

3次元情報を用いた物体認識

正員 大島 正毅[†] 正員 白井 良明[†]

Object Recognition Using Three-Dimensional Information

Masaki OSHIMA[†] and Yoshiaki SHIRAI[†], Regular Members

あらまし 本論文では距離測定装置によって入力したシーンの3次元情報から、複数の積重なった平面と曲面からなる物体を認識する手法について述べる。この手法を実行するシステムは学習・認識の2つのフェーズで動作する。学習フェーズでは、単独の物体からなるシーンのデータから、シーンを領域の属性と領域間の関係で記述する。この記述を物体のモデルとして記憶する。認識フェーズでは、複数の物体からなる未知のシーンを学習フェーズの場合と同様に記述し、その記述を物体のモデルと照合して、物体を1個ずつ認識する。照合はデータ駆動型の処理およびモデル駆動型の処理を組合せて効率的に行っている。積木や機械部品を対象とした実験結果を示す。

1. ま え が き

機械に物体を認識させる物体認識の研究は組立て作業や検査の自動化などを目的としてなされてきた。物体認識を種々の応用に役立てるためには、できるだけ少ない拘束条件のもとに効率よく認識できる処理手法が必要である。この論文で述べる手法では次のような性質のシーンを扱うことを目的とする。

(1) 対象物体は任意の3次元的位置に任意の姿勢で置かれている。

(2) 対象物体は積重なって置かれてもよい。

(3) 対象物体は平面の他に曲面を含んでいてもよい。

物体認識のための対象物体の入力データとしては濃淡画像あるいは3次元データを用いることが多い。

濃淡画像では、単純な物体でも3次元的回転を許す場合にはその見え方が変るために、認識が難しい。

これまでの形状識別手法^{(1),(2)}では物体の3次元的回転や重なりを許さないで扱う場合が多い。Tsuji等⁽³⁾は物体の積重なっているシーンの認識を扱った。シーンの中の楕円はモデルにある円の射影であるとみなして物体の姿勢を求め、これを利用して認識した。この手法はこのような対応があらかじめつけられる物体の認

識には有効な手法である。

一般に面と面との間で明るさが急変していることを前提として面の境界を求めることが多い。しかし、照明状態によってはこの前提が満たされない。また明るさの変化のしかたが物体表面の幾何学的状態を反映するとは限らない。これらは拘束の少ない認識を難しくしている。

対象物体の3次元情報が使えるとき、物体の3次元の形状が直接得られるので、一般性のある認識を実現しやすい。物体を認識するためには、シーンの記述を作り、その一部分をモデルの一部分と照合する方式を用いることが普通である。

3次元データからシーンを記述する研究は比較的多くなされている^{(4)~(12)}。平面のみからなるシーンの記述に関してはある程度研究されている^{(4),(10),(12)}。杉原⁽⁹⁾は対象を三面頂点物体に限り、それを効率よく記述する方法を提案した。Agin⁽⁵⁾やNevalia and Binford⁽⁶⁾はシーンを一般円錐で表わして、曲面も記述できるようにした。しかしこの手法は細長い物体に対しては有効であるが、そうでない物体に対してはまだ十分でない。筆者等はシーンを平面と滑らかな曲面で記述する手法⁽⁸⁾を開発した。この手法は従来の方法より一般性があり、実物体を含むシーンにも適用できる。この論文で述べるシステムはこの記述手法を使っている。

対象シーンが積重なっている未知物体を含んでいれば、シーンの記述とモデルの記述とを照合して認識す

[†]電子技術総合研究所バターン情報部、茨城県
Information Sciences Division, Electrotechnical
Laboratory, Ibaraki-ken, 305 Japan
論文番号：昭 57-論256[D-75]

るためにシーンとモデルの対応関係を網羅的に調べることは効率が悪い。そこで、この論文で述べるシステムでは、シーンから信頼できる部分を見つけ出す過程と、この部分に対応するモデルを仮定し検証する過程とを組合せて、効率よく認識している。

以下では2.で処理の概要を述べ、3.でシーンの記述の仕方を述べ、4.でそれを用いた照合の方法を述べる。5.には実験結果を示す。

2. 処理の概要

図1に示すようにシステムは学習と認識の2つのフェーズで動く。学習フェーズでは既知の物体をシステムに1個ずつ見せる。システムはシーンを領域(面)の属性と領域間の関係で記述する。この記述が物体のモデルである。もし一方から見ただけでは十分でない場合にはいくつかの代表的な方向から見せてそれぞれのモデルを作る。この場合には1つの物体に対して複数のモデルができる。認識フェーズでは、未知のシーンの記述を学習フェーズの場合と同様にして作る。この記述と物体のモデルを照合し、シーンの中に存在する物体を1個ずつ求める。以下に記述手法と照合手法をより詳しく述べる。

3. シーンの記述⁽⁸⁾

ここで使う3次元計測装置(レンジファインダ)^{(4), (3)}では縦長のスリット光を物体に投影し、物体表面の点の反射光をTVカメラで取り込み、三角測量の原理で3次元座標を計算する。

図2に処理の流れを例示的に示す。各点の3次元座標(図2(a))を使って次のように処理する。

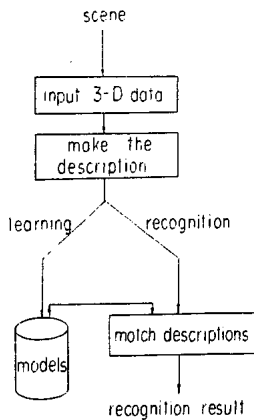


図1 処理の流れ
Fig.1-Main control of the system.

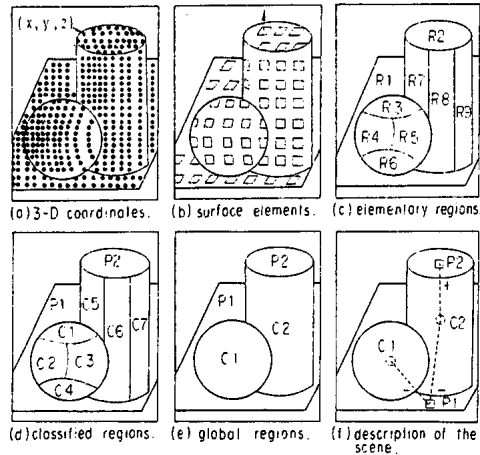


図2 シーンの記述処理
Fig.2-Conceptual scheme of the scene description process.

(1) 点を面素と呼ぶ単位にグループ化し、各面素が平面をなしていると仮定してその平面方程式を求める(図2(b)).

(2) 互に近い平面方程式の似ている面素を統合して領域(小領域)を作る(図2(c)).

(3) 小領域を平面, 曲面, 不明の別に分類する(図2(d)).

(4) 曲面又は不明の小領域の中で滑らかに隣接している同士を統合してまとまった曲面領域(大域領域)を求める。大域領域にはそれぞれ全体に2次曲面をあてはめ、その曲面を分類する(図2(e)).

(5) シーンを領域の属性と領域間の関係で記述する(図2(f)).

図3に正12面体, 正20面体, 円柱よりなるシーンの例を, 図4にそのスリットデータを, 図5にその小領域を示す。

各領域 S_i の属性には次のようなものがある:

(a) $p_1(S_i)$: 面の種類を表す数値が与えられる。種類には、大別して平面, 曲面, 不明の別があり、曲面はさらに楕円面, 双曲面, 錐面, 放物面, 楕円柱, 双曲柱, 放物性およびいずれの面でも近似できない曲面に分けられる。

(b) $p_2(S_i)$: 隣接領域数。2つの領域が相接するとき隣接とし、 $p_2(S_i)$ は領域 S_i から見て隣接する領域の数を表す。

(c) $p_3(S_i)$: 面積。領域に属する点に最小2乗法によって平面をあてはめ、この平面へ領域の点を投影し、その外接図形の面積である。以下の $p_4 \sim p_8$ もこの図

形について求める。

(d) $p_4(S_i)$: 周長

(e) $p_5(S_i)$: 形状指数 ($4\pi \cdot \text{面積} / \text{周長}^2$). p_3, p_4 とは独立でないが形状が円にどの程度近いかわかるのに有用である。

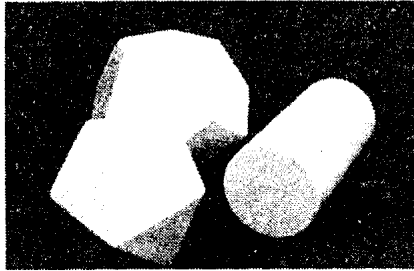


図3 シーンの例
Fig.3-Example of a scene.

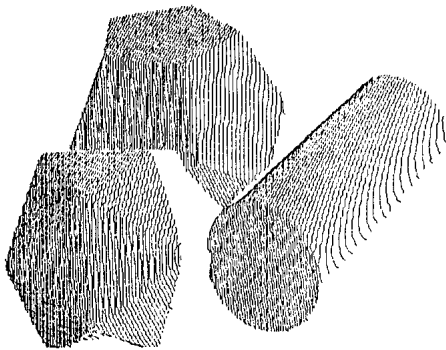


図4 シーンのスリット像データ
Fig.4-Slit image of a scene.



図5 小領域
Fig.5-Elementary regions for the description.

(f) $p_6(S_i)$: 平均半径. 2次元図形の重心から, 周上の各点への距離(半径)の平均値である.

(g) $p_7(S_i)$: 半径の標準偏差.

(h) $p_8(S_i)$: 最小半径.

(i) $p_9(S_i)$: 最大半径.

領域 S_i, S_j の関係には次のものがある:

(a) $q_1(S_i, S_j)$: 稜線の種類. 2つの領域が隣接していない(稜線なし), 稜線が凸, 凹, 凸と凹の混在(2つの領域が曲面同士あるいは一方が2次元面以外の曲面のとき混在の可能性がある)かによってそれらを区別するための値が与えられる.

(b) $q_2(S_i, S_j)$: 領域間の角度. 領域が曲面の場合はその領域の点を平面で近似してから角度を求める.

(c) $q_3(S_i, S_j)$: 領域の重心間距離.

4. 照 合

照合を行うとき, シーンの中のどの領域とどの領域が1つの物体に属しているのかは未知である. また, いかなる物体がどんな姿勢でどこに置かれているかもあらかじめ分っていない. したがって, シーンの各領域についてすべてのモデルの個々の領域との対応を仮定して確かめると, 仮定する場合の数が多くなってしまふ. 照合の効率を上げるためには, 各時点で最も確実と思われる部分から照合を行い, 後続の処理はその結果を使って探索の範囲を限定し, 試行錯誤の回数なるべく減らすことが望ましい. このような照合を行うために, 本システムは次のような方法を用いる.

システムは図6のように未知のシーンの未処理の領域の中からモデルの領域と照合するための出発点とな

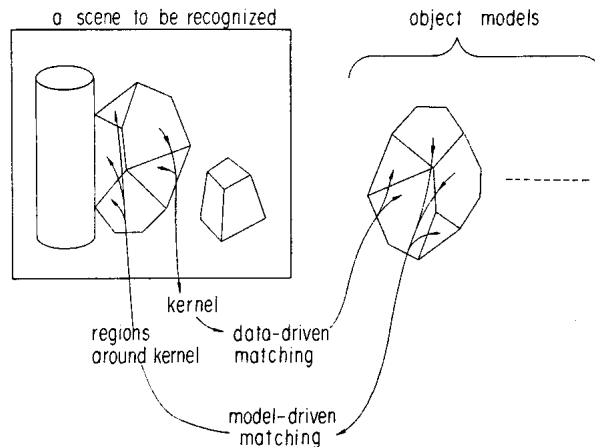


図6 照合処理の概念図
Fig.6-Matching process.

る領域を選び出す。シーンの中でこのような領域からなる部分を核と呼ぶ。次に核に対応した部分を持つモデルを選び出す。このようにして物体の候補となるモデルが選ばれたとき、核についてはモデルの領域との対応関係が分っている。そこで次に核の周りの領域を1個ずつモデルの領域と照合してゆき、その物体の領域が見つからなくなるまで続ける。このような処理を核が得られなくなるまで繰り返す。このようにして得られた結果からどこにどの物体があるかを推定する。以下にこれらの過程をより詳しく述べる。

4.1 核の選択とモデルの仮定

4.1.1 核の選択

核は通常2つの領域から構成する。これらを S_k, S'_k と呼ぶ。まず S_k を選び、次いで S'_k を選ぶ。

(1) S_k の選択

核の一部 S_k の選択は領域の種類、領域面積、領域に隣接する他の領域の数によって行なう。物体上の平面間の角度は回転や部分的な物体の重なりによって変らないので、信頼できる特徴である。これを活用するため、平面は曲面より優先して選択する。面積の大きい領域はノイズに影響されにくいから、小さいものより信頼性が高い。また隣接領域の数の多い領域は、照合時に多くの関係を使えるので有用である。そこでモデルとの対応が未確定で、 S_k の選択について未処理の領域 S_j について次の関数を計算し、それを最大にする領域 S_k を核の一部として選び出す：

$$f_1(S_j) = \lambda_1 h(p_1(S_j)) + \lambda_2 p_2(S_j) + \lambda_3 p_3(S_j) \quad (1)$$

$$\text{ここで } h(p_1(S_j)) = \begin{cases} 1 & S_j \text{ が曲面のとき} \\ 2 & S_j \text{ が平面のとき} \end{cases}$$

p_1, p_2, p_3 は3に定義してあるように領域の種類、隣接領域の数、面積を表わし、 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ は重み係数である。実験では p_1, p_3, p_2 の順で重視されるように $\lambda_1 \sim \lambda_3$ を定めてある。

(2) S'_k の選択

S_k に隣接する、 S_k として選び得る領域で S'_k の選択について未処理のもの内式(1)の値を最大にするものを S'_k とする。 S'_k が得られたとき、 S_k と S'_k を核とする。もし S'_k が得られないとき、 S_k だけを核とする。

4.1.2 モデルの仮定

上のようにして選んだ核をもとに物体のモデルを仮定する。モデルの仮定のしかたは、核がただ1つの領域 S_k からなるるときと、2つの領域 S_k, S'_k からなるるときとで幾分異っているのをこれらを分けて以下で述べる。

(1) 核が S_k だけからなるとき

このとき物体の候補となるべきモデルは少なくとも S_k に対応する領域を持つはずである。そこで S_k と i 番目のモデルの j 番目の領域 M_{ij} の違いを次式に示す領域の属性の違いによって評価する。

$$f_2(S_k, M_{ij}) = \sum_{l=1}^9 \mu_l D_l(p_l(S_k), p_l(M_{ij})) \quad (2)$$

ここで p_l は3.で定義した属性である。 D_l は属性 p_l の違いを計算する関数を表わし、 $l=1$ に対しては

$$D_1(p_l(S_k), p_l(M_{ij})) = \begin{cases} 0 & S_k \text{ と } M_{ij} \text{ の種類が同じとき} \\ 1 & S_k \text{ と } M_{ij} \text{ の種類が異るとき} \end{cases} \quad (3)$$

$l=5,7$ に対しては

$$D_l(p_l(S_k), p_l(M_{ij})) = |p_l(S_k) - p_l(M_{ij})| \quad (4)$$

その他の l に対しては

$$D_l(p_l(S_k), p_l(M_{ij})) = |p_l(S_k) - p_l(M_{ij})| / p_l(M_{ij}) \quad (5)$$

とする。 μ_l は重みで、実験では同じ重みにしている。

f_2 の値は核として選んだ領域 S_k がモデルとして記憶した面と一致していれば小さくなるが、 S_k がもとの面の一部のときや、モデルの中に該当するものがないときは大きくなる。そこでシステムは、 f_2 の値が十分小さいとき、そのモデル及び S_k と M_{ij} の対応を仮定する。もし f_2 の値を十分小さくする M_{ij} が得られないときは、選択した核 S_k が不適当であると判断し、核の選択処理に戻る。

(2) 核が S_k と S'_k からなるとき

このとき(1)のように領域と領域の対応を調べるだけでなく、領域間の関係の対応も考慮する。そこで次のような S_k, S'_k, M_{ij} および M'_{ij} の隣接領域 M'_{ij} の関数を計算する。

$$\begin{aligned} f'_2(S_k, S'_k, M_{ij}, M'_{ij}) \\ = (f_2(S_k, M_{ij}) + f_2(S'_k, M'_{ij})) \\ + \sum_{m=1}^3 \nu_m D_m(q_m(S_k, S'_k), q_m(M_{ij}, M'_{ij})) \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、 q_1, q_2, q_3 はそれぞれ稜線の種類、領域間角度、領域の重心間距離である。 D_1 は式(3)で、 D_2 は式(4)で、 D_3 は式(5)で定義される。重み ν_m は q_1, q_2, q_3 の順で重視されるように選んでいる。 f'_2 の値は、対応関係が正しければシーンの中の物体が対応するモデルに対して回転している時にも、十分小さな値をとるはずである。システムは f'_2 の値が十分小さいとき、そのモデルを選ぶ。

十分小さな f'_2 を与えるモデルが得られないとき、そ

の原因は S_k, S'_k のいずれかが物体の面の一部である場合、または S'_k が S_k の属する物体に属していない場合が考えられる。このような場合に対処するため、十分小さな f_3 が得られないとき、選んだ S'_k を不適当として S_k を選ぶ処理に戻る。

上記の過程で選ばれたモデルを物体の候補として、次節で述べる領域同士の照合を行う。一般に核に対応するモデルはただ1つとは限らない。システムは複数の候補を持つ核の周りの照合をただ1つの候補を持つ核の周りの照合の後に廻す。このとき選ばれたすべての候補との照合を行う。

4.2 領域同士の照合

前節の過程で核を選び、それに対応したモデルの候補が得られたら、次のようにシーンの領域と、モデルの領域との対応関係を調べる。

(1) 核がただ1つの領域からなるときは、周りには同じ物体に属する領域はないので、4.1.2(1)で得た領域の対応関係をここでの処理結果とする。

(2) 核が S_k と S'_k とからなるときは、その周りに同じ物体に属する領域がある可能性があるから、以下のように核 S_k, S'_k の周りのシーンの領域と、モデルの核に対応する領域の周りの領域とを照合する。

モデルの領域の中にはシーンの中で見えないものがあり得るため、シーンの核の近傍の領域を1個ずつ選び、これに対応する領域をモデルの中から探すようにしている。

領域の照合のため、システムは既知の領域(即ち、既に選び出されて対応関係が定まった領域)に隣接した、モデルとの対応関係が未確定で、ここでの選択について未処理の領域の中から新しい領域 S_n を選び出す。

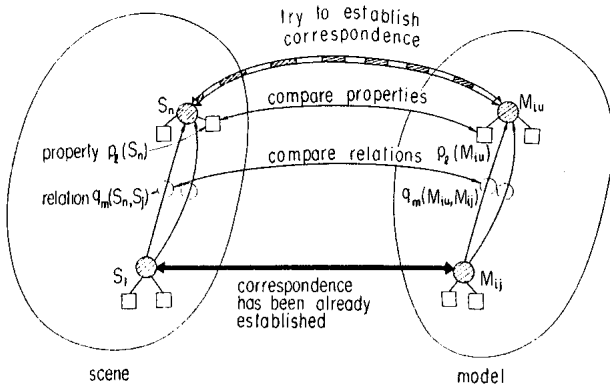


図7 領域の比較
Fig.7-Schema of the comparison.

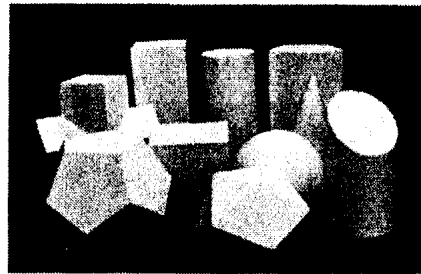
この選択は式(1)の評価関数によって行う。次にこのようにして選び出した S_n に対応した領域をモデルの領域の中から見つけ出す。このような領域を見つけて出すため、 S_n とモデルの領域 M_{iu} についての対応関係の違いの尺度 $f_3(S_n, M_{iu})$ を、対応関係の定まっていない M_{iu} について計算する。

この尺度には領域の属性値 $p_l(S_n)$ とモデルの領域の属性値 $p_l(M_{iu})$ との違いを反映させる必要がある。また領域 S_n と既知の領域 S_j との関係 $q_m(S_n, S_j)$ を、対応するモデル上の、領域 M_{iu}, M_{ij} 間の関係 $q_m(M_{iu}, M_{ij})$ と比較したい。そこで、既に選び出されて対応関係が定まった領域番号の集合を K として、 $f_3(S_n, M_{iu})$ (図7を参照) は次のように与える：

$$f_3(S_n, M_{iu}) = \sum_{l=1}^9 \rho_l D_l(p_l(S_n), p_l(M_{iu})) + \sum_{m=1}^3 \tau_m \left(\sum_{j \in K} p_3(M_{ij}) D_m(q_m(S_n, S_j), q_m(M_{iu}, M_{ij})) \right) / \sum_{j \in K} p_3(M_{ij}). \tag{7}$$

ここに ρ_l, τ_m は重みで、実験では、 l, m それぞれの中での重視のされ方は式(2), (6)と同様とし、式(7)の第1項と第2項とは同程度に重視されるようにしている。またここでは信頼できる領域がより多く f_3 に反映するよう、領域面積 p_3 を重みづけに使っている。

f_3 の最小値が十分小さく、しかも式(7)の l, m に関するすべての項が定められた閾値より小さいとき、 S_n に対応したモデルの領域 M_{iu} が見つかったものとみなす。このような操作で S_n に対応する M_{iu} が見つからないとき、 S_n がもとの面の一部の場合と、 S_n が仮定したモデルの物体に属していない場合がある。 S_n がも



後方左から直方体、円柱、五角柱、相貫体、立方体、球、円錐、正12面体、正20面体、斜切頭円柱。
図8 対象とする物体
Fig.8-Objects for models.

との面の一部の場合、それが平面領域の場合には、領域の種類と面との角度は影響を受けない。そこで S_n に対応した M_{i_n} が見つからないとき次のようにする。

(1) S_n, M_{i_n} とも平面で、3次元データからその領域が光源またはTVカメラ側から見て別の領域に隠されていると推定される時、相対的な方向の違いが十分小さく、3次元的位置の対応が十分良く、 S_n の面積が M_{i_n} のものより小さいときには、もとの面の一部が見えているものと推定する。この条件に合ったものは照合できたものとして扱う。

(2) 上記の条件が成立しないとき、仮定したモデルの物体には S_n に対応した領域はないものとみなし、別の S_n を探す。今のところ曲面が部分的に見えている場合は対応した領域はないものとしている。

ある核から出発して、これ以上次に照合すべき S_n がなくなったとき、仮定したモデルのもとの領域同士の照合は終了する。以上の領域同士の照合結果は、モデルの領域とシーンの領域とが少なくともその部分については矛盾なく対応していることを示している。

核に対応するモデルの候補がただ1個のとき、照合できた領域を確定させ、以後核にも照合すべき領域にもしない。モデルの候補が複数のとき、核の部分は、以後核にも照合すべき領域にもしないが、その他の領域は核や照合の対象とする。

核 S_k およびその周りの領域と j 番目に照合できたモデルを $I(S_k, j)$ 、照合したシーンの領域の集合を $T(S_k, j)$ とする。 $T(S_k, j)$ を核 S_k の j 番目の物体領域、 $I(S_k, j)$ を $T(S_k, j)$ の解釈であるという。

4.3 物体の推定

シーン全体の照合過程が終わったとき、いくつかの核とその核に対する物体領域および解釈が得られている。物体の推定は次のように行う。

核 S_k の物体領域 $T(S_k, j)$ と別の核 $S_{k'}$ の物体領域 $T(S_{k'}, j')$ とが共通部分を持つとき、両者は矛盾する。おのおのの核 S_k について、物体領域 $T(S_k, j)$ が、他の物体領域と矛盾しない物体領域 $T(S_k, j')$ に含まれるとき、 $T(S_k, j)$ と $I(S_k, j)$ を捨てる。この処理をすべての核について行う。残った解釈の組合せの内矛盾のない解釈の組合せをすべて採用する。おのおのの解釈の組合せはどこにどの物体のどの面があるかを示している。

物体の位置と姿勢は照合処理で得た領域の対応関係から求めることができる。

5. 実験結果

本手法による計算機プログラムを作って、積木よりなるシーンと機械部品よりなるシーンの認識実験をそれぞれ数回ずつ行った。第1の種類の実験では図8に示す平面と2次曲面からなる物体のモデルを蓄え、それらの中のいくつかを含むシーンを処理した。これらについて作ったモデルの合計は約20である。図9には円柱のモデルの記述の一部を示す。図中の+は2つの領域の稜線が凸であることを示している。図10は図4のデータを処理して得た認識結果である。領域の中の最初の2つの文字はその領域とモデルとの対応を示し、括弧内には対応するモデルの領域を示している。

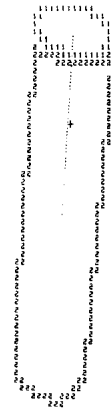


図9 モデルの記述の例

Fig.9-Example of a description of a modal.

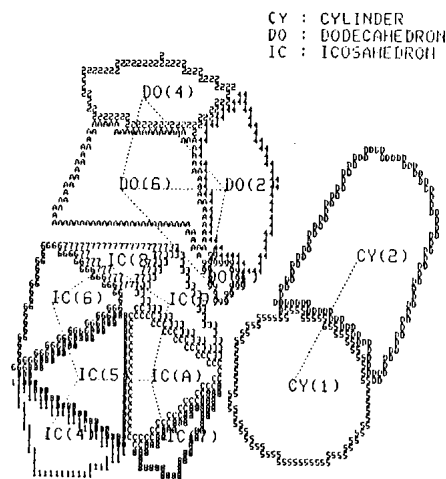
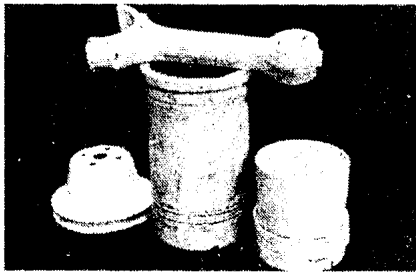


図10 認識結果

Fig.10-The result of recognition.



左からプーリ、コンロッド、ライナ、ピストン
 図11 機械部品のシーン
 Fig.11-Scene containing machine parts.

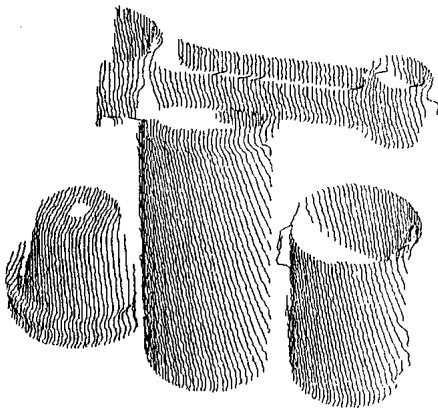


図12 スリット像データ
 Fig.12-Slit image.



図13 小領域
 Fig.13-Elementary regions.

第2の種類の実験では機械部品(プーリ、ライナ、ピストン、コンロッド)のモデルを蓄えた。図11に

PU : PULLEY
 LI : LINER
 PI : PISTON
 CO : CONROD

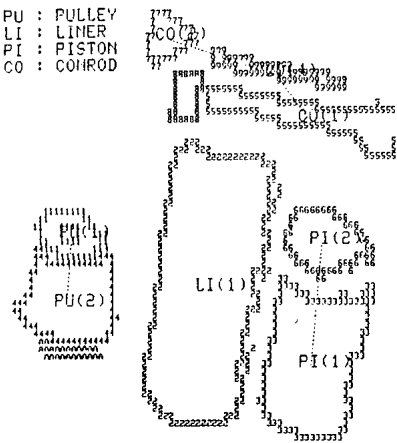


図14 認識結果
 Fig.14-The result of recognition.

対象とするシーンの例を、図12には入力したスリット像の例を示し、記述を作る過程で得た小領域を図13に示す。図14は認識結果である。第1、第2の種類の実験とも数個の同様のシーンに対して実験を行って満足な結果を得ている。また実験した限りでは4.3で述べた矛盾のある解釈の組合せは生じなかった。図12の入力データをTOSBAC 5600上で処理したとき、記述に約3分、照合に約0.5分要した。

6. むすび

積重なっている物体を3次元データを使って認識するシステムを提案した。このシステムではシーンを平面と滑らかな曲面で記述する。物体のモデルを作るためには、単独の物体のシーンをシステムに見せる。システムはその記述をモデルとして記憶する。未知シーンの認識は、シーンの記述をモデルの記述と照合して行う。照合プログラムはシーンの中から各時点で最も確実と思われる領域を選び、その領域をモデルの領域と比較する。候補のモデルをきめたら、モデルの情報を活用して、シーンの残りの部分を探索する。このようにしてこのシステムでは融通性があり効率もよい認識を可能にした。実験結果はこの手法が十分有用であることを示している。ここに提案した手法は従来になかった一般的認識手段を提供したと言えよう。

現在このシステムではデータの入力のため、物体に光を当てて反射光を得ているので、光学的性質の悪いものは扱いにくい。そこで、より広い対象物体を扱えるような工夫が望まれる。

ここでは曲面は2次曲面を扱ったが、今後はこの手

法を一般曲面へ拡張することが残されている。

教示のため、1つの物体についていくつかの代表的な方向から見せて複数のモデルを作っているが、これらを互に照合して全体として1つのモデルにする⁽¹⁴⁾ことも考えられる。

もとの面の一部が見えている場合について、ここでは平面の一部が見えているときでも、他の領域との関係から推定する方法を示したが、曲面についてもこのような推定を行う方法が望まれる。

実際への応用に当っては、より多くの事例について手法を検証する必要がある。また高速に処理できるようなハードウェアとソフトウェアの工夫が必要となると思われる。

謝辞 有益な討論を賜った大阪大学基礎工学部辻三郎教授および電子技術総合研究所視覚情報研究室の皆様感謝します。

文 献

- (1) Barrow, H. and Popplestone, R.: "Relational descriptions in picture processing", *Machine intelligence*, 6, pp. 377-396 (1971).
- (2) Yachida, M. and Tsuji, S.: "A versatile machine vision system for complex industrial parts", *IEEE Trans. Comput.*, C-26, 9, pp. 882-894 (1977).
- (3) Tsuji, S. and Nakamura, A.: "Recognition of an object in a stack of industrial parts", *4 IJCAI*, pp. 811-818 (1975).
- (4) Shirai, Y.: "Recognition of polyhedrons with a range finder", *Pattern Recognition*, 4, pp. 243-250 (1972).
- (5) Agin, G.: "Representation and description of curved objects", AIM-173, Stanford University (1972).
- (6) Nevatia, R. and Binford, T. O.: "Structured descriptions of complex objects", *3 IJCAI*, pp. 641-647 (1973).
- (7) Popplestone, R. J., et al.: "Forming models of plane-and-cylinder faceted bodies from light stripes", *4 IJCAI*, pp. 664-668 (1975).
- (8) Oshima, M. and Shirai, Y.: "A scene description method using three-dimensional information", *Pattern Recognition*, 11, pp. 9-17 (1979).
- (9) Sugihara, K.: "Range-data analysis guided by a junction dictionary", *Artificial Intelligence*, 12, pp. 41-69 (1979).
- (10) Duda, R. O., et al.: "Use of range and reflectance data to find planar surface regions", *IEEE Trans. PAMI*, PAMI-1, 3, pp. 259-271 (1979).
- (11) Gennery, D. B.: "Object detection and measurement using stereo vision", *6 IJCAI*, pp. 320-327 (1979).
- (12) Milgram, D. L. and Bjorklund, C. M.: "Range image processing: planar surface extraction", *5 IJ CPR*, pp. 912-919 (1980).
- (13) 大島正毅, 高野善雄: "3次元物体認識システムのための特殊ハードウェア", *電総研集報*, 37, 5, pp. 1-9 (昭48-05).
- (14) Underwood, S. A. and Coates Jr., C. L.: "Visual learning from multiple views", *IEEE Trans. PAMI*, C-24, 6, pp. 651-661 (1975)
(昭和56年8月7日受付, 12月14日再受付)