

ステレオレンジファインダ

3N-2

河井 良浩 吉見 隆 富田 文明

電子技術総合研究所

1. はじめに

我々が開発した三眼のステレオカメラシステム（パタパタ）に線状レーザー光、X-Yステージ、回転台を組み合わせ、レーザーレンジファインダの機能を持たせた。これにより物体の全周データなどの三次元情報を容易に測定できるようになった。測定精度はステレオ法と同様で、誤差1mm以内である。また、ステレオベースのレンジファインダであるため、回転台などのキャリブレーションは円錐を使い簡単に行える。本発表では、システムとキャリブレーション方法などについて説明する。

2. システム

本システムは三次元情報を能動的に測定できるステレオビジョンシステム^①である。水平にカメラが三台配置され、各カメラのズーム、フォーカス、アイリス、輻輳運動、および、カメラを支える雲台のパン、チルトが計算機から制御可能となっている。現在このシステムを利用して、境界線表現のステレオビジョンシステムの開発を行っている。自由曲面がある物体などの認識におけるモデル生成においては、面情報を得る必要もある。そこで線状レーザー光、X-Yステージ、回転台を付加し、レンジファインダの機能も有するようにした。回転台はX-Yステージ上に配置されており、これらも制御可能で、可動範囲、最小移動量、速度はそれぞれ（±155mm, 0.01mm, ~100mm/sec.）、（無制限, 0.00166°, ~20°/sec.）である。ステレオ視に基づくレンジファインダであるため、煩雑であるレーザー光に関するキャリブレーションを行う必要がない。三次元復元は、レーザー光部分を対応点として左右のカメラの対応点の視差から三次元位置を計算するステレオ法である（図2）。測定方法として、

- 1) 回転台の回転による全周囲データ測定
- 2) Xステージの移動によるデータ測定
- 3) レーザー光の回転によるデータ測定

A Range Finder System Based on the Stereo Vision System
 Yoshihiro Kawai, Takashi Yoshimi, and Fumiaki Tomita
 Electrotechnical Laboratory
 1-1-4, Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan
 e-mail: kawai@etl.go.jp

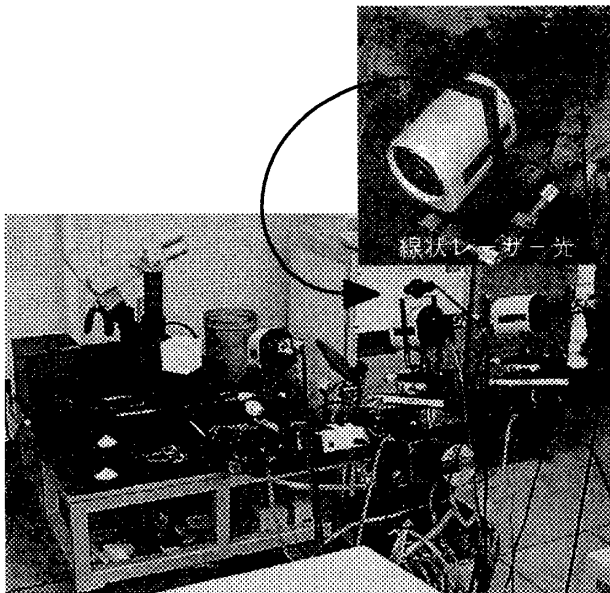


図1. ステレオカメラシステム - パタパタ -

の三通りが可能であり、対象物体に応じて使い分けることが可能である。

3. キャリブレーション

3.1 カメラシステム

カメラの内部パラメータの計算は色々な方法があるが、大きさが既知の立方体を観察することで容易に行うことができる。ピンホールカメラを仮定した場合、パラメータはカメラ座標系の原点（自由度：3）と方向（3）、焦点距離（1）、撮像面から画像面への変換（6）があるが、区別できないものが2つあるので、そ

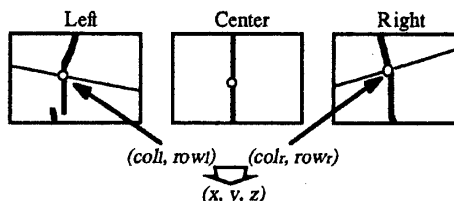


図2. 三次元復元

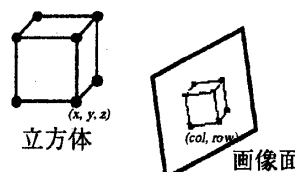


図3. カメラキャリブレーション

の自由度は11となり、三次元空間上の点 (x,y,z) と画像面上の点 (col,row) は以下の関係式が成り立つ。

$$\begin{pmatrix} col \\ row \end{pmatrix} = \frac{1}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}z + h_{34}} \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$H = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \end{pmatrix}, \quad \|H\| = 1$$

実際の測定では図3のように大きさが既知の立方体を観測し、画像から立方体プリミティブを検出して観測可能な7つの頂点位置を求める^[2]。この7組の (col, row, x, y, z) から最小二乗法により H を計算する。

ステレオ法においては、左右のカメラの H から標準ステレオカメラモデルに変換し、対応探索や距離計算を行う。

3.2 回転台、X-Y ステージ

図4は回転台、X-Y ステージのキャリブレーション方法を示したものである。

回転台のキャリブレーションは円錐を用いて行う。回転台上のある点の軌跡から回転軸を求めることができるが、任意の回転角で常に観測できる点と考えた場合、画像上において自己オクルージョンが生じず、常に一定の形状に見える円錐の頂点が適している。画面上におけるこの円錐の頂点位置をテンプレートマッチングで検出し、そこに二直線を当てはめ、交点を頂点として正確に計算する。左右の画像において頂点位置が求まれば、その三次元座標は求めることができる。本手法では軸のずれに対する安定性を高めるために、二つの円錐頂点の軌跡から回転軸を求めている。10°刻みで測定した回転軸の実測値は、位置: $(-0.13, 0.14, 0.00)$ 、方向: $(-0.00, -0.00, 1.00)$ 、そして誤差は 0.19mm 、 0.05° である。

X-Y ステージのキャリブレーションも同様に、移動するステージ上の円錐頂点の軌跡を計算し、X, Y 軸方向のベクトルを計算している。

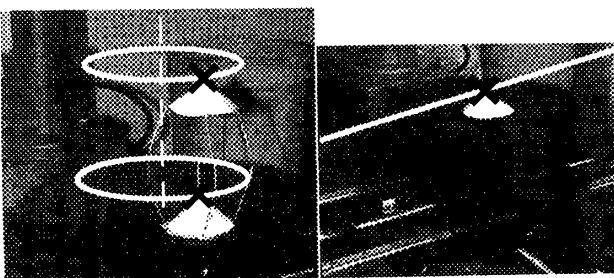


図4. 回転台、X-Y ステージのキャリブレーション

4. レンジデータ

図5は対象物体と、その三次元形状復元結果(全周囲データ、 0.5° 刻みで測定)である。左右のカメラ間距離: 627.5mm 、対象までの距離: 1468.3mm において、復元精度はステレオ法と同じで 1mm 以内である。

5. おわりに

三眼のステレオカメラシステムにレーザーレンジファインダの機能を持たせたシステムを開発し、対象物体に応じた三次元情報を測定できるようになった。ステレオ視によるレンジファインダであるため、システムのキャリブレーションは容易に行える。測定精度はステレオ法と同様で、誤差 1mm 以内である。また、円錐を利用することで、回転台、X-Y ステージのキャリブレーションを簡単に行えることも示した。

本システムを認識のためのモデル自動生成に活用する予定である。しかし、モデルとしてこの形状データを利用するには、底面といった全周囲データでも一回の測定では不可能な場所はあるため、他の視点から(物体の置き方を変えて)測定し、これらのデータを文献 [3,4] などの方法で統合し、完全な形状モデルにする必要がある。

今後は注視点変更、ズーム機能などシステムの機能をフルに活用することにより、より詳細、正確な三次元データを自動測定できるようにする予定である。

参考文献

- [1] 河井他: "ステレオカメラシステム - パタパタ -", 情処学シンボ (MIRU'94), II, pp.127-134 (Jul. 1994).
- [2] 高城他: "プリミティブ認識によるカメラキャリブレーション", 96年信学春総大, 2, D-578 (Mar. 1996).
- [3] 河井他: "多視点レンジデータからの3次元形状復元", 信学論, J75-D-II, 4, pp.737-748 (Apr. 1992).
- [4] 樋口他: "複数視点レンジデータからの3次元物体モデル構築", 信学技法, PRU95-43, pp.49-56 (Jun. 1995).



図5. レンジデータ