキスパートシステムに必要な機能は、3章に示したオブジェクトデータを生成することであり、ロボットと同期して実時間で動作する機能は本システムで実現できる。

謝辞 認識対象の記述方法に関し、多大の御示唆をいただいたカーネギーメロン大学、金出武雄教授、後藤吉正氏、プログラム開発を担当していただいた日立京葉エンジニアリング持田幸一氏、久我豊和氏、本システムの仕様検討、開発に御協力いただいた日立製作所栃木工場久富良一主任技師、工藤真士氏、竹本明伸氏、本研究の機会を与えていただいた日立製作所生産技術研究所第一部長松本義雄博士、岡本啓一主任研究員に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) Levin, M. and Lieberman, L.: AML/V: An Industrial Machine Vision Programming System, *Int. J. Robotics Research*, Vol. 1, No. 3, pp. 42-56 (1982).
- 2) Hata, S., Ariga, M., Nakajima, M. and Sugiyama, S.: Compact Vision System Based on Polygonal Image Processing Method and Its Real-Time BASIC, *Proc. IECON '85*, pp. 679-683 (1985).
- 3) Gleason, G. and Agin, G.: A Modular Vision System Sensor-Controlled Manipulation and Inspection, *Proc. 9th ISIR*, pp. 57-70 (1979).
- 4) 折田, 小林, 高藤, 三島, 太田: パターン認識における決定木の最適化方法とその評価, *情報処理学会論文誌*, Vol. 28, No. 1, pp. 12-19 (1987).
- 5) Cohen, P. and Feigenbaum, E.: 人工知能ハンドブック第3巻, p. 303, 共立出版, 東京 (1984).
- 6) Kohno, M., Miyakawa, A. and Hosoya, M.: Real Time Synchronization of Two Robots for Coordinated Assembly, *Proc. 16th ISIR*, pp. 220-228 (1986).
- 7) 辻, 江尻: ロボット工学とその応用, p. 131, 電子通信学会, 東京 (1984).
- 8) Miyakawa, A., Hata, S., Uno, M. and Matsunaga, M.: A Flexible Assembly Station with Visual Sensors, *Proc. IECON '84*, pp. 1036-1040 (1984).

- 9) 西田, 秦, 宮川, 細谷: 部分画像による高精度位置決めパッケージの開発, 昭和 61 年度精密工学会春季大会論文集, pp. 107-108 (1986).
- 10) 鈴木, 秦, 藤井, 中村: サーフェイスマウント用高精度視覚アルゴリズム, 昭和 61 年度精密工学会春季大会論文集, pp. 109-110 (1986).
- 11) 星野, 永田: オブジェクト指向言語を用いた画像処理への応用, 情報処理, Vol. 29, No. 4, pp. 402-410 (1988).
- 12) 田村, 佐藤, 坂上, 久保: DIA-Expert システムとその知識表現方法, 情報処理学会論文誌, Vol. 29, No. 2, pp. 199-208 (1988).
- 13) 田村, 坂上: 画像解析エキスパートシステムのための 3 種の知識, 電子通信学会, PRL 83-49, pp. 27-40 (1983).

(昭和 63 年 6 月 20 日受付)

(昭和 63 年 10 月 7 日採録)



松崎 吉衛 (正会員)

昭和 25 年生. 昭和 50 年慶応大学工学部電気工学科卒業. 昭和 52 年同大学院修士課程修了. 同年(株)日立製出所入社, 生産技術研究所勤務. 昭和 60 年 7 月~昭和 61 年 7 月カーネギーメロン大学客員研究員. シーケンス制御用言語, ロボット視覚の研究に従事. 電子情報通信学会, 電気学会, 計測自動制御学会, 人工知能学会, IEEE 各会員.



磯部 光庸

昭和 17 年生. 昭和 42 年東京工業大学工学部卒業. 同年(株)日立製作所入社. 現在生産技術研究所主任研究員. ロボットコントローラ, 視覚認識装置の研究開発に従事.



秦 清治 (正会員)

昭和 23 年生. 昭和 46 年東京大学工学部精密機械工学科卒業. 同年(株)日立製作所生産技術研究所入社. NC 自動プログラミング, オンライン制御システム等の研究を経て, 現在パターン認識の産業応用の研究に従事. 共著「サーボセンサーの基礎と応用」等. 電気学会, 精密工学会, 人工知能学会, IEEE 各会員.



武市 謙三

昭和 16 年生. 昭和 38 年大阪工業大学電気工学科卒業. 同年(株)日立製作所栃木工場入社. 副技師長. 組立ロボット・視覚認識装置・ロボットシステム開発設計に従事.