

# 3次元物体の検出・測定を行うための ロボットビジョン言語

松 下 俊 夫\*

対象物体の検出とその位置、姿勢の測定はロボットの視覚に要求される基本的な機能である。RVL/Aは、これらの機能をロボットで容易に使用するための視覚処理言語である。距離情報の抽出と、その実時間処理のために、本言語では、光切断法により得られる対象物体輪郭までの距離データを視覚処理の対象としている。本言語の特徴は、①切断面の輪郭を用いて対象物の形状モデルを作成する機能を備える点と、②そのモデルを利用する命令により検出と測定処理を行う点、にある。ガソリンエンジンを対象とした実験は、本言語がハンドアイ作業で必要とする基本的な視覚処理のプログラミングに対し有効なことを示した。

## 1. はじめに

視覚を利用すると、ロボットの作業能力を大きく向上させることが可能になる。視覚の利用が拡大すると、視覚処理をロボットに適切に教示する必要も増大する。このためのマンマシンインターフェイスの確立が、今後ロボットシステムで視覚機能を使いこなしていくための、1つの鍵となる。特に視覚処理の結果を利用して、状況に応じた動作をするような、柔軟な行動の教示を行うためには、プログラム言語による教示が必要である。

このような言語では、次の2つの基本となる課題を解決する必要がある。1つは、視覚の対象とする環境の表現の問題であり、環境とその中の物体のモデルを、いかに記述するかという問題である。他の1つは、視覚処理の結果をいかに表現し、それをロボットの制御とどう結びつけるかという問題である。例えば、ビジュアルフィードバックのための情報をどのように記述し、ロボットの腕に伝えたらよいかという問題がある。これらの記述を統一的に行える言語、すなわちロボットビジョン言語があれば、ロボットシステムで視覚を利用することが一層容易になる。

ロボットに視覚機能を与える研究は、ハンドアイシステムの例にも見られるように、従来からなされてきた<sup>1,2)</sup>。しかし、ロボットで用いる視覚処理の問題を言語という立場で研究することは、まだ十分に試みられていない。このような点を踏まえて、RVL/A (Robot Vision

Language/A) は、ハンドアイシステムで必要とする、視覚による物体の検出と、物体に対する測定を行うプログラムを容易に記述するための言語として作成された<sup>3,4)</sup>注。

本論文は、以下の構成でRVL/Aについて論ずる。まず、2章でロボットの立場から視覚処理用言語の問題点を眺め、ロボットビジョン言語の位置付けを行う。3章では、RVL/Aで扱う視覚処理の対象を示し、4章では、この言語で用いた形状モデルの記述法とモデルに基づく視覚処理法について説明する。5章では、RVL/Aの構成を述べ、6章で本言語の有効性を示すために行ったハンドアイ実験を紹介し、7章を結論とする。

## 2. ロボットビジョン言語

本論文で対象とするロボットは、3次元環境において機械部品の移動、組立て、分解などの作業を行うものとする。そのようなロボットの視覚には、対象物を検出し、その空間内の位置と相互の関係を抽出する機能が要求される。このような視覚を対象とするロボットビジョン言語の要件を以下で考察する。

従来より視覚処理用言語として、画像処理言語とか画像解釈言語と呼ばれるものが開発されてきた。画像処理言語は、主に画像変換や特徴抽出処理のための並列処理、あるいは2次元配列上の画像データ操作の合理的な記述

注) RVL/Aはいわゆるベリフィケーションビジョン<sup>5)</sup>に用いる言語である。そのため、対象物の種類とその概略の出現位置は既知であり、物体の同定に必要な情報は事前に与えられるものとしている。

を目的とする言語である(例, Pascal PL<sup>6)</sup>, PIXAL<sup>7)</sup>). また, 画像解釈(解析)言語は抽出された特徴間の構造解析の記述を対象としている(例, PILS<sup>8)</sup>). これらの, 画像処理言語を中心とする従来の視覚処理言語は, 2次元画像を処理対象としており, 距離情報を扱っていない点や, 3次元物体のモデルを記述する機能を持たない点, またロボットが必要とする視覚処理を起動し, その結果をロボットの制御に結び付けるための記述仕様を持たない点でロボット向きではない。

一方, 産業用視覚処理装置のプログラム言語として開発された RAIL<sup>9)</sup> のような言語では, 物体の提示による形状の教示法を備え, パターン類別や形状の測定機能を直接コマンドレベルで利用できる。しかし, RAIL 型の言語でも, 処理の対象は2次元パターンに限定されており, また提示によるパラメトリックな教示法では構造的なモデル化ができない制約がある。これに対し最近, ロボット言語の側から種々の視覚処理に対する計述機能を取り入れ, 視覚情報を利用した作業の記述を可能にすることが試みられるようになった。それらの例として, AML/V<sup>10)</sup> や RAPT<sup>11)</sup> がある。しかし, AML/V では3次元記述は扱っておらず, また RAPT では3次元モデルの記述とこれを用いた推論機能が試みられているが, 具体的な視覚処理との関係が明確にはされていない。3次元物体の構造記述に関しては CAD があり, モデルの言語的な階層表現法については画像理解の研究においても試みられている<sup>12)</sup>。しかし, 現実のロボットの視覚装置と結合した例はなく, また, ロボットのユーザに対する言語という形で一般に開放されていない。そこで本論文では, 3次元環境の中での視覚機能を対象とするロボットビジョン言語に必要な条件を, 以下のように考えた。

- ① 物体に関する距離情報を扱えること
- ② 視覚データとモデル記述は実時間処理に適したものであること
- ③ 3次元物体のモデル作成機能を有していること
- ④ ロボットユーザが, 対象物体の同定や位置の測定等の高次の視覚機能を容易に使用できること

RVL/A の作成に当たっては以上の点を考慮した。

### 3. 光切断法と距離プロフィール

#### 3.1 RVL/A で対象とする視覚データ

RVL/A では距離情報の抽出に, 光平面を物体に投射して, それが物体と交差する部分の輪郭を用いて距離を抽出する, 光切断法<sup>13,14)</sup>を採用した。視覚処理は, この方法で得られる物体の切断面輪郭までの距離データに対して行う。この方法を一般化する場合, 異なる方向か

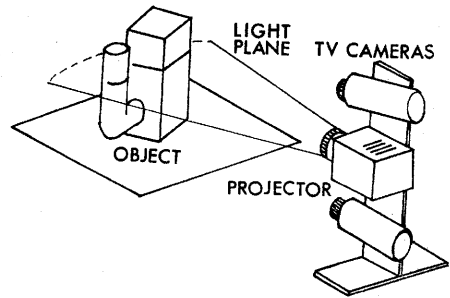


Fig. 1 Light plane intersecting method

ら作業面を観察する複数の固定カメラとロボットの腕上のカメラとを併用することを考え, またカメラの配置に合わせ, 光切断面は, 水平方向や垂直方向など複数を使い分けるものとする。

しかし, RVL/A では, 距離情報による物体の記述を中心とする基本仕様の実現と評価を目的としたため, これらの場合は扱わない。本論文では, 視覚の対象物体をその垂直軸の向きおよび上下方向の位置が光切断面に対して一定であるものに限定する。また光切断面の向きは水平で, その高さは対象物の指定された部分と交差するように予め固定した場合を扱っている。このためデータの入力, は, 両眼視用の固定された一組のテレビカメラで行う (Fig. 1)。

#### 3.2 距離プロフィールデータ

光切断法で得られる1次元のデータを処理対象とすると, 処理の高速化が容易である。1次元のデータは2次元画像に比較すると対象物を捕える範囲は狭いが, レーザスポットのような1点のデータに比べると, 十分な情報量を持つ。また適当な切断面を選ぶことができれば, 対象物の構造的特徴を抽出しやすいという特徴がある。さらに距離で対象物を表現すると, 視覚データの解析の結果, 腕を移動するための目標値が直接得られるという利点がある。このため RVL/A では, 物体の切断面の輪郭により対象物の形状を記述する方法を採った。このとき, 輪郭の形状は光切断面の上方から見下した2次元の地図上に投写して解釈している。特にこの距離データのことを距離プロフィールと名づける (Fig. 2)。

### 4. モデル記述法とモデルを使った視覚処理命令

RVL/A の特徴は, 距離プロフィール(以下, 誤解を生じない場合は, 単にプロフィールと記す)によりモデルを記述し, その記述を利用して, 対象物の検出と測定を行う命令を用いる点である。モデルを作成するときは, 確実にサンプルでき, かつ検出と測定に有効に利用できるプロフィールをユーザが選択し, その部分の記述で全

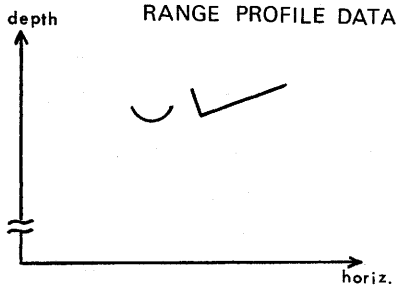


Fig. 2 Range profile data

体を代表させる。本章では、モデル記述法と、それを利用する視覚処理命令について説明する。

4.1 3次元物体モデルの記述法

プロフィールにより3次元物体の形状を記述する方法を、ナットを例として説明する (Fig. 3)。ナットの形状はその軸に垂直な切断面輪郭を採ると、狭角が120度の2本の線分として表現できる。図中の2の方向から見たときには、3本の要素線分からなる2つの角を持つ輪郭として記述することもできる。そこで物体を識別するのに適切な切断面を指定し、そのプロフィールを Fig. 4 のような基本となるプロフィールで表して、対象物体の形状記述を行うものとする。これらのプロフィールをプロフィール要素と呼ぶ。プロフィール要素は、その形の種類 (プロフィールタイプ) と、辺の長さや角度などの値 (プロフィールパラメータ) で記述される。

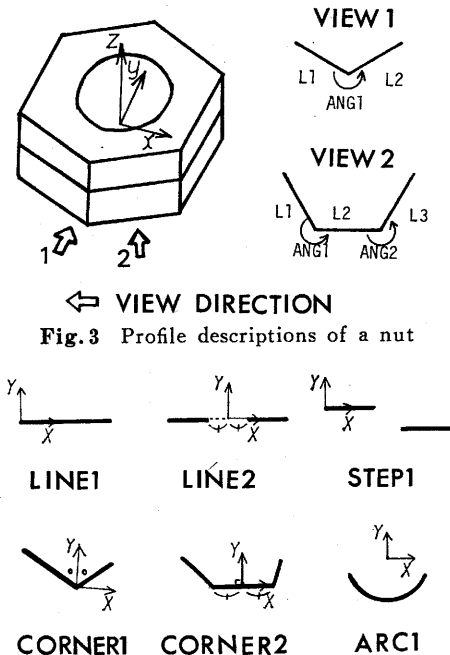


Fig. 3 Profile descriptions of a nut

Fig. 4 Examples of profile element type and their attached coordinates

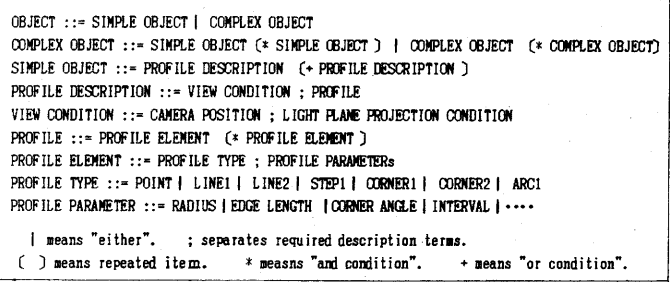


Fig. 5 Structure of the model description

このように、対象物の注目している部分のプロフィールはプロフィール要素と、そのプロフィールを得るための視点条件で指定できる。これをプロフィール記述と呼ぶ。視点条件には、カメラと物体の相対位置、切断位置、および切断方向がある。複雑な物体に対しては、ある視点条件の下で現われるプロフィールに複数のプロフィール要素を当てはめる。視点条件による見え方の違いを考慮する必要がある場合は、複数のプロフィール記述の論理和として、物体を記述する (プロフィール記述の論理積を用いると、より強い記述がなされる)。

以上が単一物体の記述法であり、単一物体の記述を階層的に結合すると複合物体の記述が得られる。以上の関係を形式的に Fig. 5 にまとめた。式の左辺はモデルを記述する概念を示し、右辺はその具体的な展開を示す。この方法を用いて作成される具体的なモデルの記述の一部をナットを例にとり、Fig. 6 に示す。プロフィール間の位置関係を指定するために、各要素プロフィールには Fig. 4 に示したような基準となる座標軸を付随させる。

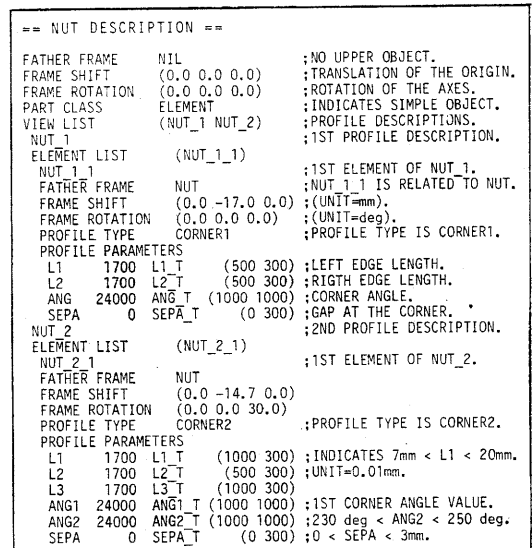


Fig. 6 Model description of the nut

プロフィール間の関係は、一方の座標系の他方の座標系に対する原点の平行移動と座標軸の回転で示される。

Fig. 6 中の FATHER FRAME は、ある記述レベルが基準とする上位の座標系を示す。実際に観測されるプロフィールデータは、光切断面の投射条件や撮像装置の校正誤差により、モデルとは異なった値をとることが多い。このため、必要な場合にはプロフィールパラメータを、その基準値および値の許容範囲を与えるための基準値に対する加算値と減算値の組で指定する。例えばナットの辺長は、基準値 L1 と加算値と減算値のリスト L1.T で指定される。

距離プロフィールによるモデル作成法は、CAD で用いられるサーフィスマデルやソリッドモデルほどには一般性を持たない。しかし、RVL/A の対象とする環境では物体の形の十分な記述力を持ち、またユーザーにとって直観的に理解しやすく、処理が容易であるという特徴がある。

#### 4.2 プロフィール処理に用いるデータの構造

プロフィール処理で扱うデータの構造について以下に述べる。データには3つの階層がある。まず最下層の物理的表現レベルとして、入力データより抽出された距離プロフィールがある。これは、1次元配列に格納される。第2層は特徴表現レベルであり、後述の FIND の実行過程で行う解析処理により得られる特徴値が、リスト構造のデータとして登録される。これを特徴リストと呼ぶ (Fig. 7)。特徴値には、プロフィール要素のタイプ、存在位置、線分の傾きなどがある。最上層は、モデル表現レベルであり、モデル記述内容が、対象物の名前に付随した属性値として保有されている。FIND の処理は、モデル記述に従いタイプごとに固有の解析を行う一方、それらの解析の結果得られる特徴リストの内容とモデル記述とを比較することで進められる。

#### 4.3 モデル記述を利用した視覚処理命令

対象物の検出は、入力された距離データ中に目標物体

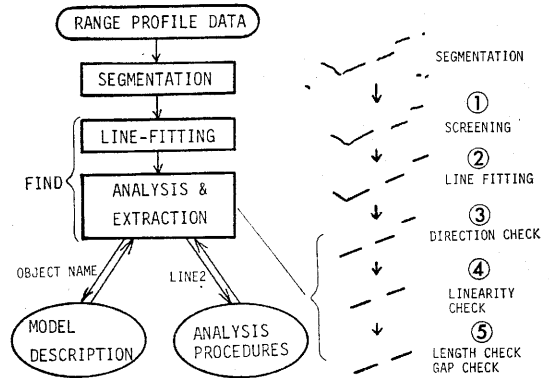


Fig. 8 Detecting process of LINE 2 by FIND

の記述に対応する部分が存在するかどうかを調べて行う。このための命令が FIND であり、(FIND 対象物名) の形で使用する。FIND は、対象物のモデル記述を参照し、入力されたデータとプロフィール記述との照合を順に試みる。プロフィール記述からは、その構成要素であるプロフィール要素が順に取り出され、プロフィールタイプに従った解析と照合処理が実行される。具体的には、解析処理により特徴リストとして得られるプロフィール要素に対し、特徴記述ごとに適合する要素またはそれらの組合せを抽出する処理を繰返す。これらの一連の処理は、予めプロフィールタイプごとにその検出手続として、システムのデータベースに登録されている。

プロフィールの検出手続の概要を、同一直線上にある2本の線分として記述されるプロフィール要素 (LINE 2 というタイプ名で呼ぶ) の抽出過程を例にとり、説明する (Fig. 8)。入力データから距離プロフィールが抽出されると、まずプロフィール上の各点の近接性を調べて、セグメントと呼ぶ連続部分に分ける。つぎに、各セグメントを多角形で近似し<sup>15)</sup>、最小自乗法を用いて各辺に線分を当てはめる (図の②)。このとき、セグメントの大きさや、その存在領域が知られているときには、予め不要な部分を除く処理をする (①)。線分の当てはめが終ると、モデル中のプロフィールパラメータを参照し、記述に適合する部分の組み合わせを抽出する。LINE 2 の例では、2つの線分要素に対し、傾きの差 (③)、同一直線上に存在するかどうか (④)、および両辺の間隔と各辺の長さ (⑤) を調べて、適合する線分の組を抽出する。

プロフィールの解析には、線分による近似の外、円弧の当てはめを用いる。検出対象が円弧であるときは、多辺形のうち、1方向に凸であり、各辺間の角度が一定の条件を満たすものを選び、円弧の当てはめを試みる。その結果とモデルとを照合し、プロフィールの円弧部の検出を行う。

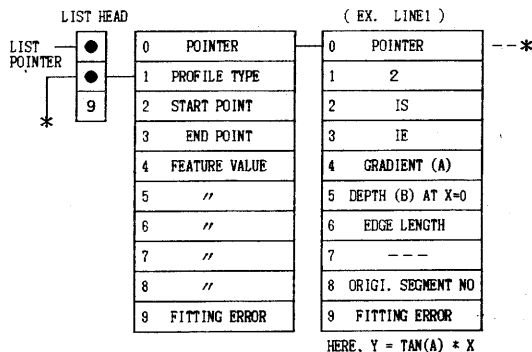


Fig. 7 Structure of the profile feature list

FIND の処理は、あるプロフィール記述に対し、それに属するすべてのプロフィール要素の検出に成功するか、あるいは、すべてのプロフィール記述との照合を試み終えると、終了する。

4.4 対象物体に関する測定

対象物体に関する測定には、命令 MEASURE を用いる。MEASURE は FIND で抽出された物体の情報を用いて、対象物体の位置や姿勢を計算する。これは (MEASURE '対象物名'測定項目名) の形で使用する。このために、測定項目に対応した処理手続が FIND の場合と同じようにデータベースに登録してある。それらの手続の中では、さらにプロフィールタイプ別の処理を行って測定値を返す。測定値を得るには特徴リストを参照する。このとき、線分の傾きのように特徴リストの値をそのまま用いる場合と、タイプ指定に従い、プロフィール要素に応じた計算を行う場合とがある。MEASURE による測定対象には、対象物の中心座標、物体を定義する軸の作業面上での向き、観察点に最も近い物体面までの距離などがある。

5. RVL/A の構成

4章で述べた記述方法により、ハンドアイ作業で必要とする、物体の検出とその配置情報の抽出が可能となる。本章では、このような記述法を実現するための、RVL/A の構成について述べる。

5.1 中間言語

RVL/A は LISP 系言語 PETL<sup>(6)</sup> を母体とし、これに視覚処理用命令を PETL の関数として付加することで実現されている。

RVL/A は高レベルでの視覚処理の記述を目的とし、低レベルのプロフィール処理はユーザには直接見えない。具体的なプロフィール処理機能はモジュール化された FORTRAN サブルーチンで実行している。RVL/A の記述とこれらのサブルーチンの実行は中間言語<sup>(7)</sup> と呼ぶコマンド言語で対応づけている。RVL/A における視覚処理命令は中間言語命令に変換され、中間言語インター

Table 1 Type of the basic instructions

FUNCTION TYPE	(number of the implemented instructions)
SYSTEM CONTROL	(4)
I/O DEVICE CONTROL	(16)
RANGE PROFILE EXTRACTION	(2)
PROFILE FILE MANIPULATION	(3)
PROFILE DATA OPERATION	(11)
PROFILE DATA ANALYSIS	(31)
FEATURE VALUE CALCULATION	(26)
HISTOGRAM AND STATISTIC	(4)
FEATURE VALUE TEST	(10)
FEATURE CLASSIFICATION	(4)
PROFILE DATA SYNTHESIS	(3)
PROFILE DATA DISPLAY	(5)
CAMERA CALIBRATION	(5)
FEATURE LIST MANIPULATION	(17)
OTHER UTILITIES	(5)

```

( (OBJ 'NUT) : INITIALIZE THE MODEL OF NUT. ①
  (EVIEW 1) : BEGIN 1ST DESCRIPTION (1ST VIEW). ②
  (ELEMNT 'CORNER1) : BEGIN 1ST ELEMENT DESCRIPTION. ③
  (FFRAME 'NUT) : DEFINE FATHER FRAME (COORDINATES). ④
  (FTRSLT '(0.0 -17.0 0.0)) : TRANSLATION OF THE FRAME. ⑤
  (FROT '(0.0 0.0 0.0)) : ROTATION OF THE FRAME. ⑥
  (SETPR 'L1 1700 500 300) : SET EDGE-1'S LENGTH AND RANGE. ⑦
  (SETPR 'L2 1700 500 300) : SET EDGE-2'S LENGTH AND RANGE. ⑧
  (SETPR 'ANG 24000 1000 1000) : SET RANGE OF THE CORNER ANGLE. ⑨
  (ENDEE) : CLOSE THE ELEMENT DESCRIPTION. ⑩
  (ENDEW) : CLOSE THE VIEW DESCRIPTION. ⑪
  (EVIEW 2) : BEGIN 2ND DESCRIPTION (2ND VIEW). ⑫
  (ELEMNT 'CORNER2) : BEGIN 2ND ELEMENT DESCRIPTION. ⑬
  .....
  (ENDEO) : CLOSE THE OBJECT DESCRIPTION. ⑭
  (POBJ 'NUT) : PRINT THE MODEL OF NUT. ⑮
    
```

Fig. 9 Model construction by model manipulation instructions

プリタがこの命令を解釈してサブルーチンを呼んでいる。

5.2 基本命令

RVL/A には中間言語命令のそれぞれに対応した命令があり、これを基本命令と呼ぶ。基本命令は、複合的な機能を実行する視覚命令を構成するために使用される。

4.3 節、4.4 節で述べた、プロフィールの解析と測定の各過程は、要素処理ごとに基本命令を使用して組立てられている。基本命令には、プロフィール処理だけでなく、Table 1 に示したような視覚処理システムの構成に必要な多くの機能に対応するものが有り、現在約 150 の命令が準備されている。

5.3 モデル操作命令

モデルを記述するデータは RVL/A の母言語である PETL の属性リストの値として登録される。モデルの作成や作成されたモデルの操作には、モデル操作命令を用いる。モデル作成は、対象物レベル、プロフィール記述レベル、プロフィール要素レベルのそれぞれに対し、専用の命令により、必要な記述項目を入力して行う。

Fig. 9 はモデル操作命令を用いて Fig. 3 で示したナットのモデル作成を行う例である。対象物 o の i 番目のプロフィール記述は o.i で、その j 番目の要素は o.i.j で識別する。プログラムの②~⑩行目は第 1 の方向から見たプロフィールの記述部である。②, ③は記述開始命令であり、それぞれ NUT の下に NUT\_1 が、さらにその下に NUT\_1\_1 が識別名として生成される。その後続く命令によるデータは各名前に付随した属性として処理される。各レベルの記述は⑩, ⑪などの終止命令か、新しい開始命令で終了する。⑤, ⑥では上位座標系に対する自己の座標系の変換量を指定している。変換量のデフォルト値は零であり、この例では⑥では省略可能である。⑦~⑨は範囲付のプロフィールパラメータの指定の例である。⑦では、LI の基準値を 17 mm とし、マイナス側に 5 mm, プラス側に 3 mm の誤差の許容範囲を与えている。モデル操作命令にはこれらの外に、必要な記述項

目をシステムに表示させ、対話的にモデル記述を作成するための命令や、モデルのコピー、削除などのための命令がある。

#### 5.4 視覚処理用命令

視覚処理用命令として、FIND, MEASURE の他に、2台のカメラによるデータの入力と距離プロフィールへの変換、プロフィールのセグメンテーション、およびプロフィール用ファイルに対する入出力などを行うための命令がある。これらは基本命令を用いて作成されている。またユーザは必要に応じ、基本命令を利用して独自の機能を実行する命令を定義することも可能である。

### 6. ハンドアイ実験

本章では小型ガソリンエンジンを対象物として、RVL/A を用いたハンドアイ実験を示す。

#### 6.1 実験システム

実験システムの構成を Fig. 10 に示す。RVL/A は PETL を用いて COSMO-700S 上に、中間言語以下の部分は VAX 11/780 上で FORTRAN を用いてインプリメントされている。ここに示した実験では、スライドプロジェクトによるスリット光で光切断面を生成し、2台のテレビカメラによるステレオ視で距離を算出した。サンプル画素数は各カメラ 240×256 点で、カメラから 80 cm の地点で水平方向約 30 cm の視野を持つ。距離は上下のカメラで撮像されるスリット像が画素毎に対応するものとして、視差から単純な三角測量の計算で求めている。測定精度の見積り値は、奥行 80 cm の視野中心で水平方向約 1.5 mm、奥行方向約 2 mm である。腕は多関節型の 5 自由度のものを使用した。視覚装置と腕の制御は、それぞれのコントローラが、中間言語コマンドに応じた制御コードを VAX 11/780 より受けて行う。

#### 6.2 実験 1: 単一プロフィール物体の操作

実験 1 と 2 では小型ガソリンエンジンを対象にその部品の検出・移動実験を行った。なおこれらの実験では、物体は垂直に置かれ、垂直方向の座標値は与えられている。また、向きの範囲は限定されており、対象としてい

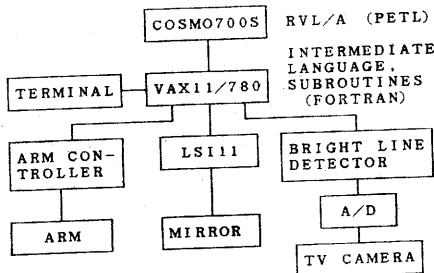


Fig. 10 Diagram of the experimental system

( CVINI )	; SYSTEM INITIALIZATION	①
( TAKPD )	; INPUT OF PROFILE DATA	②
( PPPD )	; PREPROCESSING OF PROFILE	③
( FIND 'TANK )	; DETECTION OF TANK	④
( FIND 'SUPPORT )	; DETECTION OF SUPPORT	⑤
( MEASURE 'TANK 'CENT )	; CENTER COORDINATES OF TANK	⑥
( MVGET 'TANK )	; MOVE AND LIFT-UP	⑦
( MEASURE 'SUPPORT 'PFRM )	; FRAME OF SUPPORT	⑧
( MVPUT 'SUPOPPORT )	; MOVE AND PUT-DOWN	⑨

Fig. 11 Outline of the hand-eye task program

るプロフィールは常に観測可能であるとしている。

実験 1 では支持台上に置かれたガソリンタンク (TANK) を腕によりエンジン本体に付属する支持金具 (SUPPORT) 上に移動する。視覚の役割はタンクの検出とその位置の測定、および支持金具の検出とその位置、向きの測定である。ガソリンタンクはその上面に突出した円筒形のキャップの形に着目して円弧 (ARC 1) で記述し、支持金具は下部の支柱部のプロフィールである同一直線上の 2 線分 (LINE 2) で記述する。Fig. 11 に作業のプログラムの概要を示す。

まずシステムを初期化し (図中①, 以下同様)、距離プロフィールを入力し (②), FIND で TANK, SUPPORT のプロフィールの検出を行う (④, ⑤)。この例では FIND による検出に失敗する場合を無視しているが、エラー処理が必要な場合は PETL の関数を使用して分岐のあるプログラムを書く。つぎに MEASURE により TANK の中心位置 (⑥), および SUPPORT の中心位置と長手方向を求める (⑧)。引数の CENT, PFRM はそれぞれこれらの計算手続を呼び出すための識別子である。SUPPORT に関するデータは LINE 2 の座標系情報から直接求めることができる。この実験では腕の制御は動作レベルの命令で行っており、MEASURE で得られた値に予め与えたオフセット値を加えて、手先の移動点を求めた。図では PETL によるユーザ定義関数 MVGET, MVPUT でこの部分を簡単化している。FIND の処理の過程で得られるプロフィールの地図表示を Fig. 12 に、実験の様子を Fig. 13 にそれぞれ示す。

#### 6.3 実験 2: 複数プロフィール物体

実験 2 では、予め手に握らせたエンジンのマフラを排気口部に接合させる (Fig. 14)。認識の信頼性を高めるために、エンジンの記述は発電機ケースと排気口断面の 2 つの要素を用いて行った。それらのプロフィールタイプはそれぞれ、LINE 2 と STEP 2 である。Fig. 15 にプロフィールの処理過程を示す。線分当てはめの結果に対し、STEP 1 に対応する部分を抽出したのが Fig. 15 の 3 である。さらにその右方に LINE 2 が検出され (Fig.

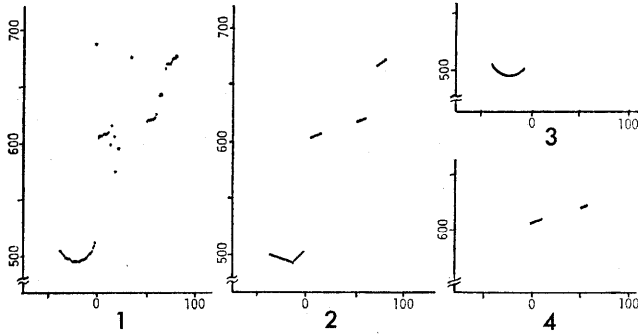


Fig. 12 Profile analysis by FIND (Experiment 1)

- 1 initial input data
- 2 result of line-fitting
- 3 the profile of the cap of TANK (ARC1)
- 4 the profile of SUPPORT (LINE2)

15 の 4), エンジンの存在が確認される. マフラの移動目標座標は, 排気口のプロフィールデータから排気口の中心座標と断面の傾きを求めて定める.

これらの実験結果は, ハンドアイ作業で用いる基本的な視覚機能の記述が RVL/A で可能なことを示している.

グできる.

④に関しては, RVL/A では FIND と MEASURE の 2つの命令が具体化された. この結果, モデルを用いて, 対象物の検出と位置, 姿勢の測定プログラムが一般的に記述できることが示された. これらの機能は, ロボット

### 7. 結 論

本論文では, ロボットビジョン言語 RVL/A におけるモデルの作成とモデルを利用した視覚処理の記述法, および使用例について述べた. その特徴は以下のようにまとめられる.

- ① 3次元環境での視覚処理記述を指向した, ロボットユーザ向けの言語である.
- ② 距離プロフィール処理に基づいており, 実時間処理に適した処理を行っている.
- ③ 基本的なプロフィールの組合わせによる, 3次元物体の形状モデルの記述機能を有する.
- ④ モデルを利用する視覚処理の記述能力を持ち, ユーザは直接高次の機能をプログラミング

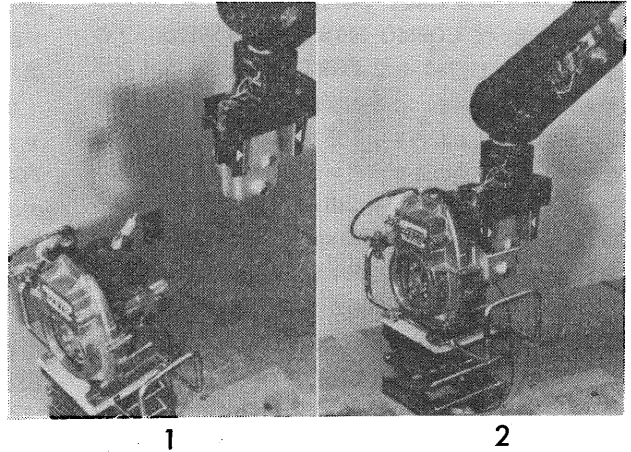


Fig. 14 Hand-eye experiment 2

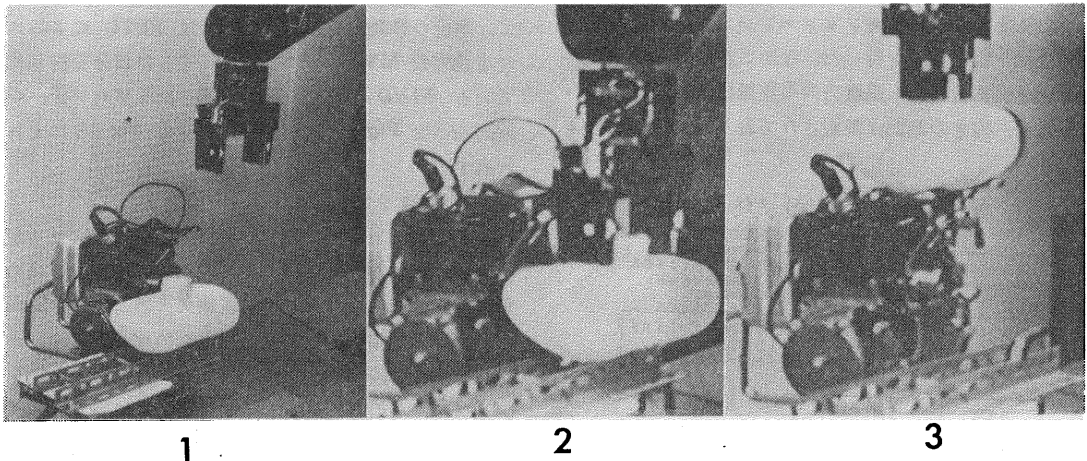


Fig. 13 Hand-eye experiment 1

が視覚を利用することを容易にするものであり、本論文で述べたハンドアイ実験はその例である。なお、ここで示した実験ではいずれもオープンループのハンドアイ制御を行った。しかし、本言語の記述機能を利用してソフト的なビジュアルサーボ系を構成することは、十分可能である。

RVL/A では投射される光平面は固定され、視点の選択機能はない。認識能力や測定精度を高め、より複雑な環境に適用するためには、状況に応じた視点選択の記述機能を加えることが必要であり、現在このための上位の言語の作成を進めている。

〔謝 辞〕 本研究の機会を与えていただいた若松清司制御部長、日頃指導いただく柿倉正義情報制御研究室長、赤堀寛システム制御研究室長に感謝の意を表します。また、論文をまとめるに際し、意見をいただいた白井良明視覚システム研究室長、ロボットビジョン言語の意義を早くから指摘し、多くの意見を寄せられた情報制御研究室の佐藤知正主任研究官、および中間言語インタプリタと腕制御プログラムを提供されたシステム制御研究室の末広尚士技官に深く感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- 1) Y. Shirai and H. Inoue, "Guiding a Robot by Visual Feedback in Assembling Tasks", Pattern Recogn., Vol.5, pp.99-108, 1973
- 2) J. R. Birk, R. B. Kelley and H. A. S. Martins, "An Orienting Robot for Feeding Workpieces Stored in Bins", IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Vol.SMC-11, No.2, pp.151-160, 1981
- 3) 松下, 佐藤, "ロボットビジョン言語~照合レベルのロボットビジョン言語の試作~, 情報処理学会コンピュータビジョン研 21-3, 1982
- 4) T. Matsushita, T. Sato et al., "An Attempt to Describe Visual Functions of the Hand-eye System with an Robot Vision Language: RVL/A", Proc. 83 Int. Conf. on Advanced Robotics, pp.327-334, 1983
- 5) R. Bolles, "Verification Vision for Programming Assembly", Proc. 5th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, pp.569-575, 1977
- 6) L. Uhr, "A Language for Parallel Processing of Arrays, Embedded in PASCAL", Languages and Architectures for Image Processing (Ed. by M. J. B. Duff and S. Levialdi), Chap 5, Academic Press, 1981
- 7) S. Levialdi, M. Isoldi and G. Uccella, "Programming in PixaI", Proc. IEEE Workshop Picture Data Description and Management, pp.74-79, 1980
- 8) 森, 赤羽, "画像解釈言語PILS", 情報処理学会論文誌, Vol.23, No.3, pp.243-250, 1982
- 9) J. W. Franklin and J. VanderBrug, "Programming Vision and Robotics Systems with RAIL", Robots VI Conference, pp.392-460, 1982
- 10) M. A. Lavin and L. I. Lieberman, "AML/V: An

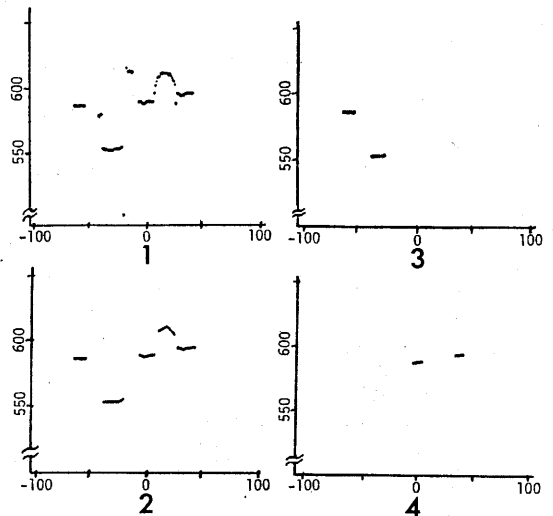


Fig.15 Detecting process of the engine

Industrial Machine Vision Programming System", The Int. J. of Robotics Research, Vol.1, No.3, pp.42-56, 1982

- 11) B. Yin, "A Framework for Handling Vision Data in an Object Level Robot Language-RAPT", Proc. 8th IJCAI, pp.814-820, 1983
- 12) G. J. Agin, "Hierarchical Representation of Three-Dimensional Objects Using Verbal Models", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-3, No.2, pp.197-204, 1981
- 13) Y. Shirai, "Recognition of Polyhedrons with a Range Finder", Pattern Recogn., Vol.4, pp.243-250, 1972
- 14) G. J. Agin and T. O. Binford, "Computer Description of Curved Objects", Proc. 3rd Int. Conf. on Artificial Intelligence, pp.629-640, 1973
- 15) U. Ramer, "An Iterative Procedure for the Polygonal Approximation of Plane Curves", Computer Gr. Image Process., Vol.1, pp.244-246, 1972
- 16) 塚本, "PETL システム説明書-基本システム編-", 電子技術総合研究所, 1982
- 17) 松下, "ロボットビジョン言語のための中間言語", 電子技術総合研究所集報, Vol.48, No.8, pp.658-671, 1984



松下俊夫

(Toshio MATSUSHITA)

昭和49年大阪大学基礎工学部修士課程修了(生物工学専攻)。同年, 電子技術総合研究所に入所。現在, 制御部情報制御研究室にて, ロボットの視覚機能の研究に従事。計測自動制御学会, 情報処理学会などの会員。

(日本ロボット学会正会員)



## A Robot Vision Language for Detection and Measurement of Three-Dimensional Objects\*

Toshio MATSUSHITA\*\*

---

### ABSTRACT

Detecting objects and measuring their positions and orientations are the most fundamental functions required to robot vision. RVL/A is a visual processing language for robots designed to use these functions easily. To obtain distance informations and to process them in real-time, visual processing of RTV/A is executed on the range data to the object surface obtained by light-plane-intersecting method. The main features of the language are as follows. (1) PVL/A provides the method to model the three-dimensional object shape using profiles of the object section. (2) Detection and measurement are executed by simple statements using instructions which refer to the model description. Experiments using a gasoline engine shows that RVL/A is applicable to programming of visual processing jobs in the hand-eye system.

Keywords : Robot vision, Robot language, Light plane intersecting method

---

\* Received July 30 1984

\*\* Automatic Control Division, Electrotechnical Laboratory