2P-8

複数方向ステレオ視による物体の3次元構造の推定（第1報）

溝口 博、久野 義徳
株式会社東芝 総合研究所

1．はじめに

ロボット自らが行動計画を立案し作業を行う問題解決型ロボットが考えられる。現在、我々は、この一つの試みとして、定形部品から成るという制限付きではあるが、構造が未知の物体の3次元構造を視覚を用いて推定する方法について検討している。本稿では、この方法の前処理である複数方向からのステレオ視について述べる。

2．問題および方針

対象として図1に示すような積木の世界、すなわち直交多面体の世界を考える。個々の積木が部品であり、積み上げられた積木の塊が対象物体である。問題は、積木のような定形部品から成る物体の3次元構造を、視覚により推定することである。方針は、まず積木の稜線の3次元データをステレオ計測し、図2のような断面の外形線を各段ごとに得る。ついで、外形線の各部分がどの部品のどの部分にあたるかを解釈し、部品の存在を推論することにより物体の全体の3次元構造を推定する、というものである。

この場合、一方向から物体を眺めただけでは、裏側の部分は物体自身の陰になるため観測できない。そこで、全体を眺めるために視点を変えて複数の方向から観察を行う。視点の変更は、カメラを移動する代わりに物体を移動することにより等価的に実現する。

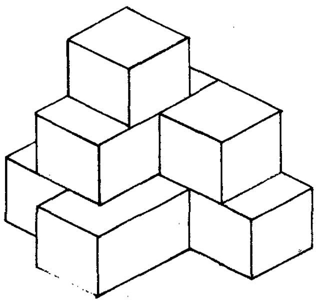

図１．対象とする積木の世界

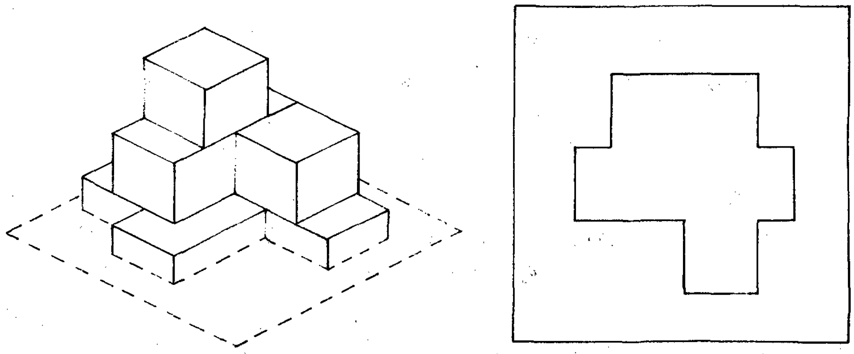

図２．断面図の外形線

3．複数方向からの観測と座標変換

ここでは3次元空間中の位置・姿勢の表現として同次座標系(homogeneous coordinate)表現を用いる。物体は、テーブル面上で回転、平行移動可能なパレットにのせて移動させるものとする。物体を移動させ、ある方向から眺めた場合、積木の各稜線の3次元座標はカメラに固定したカメラ座標系で求められる。一方、求めるべきものは物体を構成する個々の積木の位置・姿勢であるから、移動するパレットに固定したパレット座標系を設定して考えると好都合である。

問題は、カメラ座標系表現で得られる観測値をパレット座標系表現に変換することである（図3）。ここで、Σ_c はカメラ座標系、Σ_i はパレットの位置・姿勢が i の時のパレット座標系、x_i はパレットの位置・姿勢が i の時に見えた物体上の点xのカメラ座標系での位置ベクトル、T_i はカメラ座標系Σ_c からパレット座標系Σ_i への座標変換、${}^ix$ は物体上の点xのパレット座標系Σ_i での位置ベクトルである。パレット座標系Σ_i は、x軸、y軸、z軸が積木の3方向の稜線と平行になるように設定する。これらの記号を用いて、問題は次のように定式化できる。まず、前提として次式が成り立つ。

$x_i = T_i\ x$（ただし、$x = {}^1x = {}^2x = \cdots = {}^ix = \cdots$）・・・（1）

Inferring 3D Object Structure from Stereo Images at Several Viewpoints (first report)
Hiroshi MIZOGUCHI, Yoshinori KUNO
TOSHIBA Corporation

(1) 式は、物体がパレットと共に移動することを表わしている。問題は、物体をある方向 i から眺めた時に得られる観測値 x_i に対し、パレット座標系で表わした位置ベクトル $^i x = x$ を求めることである。(1) 式より、

$$^i x = x = T_i^{-1} x_i \quad \cdots (2)$$

同次座標系表現で表わされた変換 T_i に対し、逆変換 T_i^{-1} を求めることは容易である [Paul81] ため、T_i が得られれば、(2) 式より x が求められる。

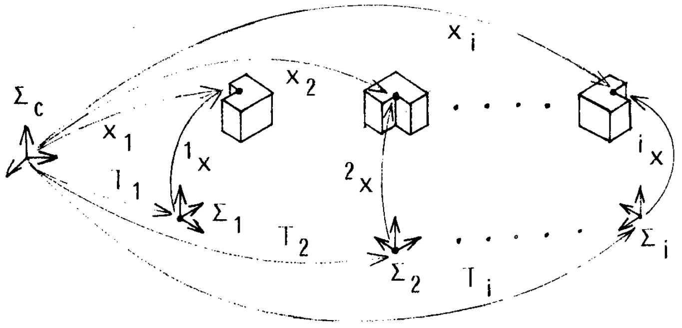

図3．視点の移動と座標変換

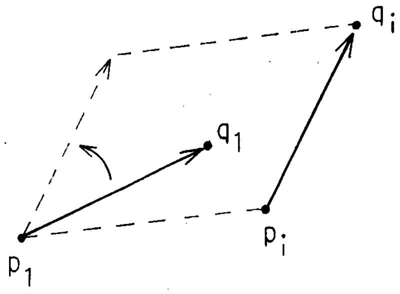

図4．マーク

4．変換行列の算出

変換行列 T_i は、パレットに固定したマークを観測することにより求める。マークのパレット座標系での座標値は予め判っているものとする。ここで、カメラ座標系 Σ_c とパレットの最初の姿勢 Σ_1 とは一致している、すなわち $T_1 = I$（I 単位行列）であるとする。パレットの移動の自由度は、x y 平面に拘束された平行移動の2自由度と、z 軸に平行な軸回りの回転の1自由度との計3自由度である。よって、パレットの上の2点に関し、移動前後の座標を求めれば、それらの値から変換行列を求めることができる。

今、図4に示すように2つのマーク p、q を考える。$T_1 = I$ より、

$$p_1 = {}^1p = p、\quad q_1 = {}^1q = q \quad \cdots (3)$$

カメラ座標系から見ると、p_1 を始点とするベクトル $\overrightarrow{p_1 q_1}$ が p_1 のまわりで回転して $\overrightarrow{p_i q_i}$ と平行になり、始点が p_i まで平行移動したと考えることができる。マーク p に関して (1) より $p_i = T_i\, p$ であり、また、回転軸が z 軸に平行であるから、回転角を θ_i とすると T_i、T_i^{-1} は次のように書ける。

$$T_i = \begin{bmatrix} c_i & -s_i & 0 & -c_i p_x + s_i p_y + p_{ix} \\ s_i & c_i & 0 & -s_i p_x - c_i p_y + p_{iy} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \cdots (4) \qquad T_i^{-1} = \begin{bmatrix} c_i & s_i & 0 & -c_i p_{ix} - s_i p_{iy} + p_x \\ -s_i & c_i & 0 & s_i p_{ix} - c_i p_{iy} + p_y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \cdots (5)$$

ただし、$c_i = \cos\theta_i$、$s_i = \sin\theta_i$、$p = {}^t(p_x, p_y, p_z)$、$p_i = {}^t(p_{ix}, p_{iy}, p_{iz})$。

同様にマーク q に関して、$q_i = T_i\, q$ が成り立つ。これに (4) 式を代入し、c_i、s_i について解けば、

$$c_i = \frac{\alpha\gamma + \beta\delta}{\alpha^2 + \beta^2}、\quad s_i = \frac{\alpha\delta - \beta\gamma}{\alpha^2 + \beta^2} \qquad \text{ただし、} \alpha = q_x - p_x \quad \beta = q_y - p_y \quad \gamma = q_{ix} - p_{ix} \quad \delta = q_{iy} - p_{iy} \quad \cdots (6)$$

これらを (4)、(5) に代入すれば変換行列 T_i、および逆変換 T_i^{-1} が求まる。

5．まとめ

本稿では、構造が未知の物体の3次元構造を視覚により推定する際の前処理である複数方向ステレオ視の考え方について述べた。特に、複数の方向から見た際の座標系の相違を統一する方法を示した。今後は、本稿で示した考え方によって得たデータに基づき構造の推定を行なってゆく予定である。

参考文献

[Paul81]　Paul, R., P., Robot Manipulators, MIT Press, 1981.