

逆投影法による多眼3次元計測

5K-7

戸屋真理子\* 松島俊明\* 橋本周司\*\*

\*東邦大学理学部情報科学科 \*\*早稲田大学理工学部応用物理学科

1. はじめに

筆者らは先に回転して撮像した複数枚の画像から、逆投影法により、光軸を含む水平面上に位置する対象について3次元計測を行う報告をした[1]。一般に、回転して得られた画像では、エピソード条件が成り立たないため、画像間の対応付けが難しいが、カメラ運動が既知の場合には、3次元空間への逆投影(voting)により一計測が可能である。浜野らはカメラ運動が既知として、連続して撮像した画像から特徴点(エッジ)を抽出し、それらの特徴点をボクセル上にVotingし、ボクセル内を通過した直線の数にカウントし、集積度の高いボクセルより特徴点の3次元位置を決定している[2]。このような方法で問題となるのは、ボクセルの占める領域の大きさが検出の分解能を決定するため、広範囲を高精度で検出するためには、非常に多くの記憶領域が必要となることである。

ここでは、Votingの代わりに、直接逆投影線の交点を求め、交点座標の分布から位置計測を行う方式について報告する。

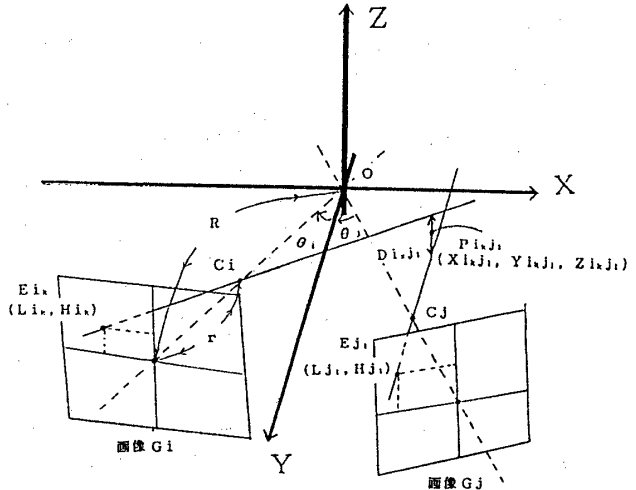


図1 原理図

2. 原理

図1に本方法の原理図を示す。Rは撮像面から回転中心Oまでの距離、rはカメラの焦点距離である。 $\theta_i$ 度回転して撮像したi番目の画像G<sub>i</sub>上のk番目の特徴点の座標をE<sub>ik</sub>(L<sub>ik</sub>, H<sub>ik</sub>)とすると、E<sub>ik</sub>とレンズ中心C<sub>i</sub>(-(R-r)sin $\theta_i$ , (R-r)cos $\theta_i$ , 0)を通る直線の方程式は、

$$\frac{x-a_i}{l_{ik}} = \frac{y-b_i}{m_{ik}} = \frac{z-c_i}{n_{ik}} \quad \dots (1)$$

で与えられる。但し、

$$a_i = -(R-r)\sin\theta_i, \quad b_i = (R-r)\cos\theta_i, \quad c_i = 0$$

$$l_{ik} = L_{ik}\cos\theta_i - r\sin\theta_i, \quad m_{ik} = L_{ik}\sin\theta_i + r\cos\theta_i, \quad n_{ik} = H_{ik} \quad \dots (2)$$

である。同様に、 $\theta_j$ 度回転して撮像したj番目の画像G<sub>j</sub>上のl番目の特徴点E<sub>jl</sub>とレンズ中心C<sub>j</sub>を通る直線の方程式は、

$$\frac{x-a_j}{l_{jl}} = \frac{y-b_j}{m_{jl}} = \frac{z-c_j}{n_{jl}} \quad \dots (3)$$

$$a_j = -(R-r)\sin\theta_j, \quad b_j = (R-r)\cos\theta_j, \quad c_j = 0$$

$$l_{jl} = L_{jl}\cos\theta_j - r\sin\theta_j, \quad m_{jl} = L_{jl}\sin\theta_j + r\cos\theta_j, \quad n_{jl} = H_{jl} \quad \dots (4)$$

であるから、この2直線が交わる場合には、交点は容易に求められるが、一般にはごく近くでお互いにねじれの位置の関係にあると予想される。そこで、これら2直線の最近点の座標を求めると、

$$x_{ik} = s l_{ik} + a_i, \quad y_{ik} = s m_{ik} + b_i, \quad z_{ik} = s n_{ik} + c_i$$

$$x_{jl} = t l_{jl} + a_j, \quad y_{jl} = t m_{jl} + b_j, \quad z_{jl} = t n_{jl} + c_j \quad \dots (5)$$

となる。但し、

$$s = - \frac{(l_{ik}l_{jl} + m_{ik}m_{jl} + n_{ik}n_{jl}) \{ (a_j l_{jl} + b_j m_{jl} + c_j n_{jl}) - (a_i l_{jl} + b_i m_{jl} + c_i n_{jl}) \}}{(l_{ik}^2 + m_{ik}^2 + n_{ik}^2)(l_{jl}^2 + m_{jl}^2 + n_{jl}^2) - (l_{ik}l_{jl} + m_{ik}m_{jl} + n_{ik}n_{jl})^2} \quad \dots (6)$$

$$t = - \frac{(l_{ik}l_{jl} + m_{ik}m_{jl} + n_{ik}n_{jl}) \{ (a_i l_{ik} + b_i m_{ik} + c_i n_{ik}) - (a_j l_{ik} + b_j m_{ik} + c_j n_{ik}) \}}{(l_{ik}^2 + m_{ik}^2 + n_{ik}^2) \{ (a_j l_{jl} + b_j m_{jl} + c_j n_{jl}) - (a_i l_{jl} + b_i m_{jl} + c_i n_{jl}) \}} \quad \dots (7)$$

である。従って疑似交点 $P_{ikj1}$ として、これら2点の中点座標 $(X_{ikj1}, Y_{ikj1}, Z_{ikj1})$ を求め、最近点間の距離

$$D_{ikj1}^2 = (X_{ik} - X_{j1})^2 + (Y_{ik} - Y_{j1})^2 + (Z_{ik} - Z_{j1})^2 \quad \dots (8)$$

を、2直線の接近の尺度とする。

異なる画像の異なる特徴点間で全ての疑似交点 $P$ を求め、 $P$ の座標の近いものをクラスタリングし、それらの重心を特徴点の3次元位置とする。但し、重心を求める際には、点 $P_{ijk1}$ の重みを $(D_{ijk1} + 1)^{-1}$ とする。

### 3. 実験結果

カメラから約1 m離れた三角錐の各頂点を特徴点とし、10度毎に回転して得られた13枚の画像から、上記の方法により3次元位置を計測した。表1は各点の実験結果である。対応しない特徴点同士の逆投影線は明に最近点間の距離が大きくなり、容易に排除できた。最近点間距離が小さいクラスタの重心は、ほぼ実際の位置と同じになり、本手法の有効性が確認できた。

点	実験値 (mm)	実測値 (mm)	誤差 e	$ e /l$
A	( 0.33, 176.0, 151.8 )	( 0, 166, 150 )	( 0.33, 10.0, 1.8 )	0.0001398
B	( -0.27, 176.9, 1.23 )	( 0, 166, 0 )	( -0.27, 10.9, 1.23 )	0.000168
C	( -107.8, 66.84, -2.14 )	( -106, 66, 0 )	( -1.8, 0.84, -2.14 )	0.0000092
D	( 111.7, 70.60, -3.04 )	( 106, 60, 0 )	( 5.7, 10.6, -3.04 )	0.000167

表1 三角錐の各頂点の3次元位置計測結果 (lは対象点と回転角度0度におけるカメラとの距離)

### 4. まとめ

本方式により、空間内の孤立した特徴点については非常に精度良く3次元位置計測を行うことができた。本手法では直接逆投影交点を求めるため、検出精度がボクセルの分解能に拘束されない。今後、連続した特徴点についての計測実験を行っていく予定である。

- 文献 [1] 川原, 松島, 橋本, '逆投影法による多眼3次元計測の基礎実験', 1992春期信学全大 D-659, 1992  
 [2] 浜野, 安野, 石井, '空間へのVotingによる3次元環境情報抽出手法', 信学論 Vol. J75-D-II No.2, pp.342-350, 1992

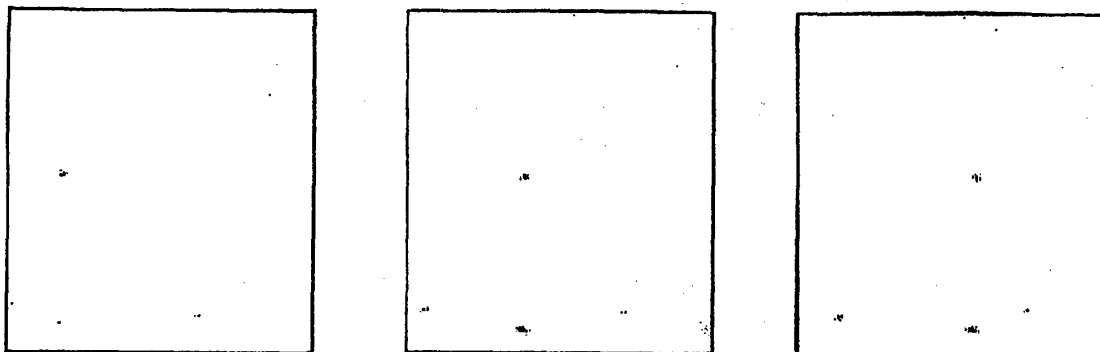


図2 原画像 (左から回転角20度, 0度, -20度)