

# 幾何モデルに基づく3次元ビジョンシステム

A 3-D Vision System with Solid Model

土 肥 浩\*・石 塚 満\*

Hiroshi DOHI and Mitsuru ISHIZUKA

## 1. はじめに

3次元空間に存在する物体を認識し、画像理解を行う上で、対象となる物体の位置や姿勢などの情報を得ることは重要な課題の一つである。

最近の3次元ビジョンシステムは、対象物体の立体モデルを積極的に利用するようになってきている。これはコンピュータビジョンの分野において、モデルベース、あるいは知識ベースのアプローチと呼ばれている。

われわれが先に開発した知識型3次元ビジョンシステム CAMPS (Classes And Methods Programming System)<sup>1)2)</sup>をはじめ、多くのモデルベースビジョンシステムでは、面、エッジ、頂点など、立体の構成要素の接続関係に着目した概念的な立体モデルを用いている。ところが、対象物体が人工物であれば、接続関係のような

定性的な性質だけではなく、頂点の角度やエッジの長さなどの情報を持ったより正確な幾何学的立体モデルを用いることができる。立体モデルを定量的に取り扱うことにより、信頼性の高い画像理解を効率的に行うことが可能となる。このような幾何学的立体モデルは、コンピュータグラフィックスの分野で広く使われているソリッドモデルを利用することにより、容易に表現し、操作することができる。

われわれは幾何学的立体モデルを用いることにより、対象物体の大きさ—エッジの長さ—を距離の基準として、単眼視の画像から3次元位置情報の復元を試みた<sup>3)5)</sup>。

本論文では、対象物体に関する知識として幾何学的立体モデルを用いた3次元ビジョンシステムについて述べる。

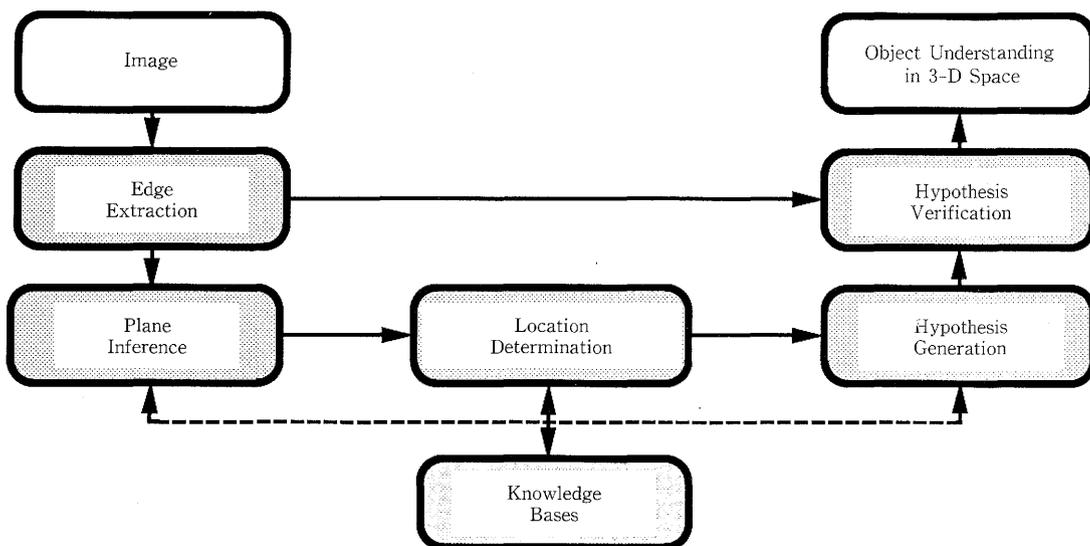


図1 3次元ビジョンシステムの構成

\*東京大学生産技術研究所 第3部

研究速報

2. 3次元ビジョンシステムの構成

われわれが開発した3次元ビジョンシステムの構成を図1に示す。

入力には、単眼視の画像を用いる。

この3次元ビジョンシステムは、エッジ抽出された画像と、あらかじめ与えられたモデルデータから得られる物体の可能な見え方を比較しながら対象物体の種類と位置を推定する。その結果をもとにソリッドモデルを操作して、ビジョンシステムが解釈した対象物体の見え方を視覚的に表現する。このとき、対象物体の種類、およびその3次元配置について、一般に複数の仮説が生成される。こうして生成された画像と、もとのエッジ抽出された画像とを比較・検証し、正しい仮説を選び出す。

モデルベースビジョンシステムは、もともとオクルージョン（他物体による隠れ）に対して強いという特性を持っている。これは入力画像から対象物体に関する完全な情報が得られなくても、あらかじめ与えられたモデルによって、ある程度欠落した情報を補えるからである。

われわれが開発した3次元ビジョンシステムでは、幾何学的立体モデルを用いることにより、一つの平面を構成する頂点の見え方から対象物体の3次元位置情報の復元を行う。また、これにより複数の物体の重なり・前後関係を判断することができる。

3. 3次元位置情報の抽出

図2に示すように視点をOとし、対象物体の三つの頂点をP, Q, Rとする。三角形PQRを底面とする三角錐OPQRを考える。

三角形PQRの各エッジの長さを $d_1, d_2, d_3$ 、それぞれのエッジに対する視角を $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ とする。（ここで $d_3$ は、実際には存在しない仮想的なエッジである。）

$OP=p, OQ=q, OR=r$ とすると、次の三つの式が成

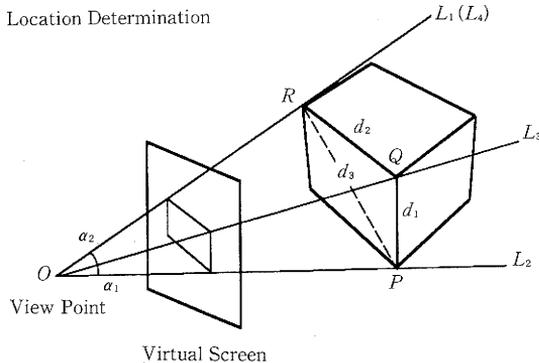


図2 3点P, Q, Rの位置関係 (3次元)

り立つ<sup>4)</sup>。

$$p^2 + q^2 - 2pq \cos \alpha_1 = d_1^2$$

$$q^2 + r^2 - 2qr \cos \alpha_2 = d_2^2$$

$$r^2 + p^2 - 2rp \cos \alpha_3 = d_3^2$$

三角錐OPQRをORで切り開くと、図3のような展開図が得られる。これにより、3次元空間での頂点の位置関係を2次元平面上で取り扱うことができる。

三つの頂点を用いることの利点は、P, Q, Rがどのような位置関係にあっても、必ず三角錐OPQRを構成できることである。

図3において、 $L_1$ と $L_4$ は、同じ直線を表している。また、P, Qはそれぞれ $L_2, L_3$ 上を動く。

対象物体のエッジの長さ $d_1, d_2, d_3$ が既知であるとする。Rの位置が決まる時、P, Qは、それぞれRを中心とする半径 $d_2, d_3$ の円周と $L_2, L_3$ との交点、すなわち $\{P_+, P_-\}, \{Q_+, Q_-\}$ のいずれかの位置をとる。

このとき、

$$0 < \alpha < \pi/2$$

$$p > 0, q > 0, r > 0$$

とすると、次の式が得られる。

$$p_+ = r \cos \alpha_3 + \sqrt{d_3^2 - r^2 \sin^2 \alpha_3^2}$$

$$(0 < r < d_3 / \sin \alpha_3)$$

$$p_- = r \cos \alpha_3 - \sqrt{d_3^2 - r^2 \sin^2 \alpha_3^2}$$

$$(d_3 < r < d_3 / \sin \alpha_3)$$

$$q_+ = r \cos \alpha_2 + \sqrt{d_2^2 - r^2 \sin^2 \alpha_2^2}$$

$$(0 < r < d_2 / \sin \alpha_2)$$

$$q_- = r \cos \alpha_2 - \sqrt{d_2^2 - r^2 \sin^2 \alpha_2^2}$$

$$(d_2 < r < d_2 / \sin \alpha_2)$$

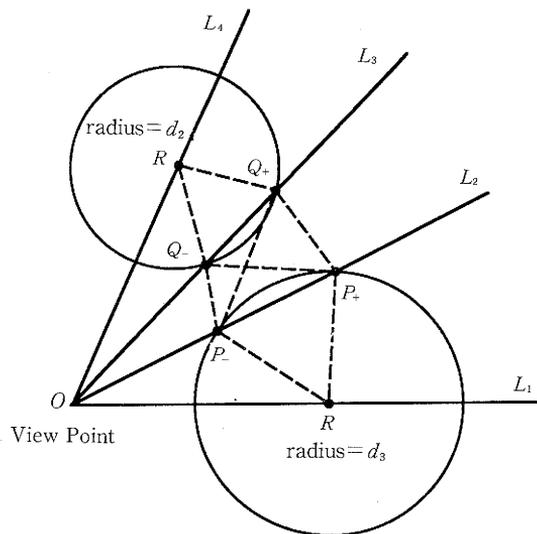


図3 3点P, Q, Rの位置関係 (2次元)

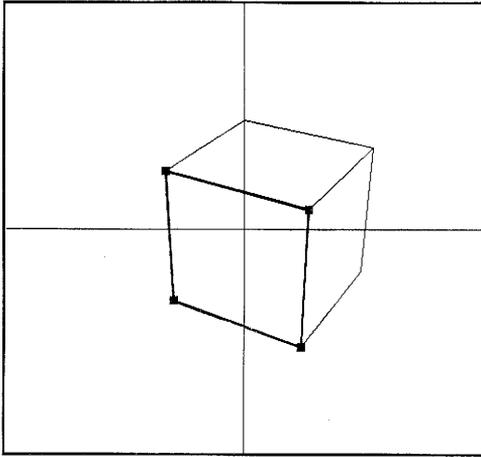


図 4 ブロックの位置推定の基礎となる平面

立体モデル (モデル座標系) から図 5 を与える変換行列

$$\begin{bmatrix} 0.86176 & -0.25502 & -0.43855 & -49.74659 \\ -0.00261 & 0.86223 & -0.50652 & -49.74659 \\ 0.50730 & 0.43764 & 0.74237 & 500.54234 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

立体モデル (モデル座標系) から図 6 を与える変換行列

$$\begin{bmatrix} 0.75142 & -0.35011 & 0.55928 & -39.20947 \\ -0.11703 & 0.76346 & 0.63516 & -39.20947 \\ -0.64937 & -0.54273 & 0.53270 & 394.51954 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{bmatrix}$$

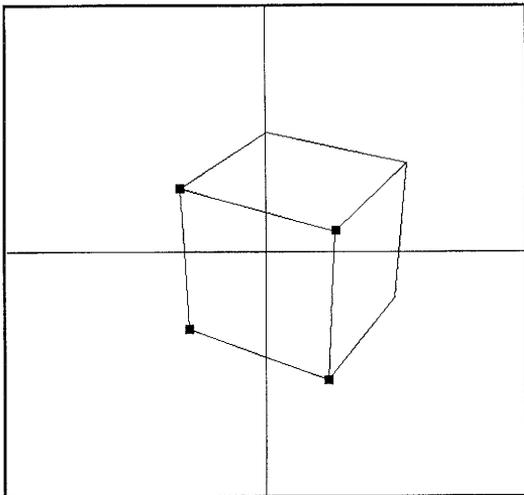


図 5 正しい仮説によって変換されたブロック

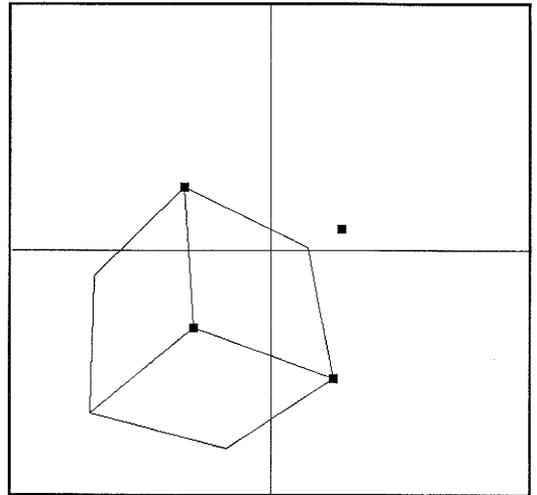


図 6 誤った仮説によって変換されたブロック

そこで、 $PQ$ 間の距離が $d_1$ に等しくなるような $r$ を求めればよい。このとき $r$ の範囲は、 $P, Q$ それぞれに対する $r$ の範囲を同時に満たさなければならない。したがって、 $P$ と $Q$ の組み合わせと、そのときの $r$ の範囲は次のようになる。

- 1)  $P_+Q_+$   
 $0 < r < \max\_r$
- 2)  $P_+Q_-$   
 $d_2 < r < \max\_r$
- 3)  $P_-Q_+$   
 $d_3 < r < \max\_r$
- 4)  $P_-Q_-$   
 $\max(d_2, d_3) < r < \max\_r$

ただし、

$$\max\_r = \min(d_2/\sin\alpha_2, d_3/\sin\alpha_3)$$

$R$ を $O$ から遠ざける ( $r$ を大きくしていく) につれて  $P, Q$ は同じように $O$ から遠ざかるが、 $P_+, Q_+$ は途中から逆戻りする。また、 $P, Q$ の移動速度は一定ではない。このため1)から4)のそれぞれの組み合わせにおいて、得られる解は一つとは限らない。

これらの解を解析的に求めることは困難であるが、式が比較的単純であることから逐次的解法により解を得ている。視点から頂点までの距離 $r_n$ とその方向ベクトル $(\theta_n, \psi_n)$ から、3次元空間における頂点 $n$ の座標は次のように表される。

$$(r_n \sin\theta_n \cos\psi_n, r_n \sin\theta_n \sin\psi_n, r_n \cos\theta_n)$$

研 究 速 報

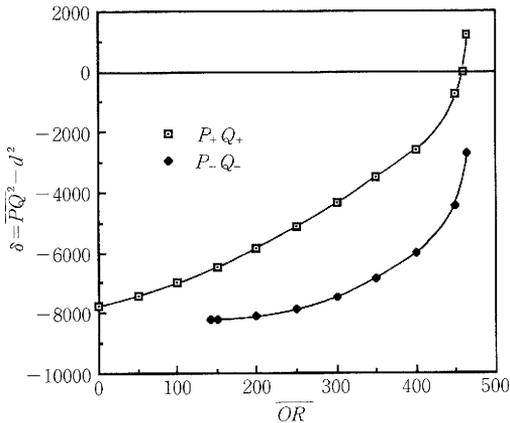


図 7 R の位置に対する PQ 間の距離の変化(1)

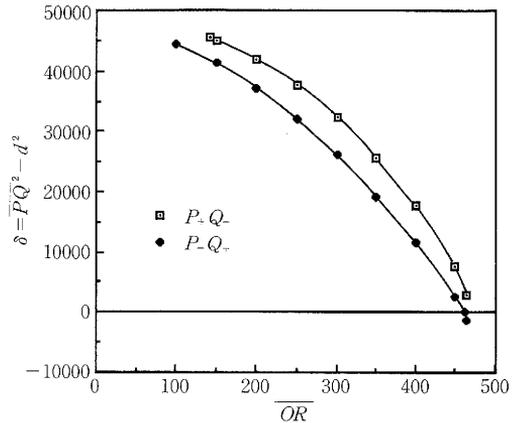


図 8 R の位置に対する PQ 間の距離の変化(2)

また、頂点の位置から、面の傾きも容易に求めることができる。

4. 実 験 結 果

実験結果を図 4～8 に示す。

ブロックを構成する任意の平面の 4 頂点の中から三つを選ぶ (図 4 において、左上、左下、右下の 3 頂点を選んだとする)。その三つの頂点の見え方からブロックの 3 次元空間における位置を推定し、その結果をソリッドモデラを用いて表示した (図 5、図 6)。

グラフは、三つの頂点を P, Q, R としたとき、視点から R までの距離に対する  $\delta = (PQ)^2 - d^2$  の変化を示す。ここで d は、対応するエッジの実際の長さである。δ が 0 のとき、ブロックの 3 次元配置の仮説が生成される (図 7、図 8)。

立体モデルと画像の対応関係が正しければ、仮説集合の中に正しい仮説が含まれている。これは 4 頂点の中からの三つを選ぶかには依存しない。

ソリッドモデラにより生成された画像は、少なくとも先に選んだ三つの頂点で一致する。残った 4 番目の頂点が一致しなければ、その仮説は誤りである (図 6)。

プロトタイプシステムは、仮説生成・検証 (システム本体)、ソリッドモデラ、画面表示制御の三つの部分から構成されている。それぞれは独立したプロセスとして実現されており、プロセス間通信機能を用いて必要な情報を交換している。

5. お わ り に

対象物体に関する知識として幾何学的立体モデルを用

いた 3 次元ビジョンシステムについて述べた。

幾何学的立体モデルを量的に取り扱うことで、単眼視の画像から 3 次元位置情報を復元し、より正確な物体認識が可能になった。

今後の課題として仮説生成・検証の効率化があげられる。  
(1989年 8 月 10 日受理)

参 考 文 献

- 1) K. Brunnström, M. Ishizuka, and T. Hama, "Knowledge-based 3-D Vision System using a Modeling with Class Concept", Int'l Workshop on Industrial Application of Machine Vision and Machine Intelligence, Tokyo, Feb. 1987.
- 2) K. Brunnström and M. Ishizuka, "Target-directed Understanding of 3-D Object in a Knowledge-based Vision System", 5th Scandinavian Conference on Image Analysis, Stockholm, June 1987.
- 3) H. Dohi and M. Ishizuka, "A Design of a 3-D Vision System based on Geometric Knowledge", Proc. of Int'l Workshop on Industrial Applications of Machine Intelligence and Vision. Tokyo, Japan, Apr. 1989.
- 4) M.A. Fischler and R.C. Bolles, "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography", CACM, Vol 24 No. 6, Jun. 1981.
- 5) 土肥, 石塚, 『数理幾何学手法を用いた立体モデルに基づく 3 D ビジョン』 信学技報 PRU88-4, Vol. 88 No. 23, May 1988.