

幾何モデルより導出された解釈木による ビンピッキングのための目

A vision system for bin-picking tasks
guided by an interpretation tree from a CAD model

池内克史(電子技術総合研究所)

Katsushi IKEUCHI(Electro-Technical Laboratory)

ABSTRACT This paper describes a model based vision system for bin picking tasks. The system contains three components; a pair of photometric stereo systems, a CAD model SOLVER, and an interpretation tree. Intensity maps, needle maps, and a depth map from a pair of photometric stereo systems can be used for attitude determination. A CAD model SOLVER is used to generate various apparent shapes of an object under various viewer directions. Representative attitudes are extracted from these attitudes. An interpretation tree is generated to classify an observed attitude into one of the representative attitudes, and to determine the attitude matching features from SOLVER with observed ones. Here, the interpretation tree determines maps, areas, and features for attitude determination.

1. はじめに

知能ロボットにとって、感覚器の保持は不可欠な要素の1つである。感覚器による外界情報収拾がなければ、知能ロボットの行動はオープンループとなる。従って、外乱に強く硬直化したシステムとなってしまう。

各種の感覚器の内、視覚は最も重要な機能の1つであろう。視覚は非接触で情報を収集できる。よって、環境への攪乱が少ない。また環境の状況を大づかみにできると言った特徴もある。

視覚機能を持ったロボットに有利なタスクとして、ビンピッキングがある。これは同一の部品の山から1つ部品をつかみ上げるタスクを言う。

従来、ビンピッキングは濃淡情報のエッジを処理することでシステムを構成することが多かった^{(1)~(4)}。エッジを利用してシーンを小領域に分割する。各小領域の中に既知の形を探し出し、各小領域を意味付ける。この情報をもとに、対象の位置姿勢を決定する。

エッジに基づく手法では、次の2点で困難さを伴う。(1) 重なり合った3次元物体間には、濃淡情報の変化が少ない。そのため、単純なフィルターではエッジが抽出しにくい。(2) 3次元物体は観測する方向に応じてその形が変化する。この各方向における形を蓄えるのは大へんである。

この2つの問題を避けるため被写体を金属面に限定し表面に発生する正反射の帯^{(5),(7)}(ハイライト)を利用する手法が提案されている。これらの手法では、対象物は強い正反射特性をもつ必要がある。さらに、姿勢の3自由度全てをこれから決定することはできない。

筆者らは、先に照度差ステレオと拡張ガウス像⁽¹⁰⁾を用いたシステムを提案した。このシステムは、乱反射

特性を持つ被写体でも、位置姿勢の6自由度全てを決定できた。しかし、モデルが数学的に導出されていたため、一般形状の物体を扱いかいにくかった。さらに、照合特徴は拡張ガウス像のみであったため、ノイズに弱かった。本論文では、幾何モデルSOLVER⁽¹¹⁾をモデルとして使用し、この欠点克服を試みる。

本システムの特徴は、以下の通りである。

- 1) システムへの入力1枚の距離分布図、2枚の法線分布図、6枚のエッジ分布図である。これは、照合の段階に応じて、システムにより適宜参照される。どの分布図のどこを参照するかは、システム内の解釈木により決定される。
- 2) 幾何モデルSOLVERより各種の方向からの見えを生成する。この各種の見えのうち、照合特徴が定性的に同一となるグループを生成する。このグループを代表する代表姿勢を生成する。
- 3) 照合は未知領域の代表姿勢への類別と代表姿勢からのずれの決定となる。類別、ずれ計算とも、その状況で最も有利な特徴を用いて行なわれる。これらは解釈木に記述された特徴及び分布図を使ってなされる。
- 4) 決定された位置姿勢はSOLVERのワールドに登録される。障害物回避などは、SOLVERの物体間の干渉チェック機能を利用してなされる。

2. SOLVERと代表姿勢

2.1 SOLVER

SOLVER⁽¹²⁾は、越川により、木村・穂坂のGEO MAP⁽¹²⁾を物体認識用に整備改造されたものである。GEO MAP、SOLVERともに、物体はそれを構成する面、稜、頂点のつながりで表現する。基本となるのは稜の接続関係であり、winged-edge 表現法により

これが表現される。任意物体は基本物体、あるいは物体間の和、差といった集合演算により合成できる。さらに、各物体に対して回転、平行移動、複写、投影表示が行なえるといった特徴を持っている。

SOLVERは、これに加えて、

- (1) 集合演算により合成された物体の各面が元属していた物体を同定できる。
- (2) 二次元投影像の面のうち、他で隠されずに現れている部分(領域)をもつ面について、この部分の下記のような情報を持つ。
 - (2.1) 領域の面積
 - (2.2) 各アークについてみかけ隣りあう領域
 - (2.3) 領域を囲むアーク列
- (3) 二次元投影像の領域、辺、隅が生成された元の物体の面、稜、頂点を同定できる。

SOLVERそのものを用いて照合するという試みもあるが、ここではSOLVERから各種の照合に便利なワークモデルを生成し、照合する。これは画像中の各領域を処理する場合、特徴により差の出る場合と、差がノイズレベルに比して小さいものがある。従って、状況に応じて、比較する特徴を使い分ける必要がある。このような各種の特徴を照合のつどSOLVERから導出するのは、システムの効率上有利でないからである。

2.2 代表姿勢

3次元物体は、観測方向に応じてその姿を変える。特に複雑な物体では、照度差ステレオで観測される領域の数、及び形状が観測方向に応じて変化する。

この現象は、照度差ステレオに限らず、一般にアクティブに観測する入力手段、例えば偏向法、光切断法に共通に見られる現象である。

さて、対象物体が取り得る各姿勢のうち、照度差ステレオで観測される可観測領域の関係がトポロジ的に同一なものを一つのグループとする。すなわち、ほぼ同一の部分が同一数の領域として観測される場合を1つのグループとする。

各姿勢について、まずSOLVERより可観測領域を計算する。各見える領域について照度差ステレオが定め得る勾配より急な領域を消去する。次に、残った領域の隣接関係を調べ、隣接領域のなす角が領域分割に用いるなめらかさ拘束のいき値以上なら、両方の領域は隣接していないとする。こうして隣接関係にある領域の集合として1つの可観測領域が得られる。

可観測領域の数が同一で、かつ各可観測領域が元の物体の同一領域から生成されている姿勢を集めて1つのグループとする。1つのグループ中可観測領域のみかけの面積の和が最大の姿勢を1つの代表姿勢とする。すなわち、もとの物体の同じ様な部分が同じ様に見える姿勢を集めて1つのグループを作る。さらに、グループ内の各姿勢の内、最も正面像に近いものを代

表姿勢とする。

図1に例を示す。図1bは対象物体(図1a)を60の方向から観測した時の姿である。これらの姿勢は、図1cに示す7つのグループに分類できる。グループ1から5より、5つの代表姿勢が定義できる。なお、グループ7は可視領域が小さいため、グループ6は、対象物体の図1aから分かるように、穴の部分に対応し、ともに本照度差ステレオでは観測できない。よって代表姿勢から除外した。

本例では、可観測領域をグループ化の目安とした。観測されるエッジタイプといった特徴によってグループ化することも可能である。

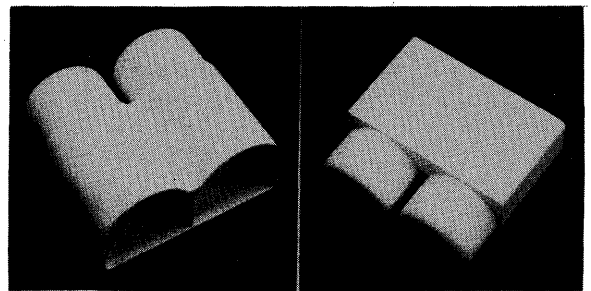


図1a 対象物体

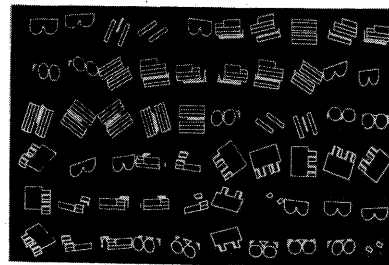


図1b SOLVERにより生成された60姿勢

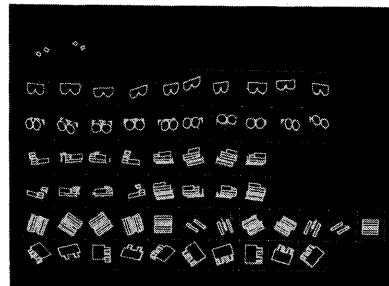


図1c 抽出された7グループ

S 5 代表姿勢

S 4 代表姿勢

S 3 代表姿勢

S 2 代表姿勢

S 1 代表姿勢

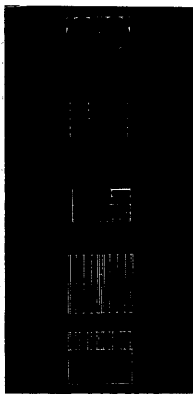


図1 d 5 代表姿勢

3. ワークモデル

ワークモデルは代表姿勢についてのみ生成する。本手法では、照度差ステレオにより各可観測領域の平均面素方向が求まっている。従って、可観測領域上の各特徴をその正面像での特徴に変換できるからである。

平均面素方向を(p,q) とすると、

$$T = \begin{pmatrix} 1+p^2 & pq / 1+p^2 \\ 0 & 1+p^2+q^2 / 1+p^2 \end{pmatrix}$$

がアフィン変換の行列を与える。この行列を観測された特徴にほどこせば、正面像における特徴が得られる。

ワークモデルは、代表姿勢を親とし、可観測領域ごとの構造データとして記憶される。すべてのパラメータはモデルの物理的な長さで記述してある。従って、観測時に物理的な長さで画像上の長さとの変換パラメータのみを求めるだけでどのようなカメラ系で測定した画像に対してもモデルは適用可能となる。

3.1 領有領域モデル

可視領域の概略の形状を表わすために、正面像2次慣性モーメントを使用する。このため、照度差ステレオにより得られた法線分布図を2値画像に変換する。画像中において、照度差ステレオで面素が決定できた点で1、決定できなかったで0を割り振ることにより、2値画像が得られる。

この2値画像において、可視領域の正面像2次慣性モーメントを計算する。照度差ステレオにより法線分布が得られているので、領域の平均法線方向から先のアフィン変換行列を求める。このアフィン変換を画像の各点にほどこし慣性モーメントを求めると、画像の正面像における慣性モーメントが得られる。

一方、このデータはSOLVERからは容易に生成

できる。SOLVER上で、まず各可観測領域を決定する。可観測領域の重心は、可視領域内の各面の重心

とSOLVERのEXPOSUREセル内に保存されている各面のみかけの面積から決定できる。重心の位置と面を形成するアークの端点の座標から2次慣性モーメントが決定できる。

3.2 領域関係モデル

領域の存在位置の相対位置をグラフとして保存する。各存在領域で慣性モーメントの最大方向が安定に定義できる場合には、この方向を基準に各領域の方向と位置を計算する。このデータも本システムでは、未知領域の類別に使用する。ある領域が1つの代表姿勢モデルの1つの領域らしい時、この記述をもとにほかの可観測領域を探索する。

前節の可観測領域の重心位置と慣性モーメントの方向から、これが得られる。SOLVER上での重心間の距離、及び慣性モーメント軸が安定に決定できる場合には、軸方向を基準とし他の領域の方向が登録される。

3.3 領域形状モデル

領域形状モデルとして、2次元Well-tessellated sp here表現も使用する。簡単に言えば、領域の重心から輪郭線までの距離を一定角度ごとにプロットしこれを極座標形式で記録する。本システムでは、領域の視線周りの回転角の決定に使用する。

照度差ステレオからの2値画像には、領域の輪郭線追跡及び輪郭線のアフィン変換で容易にこれが得られる。

SOLVERからは、以下の様にして定まる。可観測領域のアーク列が得られる。この内、アークの両側が同一可観測領域であるアークを消去する。残りのアークについて、アークの端点と可観測領域の重心からそのアークが局座標のどの角度部分を覆うかを決定する。円周上の各点の方向における重心とアークの距離を各方向に登録する。すべてのアークについてこの処理を行なう。円周上の各点についてすでに距離が登録してあれば、遠い方の距離を採用する。

3.4 線画モデル

エッジ情報もモデルの一部として使用する。照度差ステレオでモデルの視線周りの自由度が残る場合がある。この際に、領域内部に存在するエッジを探索することによりこの自由度を決定できる。

すべてのエッジを探索するには手間がかかる。特徴となるエッジをモデル上で決定する。これの始点と終点を標準姿勢モデルに記載しておく。照合に際しては平均面素方向よりの姿勢への標準姿勢からのアフィン変換係数を決定し、これによりエッジ位置、エッジの方向を推定し、探索する。

3.5 拡張ガウス像 (EGI)

照度差ステレオから得られる、面素法線分布から拡張ガウス像⁽⁷⁾が得られる。ここに、拡張ガウス像とは、法線ベクトルをその始点の位置に無関係に座標の原点に投影した時に得られる物体上の法線分布の空間ヒストグラムのことである。これにより物体の姿勢を決定する。

3.6 表面特性モデル

照度差ステレオでは、面素の法線分布が得られている。これから各領域内の曲面の特性を計算できる。

面素法線方向から曲面の第一次基本量、第二次基本量が計算できる。これからガウス曲率(G)、平均曲率(M)が計算できる。

$G = 0$ & $M = 0$ ---- 平面
 $G = 0$ & $M \neq 0$ ---- 円筒面
 $G > 0$ & $M > 0$ ---- 正楕円面
 $G > 0$ & $M < 0$ ---- 負楕円面
 $G < 0$ ---- 双曲面

となる。これらを利用して、対象領域内を領域分割し領域の分布具合を代表姿勢モデルに登録する。

照合に際してはエッジ探索の場合と同様、標準姿勢の対象領域分布図とアフィン変換係数から領域の存在場所を推定し、そこに予想された種類の曲面領域が存在するかどうかを調べる。このため、標準モデルには特徴となる領域の端点の座標、領域の重心、曲面の種類を記録する。

4. 解釈木の導出

照合は、あらかじめ決定された解釈木に従って行なわれる。これは、各代表姿勢について、異った特徴を利用して、照合を行なうためである。解釈木には、2種類の操作が含まれている。第1は、未知領域の代表姿勢への類別、第2は、代表姿勢からの姿勢のずれの決定である。解釈木は、下記の様な規範で構成された。

4.1 代表姿勢への類別

代表姿勢類別のための解釈木導出のメタルールを示す。下記のルールをチェックし、各項目で少なくとも2つ以上の姿勢が安定に識別できるならそれを解釈木にとりこむ。チェック項目は、低レベルの特徴から高レベルの特徴へと並べてある。

- L1 --- 照度差ステレオで定まる領域の正面像慣性モーメント比較。
- L2 --- 照度差ステレオで定まる領域の正面像形状比較。
- L3 --- 照度差ステレオで定まる領域の拡張ガウス像比較。
- L4 --- 照度差ステレオで定まる領域の曲面領域記述と比較。
- L5 --- 濃淡情報より定まるエッジ分布で比較。

L6 --- 照度差ステレオで定まる領域のトポロジー関係と比較。

L7 --- 領域とエッジの相対位置関係で比較。

以上で代表姿勢に識別できない物体は、本手法の適用外とする。これは、全く異なった2つの姿勢において、複数の可観測領域が同様な関係で存在し、その可観測領域が同様の面積、慣性モーメント、曲面特性を持つような物体を意味する。

4.2 姿勢決定

姿勢決定に際しても、どの特徴を使用するかを解釈木に取りこむ。今、前段の解釈木により未知領域は、代表姿勢に類別されているから、その代表姿勢で決定に最も有利な特徴を使用する。

A1 --- 拡張ガウス像により姿勢を決定する。

A2 --- 決定できない自由度について、複数の可観測領域の重心位置から姿勢を決定する。

A3 --- 決定できない自由度について、領域の慣性モーメント方向から決定する。

A4 --- 決定できない自由度について、領域形状モデル(Well-tessellated Sphere)から決定する。

A5 --- 決定できない自由度について、曲面特性の分布から決定する。

A6 --- 決定できない自由度について、濃淡画像中のエッジの位置から決定する。

A7 --- 決定できない自由度について、エッジと曲面特性の組合せから決定する。

以上で姿勢決定できない物体は本手法の適用外とする。すなわち、複数の姿勢で同一拡張ガウス像、同一曲面分布、同一輪郭線形状、同一エッジ形状を持つような物体は本手法で識別出来ない。

5. 世界モデルとその利用

認識結果は、SOLVERのワールドに登録する。

世界には、最初は、基本となるテーブルしかない。この世界に認識できた領域に対しては、対応する姿勢でモデルのコピーを登録する。未処理の領域に対しては領域に対応する12角柱を置く。この12角柱の底面は、未知領域の形状を12方向の精度のWell-tessellated sphereで近似したものである。12角柱の高さは領域の高さに対応している。

このワールドに任意の方向のカメラを置くことで、任意方向からのイメージが生成できる。この操作は、SOLVERの標準的な機能として準備されている。

この表現を用いて、グリッパの安全把握姿勢を決定できる。各代表姿勢について、可能な安定把握姿勢を登録しておく。決定された対象領域の姿勢をもとに各安定把握姿勢におけるグリッパのワークスペースを直方体として、ワールドに生成する。

これと未知領域を表現するどれかの12角柱とが干渉すればそのグリッパ姿勢はとれない。干渉がなければ

ば衝突回避姿勢となる。この時の対応するグリッパの姿勢が安全把握姿勢となる。

6. 実験

6.1 解釈木の導出

6.1.1 代表姿勢

対象対称物体から図1cに示す様な7つのグループが生成された。先にも述べた様に、6番目のグループは本対象物体では穴の部分に対応する。従って、照度差ステレオでは、観測不能となる。7番目のグループも代表姿勢導出ルーチンでは、グループとして生成されている。しかし、可観測領域が小さいため代表姿勢からは省く。よって図1dに示した5つの代表姿勢が生成できた。これをS1, S2, S3, S4, S5代表姿勢と名付ける。

6.1.2 代表姿勢への類別

未知姿勢を代表姿勢に類別するための解釈を生成する。まず、L1の慣性モーメント比較でS1, (S2, S3, S4), S5の3つのグループに分類できる。(S2, S3, S4)にL2の形状比較、L3のEGI比較、L4の領域比較、L5のエッジ比較を適用しても差はない。L6のトポロジー比較で、S2と(S3, S4)のグループに分離できる。さらに、L7の局所関係比較でS3, S4とに分離できる。以上より、類別解釈は、L1, L6, L7を適用したものとなる。図2参照。

6.1.3 姿勢決定

姿勢決定も、代表姿勢ごとにストラテジーに沿って解釈木を生成していく。

S1代表姿勢

A1のEGI比較で、視線方向のみ決定できる。この場合、EGIの重心で視線方向決定可能である。視線周りの自由度は、EGI比較では決定できない。可観測領域が1つであるからA2でも視線周りの自由度は決定できない。

A3で視線周りの自由度は慣性モーメント方向とその反対方向にまで決定できる。

残りの2つの方向についてA4のWTS比較を用いて決定する。

S2代表姿勢

A1のEGI比較で、視線方向のみ決定できる。厳密には、EGI比較により視線周りの自由度も決定可能であるが、誤差が多いのでA2, A3も使用する。

S2姿勢では可観測領域は2つある。従って、A2の可観測領域間の重心から視線周りの自由度を2方向にまで拘束できる。

この2方向について、A3慣性モーメント, A4形状, A5曲面記述では決定できない。

A6のエッジの局在を使用して決定する。

S3代表姿勢

S3代表姿勢の場合もA1の拡張ガウス像で視線方向のみが決定できる。可観測領域は1つなのでA2の重心位置による決定はできない。A3慣性モーメント方向で視線周りの自由度は2方向まで決定できる。

A6のエッジの局在からこれを決定する。

S4代表姿勢

S3代表姿勢と同様である。

S5代表姿勢

S5代表姿勢もA1のEGIで視線方向が決定できるだけである。可観測領域が2つあるからA2重心位置関係から、視線周りの自由度は2方向にまで落ちる。この2方向は、A6のエッジの局在から決定する。

図2に得られた解釈木を示す。

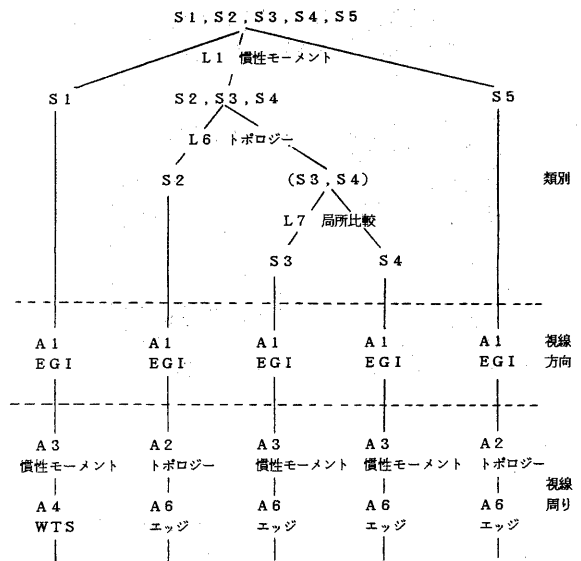


図2 導出された解釈木

6.2 照合実験

本実験では、解釈木の能力のみを試す。従って何らかのストラテジーによって1つの未知領域が解釈木の入口にきた状態から実験が始まる。

入力画像

本システムへの入力は、6枚の濃淡分布図、2組の照度差ステレオにより得られた2枚の法線分布図、さらにそれから得られる1枚の距離分布図である。

図3に6枚のうちの1枚の濃淡分布図、それから得られるエッジ分布図、2枚の内の1枚の法線分布図、1枚の距離分布図を示す。

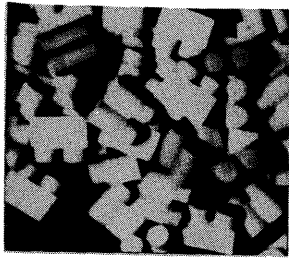


図3 a 入力濃淡分布図

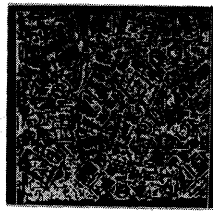


図3 b エッジ分布図



図3 c 法線分布図

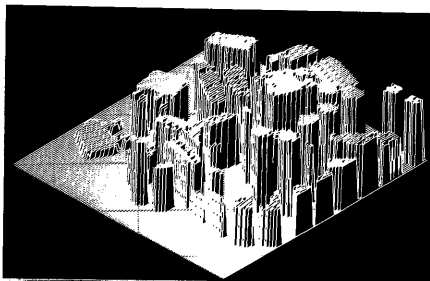


図3 d 距離分布図

図3 本システムへの入力

S 1の代表姿勢

S 1代表姿勢に分類される領域についての照合結果を図4に示す。まず、対象領域の正面像慣性モーメントからS 1代表姿勢に類別される。(図4 a参照。) 解釈木によるとS 1代表姿勢はEGIで視線方向、慣性モーメント方向と形状から視線周りの回転が決定できる。図4 bは抽出された領域の2D Well-tessellate d Sphere表現である。これらの結果から図4 cに示す様な3 D空間中での姿勢が決定される。

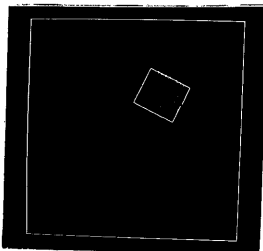


図4 a 抽出された領域



図4 b

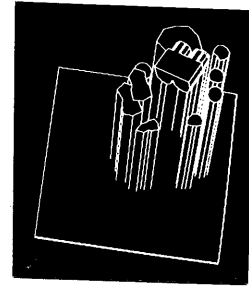


図4 c 得られた位置姿勢

図4 S 1代表姿勢解析例

S 2代表姿勢

S 2代表姿勢の例を図5に示す。正面像慣性モーメントとからS 2, S 3, S 4のグループに属する領域であることがわかる。周辺を探索すると予想される位置に対応する領域が存在するので、S 2に分類される領域であることになる。(図5 a。)

S 2代表姿勢では、姿勢はEGI, 領域間の位置関係, エッジ位置から決定できる。図5 aは、対応する領域が決定されたことを示す。図5 bにおいて、領域の位置関係からモデルをエッジ分布に当てはめる。右向きの場合にのみ特徴エッジが予想される位置に予想される方向で発見された。図5 cは得られた位置姿勢である。

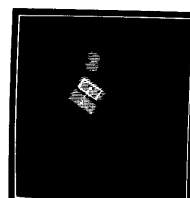


図5 a

抽出領域と対応領域



図5 b

モデルから予測され
発見されたエッジ

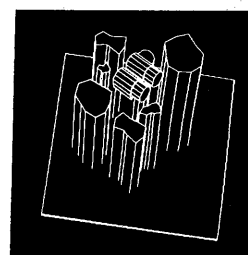


図5 c 得られた位置姿勢

図5 S 2代表姿勢解析例

S 3 代表姿勢

S 3 代表姿勢に類別される例を図6に示す。この領域類別でも、S 2, S 3, S 4との区別のために周辺領域が探索される。対応領域が発見できないためS 3, S 4のグループに分類される。図6 a. S 3とS 4の類別のためエッジと領域の相互関係が調べられる。図6 bは、左側のみでエッジが求まっている。図6 cはS 4代表姿勢の曲面分布を当てはめた時の一致する領域を示す。図6 dはS 3代表姿勢を当てはめた時のそれである。これから対象領域はS 3代表姿勢に類別される。

S 3 代表姿勢も視線方向と視線周りの自由度を別々に定める。視線方向の自由度はEGIによって決定できる。視線周りの自由度は領域の慣性モーメントとエッジの位置から決定できる。図6 eに決定された位置姿勢を示す。

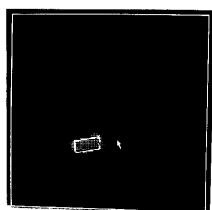


図6 a 抽出された領域 図6 b 発見されたエッジ

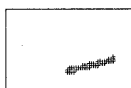


図6 c

S 4代表姿勢と
一致する曲面分布



図6 d

S 3代表姿勢と
一致する曲面分布

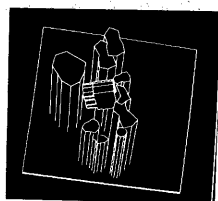


図6 e 得られた位置姿勢

図6 S 3代表姿勢解析例

S 5 代表姿勢

最後の例はS 5代表姿勢である。領域の慣性モーメントからS 5代表姿勢であると決定できる。周辺領域を探索することにより対応するもう一方の領域が発見される。図7 a参照。

S 5の視線方向はEGIにより決定できる。視線周りの自由度は2個の領域の相対関係とエッジの位置から決定できる。図7 b.これから図7 cに示すような位置姿勢が決定できた。

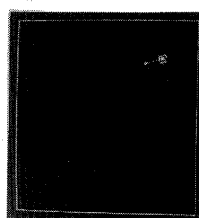


図7 a

抽出領域と対応領域

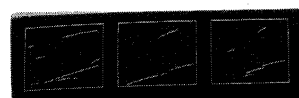


図7 b

発見されたエッジ

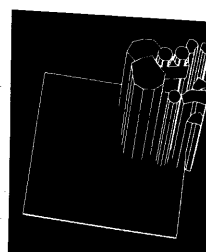


図7 c 得られた位置姿勢

図7 S 5代表姿勢解析例

ワールド登録

最後に求まった領域をSOLVERのワールドに登録し、2方向からの様子を图示したのが図8である。

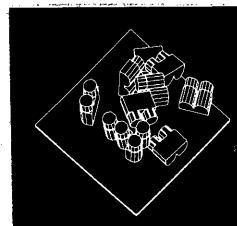
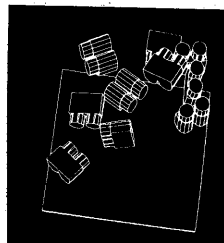


図8 ワールド表示

7. むすび

本論文では、解釈木に従って距離分布図、法線分布図、エッジ分布図を解釈し、対象物体の位置姿勢を決定するシステムについて述べた。

本システムの特徴は、以下の通りである。

- 1) システムへの入力1枚の距離分布図、2枚の法線分布図、6枚のエッジ分布図である。
- 2) 幾何モデルSOLVERより代表姿勢を生成する。
- 3) 照合は解釈木に従い、その状況で最も有利な特徴を用いて行なわれる。
- 4) 決定された位置姿勢はSOLVERのワールドに登録される。

本稿では、解釈木の能力のチェックに的をしばり最適領域決定のストラテジーにはふれなかった。これについては別の機会に譲る。

本研究の目指したものは、SOLVERによる多様なモデルの実現並びにこれに基づく柔軟な照合方式の開発である。これについては、ある程度の見通しが得られた。残された問題としては、解釈木の自動生成、より柔軟な解釈木の導出方法の開発があろう。

謝辞

有益なご助言、ご協力をいただいた視覚システム研究室、画像処理研究室、情報制御研究室の諸研究官に感謝します。

本システムは、推論システム研究室、人間機械システム研究室、言語処理研究室所属のLispマシン(Symbolics-3600)上に構築された。ご協力いただいた関係諸研究官に感謝します。

参考文献

- (1) Tsuji, S. and Nakamura, A.: "Recognition of an object in a stack of industrial parts", Proc. 4th IJCAI, pp. 811-818, 1975.
- (2) Yachida, M. and Tsuji, S.: "A machine learning capability", Proc. 4th IJCAI, pp. 819-826, 1975.
- (3) Tsuji, S. and Matsumoto, F.: "Detection of elliptic and linear edges by searching two parameter space", Proc. 5th IJCAI, pp. 569-575, 1977.
- (4) Perkins, W. A.: "Model-based vision system for scene containing multiple parts", Proc. 5th IJCAI, pp. 678-684, 1977.
- (5) Birk, J. R., Kelly, R. B., and Martins, H. A. S.: "An orienting robot for feeding workpieces stored in bins", IEEE Trans., Vol. SMC-11, No. 2, pp. 151-160, 1981.
- (6) Bolles, R., and Cain, R. A.: "Recognizing and locating partially visible objects: the local-feature-focus method", J. Robotics Research, Vol. 1, No. 3, pp. 57-82, 1982.
- (7) Fukada, Y.: "Recognition of structural in dustrial parts stacked in bin", Robotica, Vol. 2, 1984.
- (8) Ayache, N., Faverjon, B., Boissonnat, J., and Bollack, B.: "Automatic handling of overlapping workpieces", Proc. ICPR-84, pp. 837-839, 1984.
- (9) Goad, C.: "Special purpose automatic Programming for 3d model-based vision", Proc. IUW., pp. 94-104, June, 1983.
- (10) 池内, 長田, ホーン, ニシハラ: "照度差ステレオとプリズムステレオによるビンピッキングタスク中のグリッパの姿勢決定", 信学論, Vol. J68-D, No. 4, pp. 546-553, 1985.
- (11) 越川, 白井: "境界による見える部分の記述を持つ投影体の生成", 情処会研資, グラフィックスとCAD, 17-3, 1985.
- (12) Kimura, F. and Hosaka, M.: "Program package GEOMAP reference manual", ETL Computer Vision Section, 1977.
- (13) 越川, 白井: "偏光情報から幾何モデルに基づいて光沢物体を認識する1手法", ロボット学会誌, Vol. 3, No. 1, pp. 4-9, 1985.
- (14) 大島, 白井: "物体認識のための照合用データ構造", 第2回ロボット学会講演会予稿集, pp. 157-158, 1984.
- (15) Sugihara, K.: "Automatic construction of junction dictionaries and their exploitation for analysis for range data", Proc. 6th IJCAI, pp. 859-864, 1979.
- (16) Brown, C. M.: "Fast display of well-tessellated surfaces", Computer and Graphics, Vol. 4, No. 2, pp. 77-85, 1979.
- (17) 池内克史: "拡張ガウス像に基づく被写体い がくり表現像から観測方向決定のための一手 法", 信学論, Vol. J66-D, No. 5, pp. 463-470, 1983.
- (18) 池内克史: "2組の照度差ステレオによる距離情報の決定(領域間対応法)", 情処会研資, コンピュータビジョン, 33-2, 1984.