

単眼カメラを用いたコンパクト 3D スキャナ — Hough 変換の適用 — *

5 K-8

松本 幸則 リッタール・ディテール 杉本 和英 荒川 勉†
三洋電機 (株) 東京情報通信研究所 ‡

1 はじめに

近年、コンピュータ上で 3 次元画像の取り扱いが極めて一般的になっている。しかし、3 次元データ入力時の問題として、1: 多大な労力が必要、2: 装置が大規模かつ高価という点が指摘されている。

われわれは、簡便かつコンパクトな 3 次元画像入力装置として、単眼カメラを用いた 3 次元スキャナを開発してきた [2, 3]。本スキャナでは、回転テーブルを利用し、物体全周画像入力を行っており、回転テーブルと単眼カメラとの座標変換パラメータ獲得処理 (キャリブレーション) が必要となっている。

今回、3 次元スキャナの実用性および汎用性を高めるため、上記の座標系変換パラメータ獲得方法として、Hough 変換を利用した手法を新たに提案する。以下、その手法について説明するとともに、本スキャナの実用性として、回転テーブルを用いない 3 次元スキャナについて述べる。

2 3 次元スキャナとキャリブレーション問題

本 3 次元スキャナの形状再構成アルゴリズムは Shape-from-Silhouette [1, 5] に基づいている。各視点画像から得たシルエットは、物体形状を与える制約と見なすことができる。そこで、形状再構成処理では、ボクセル空間に対し、各視点からシルエットに対応するボクセルに対しボーティング処理を行なう (図 1)。

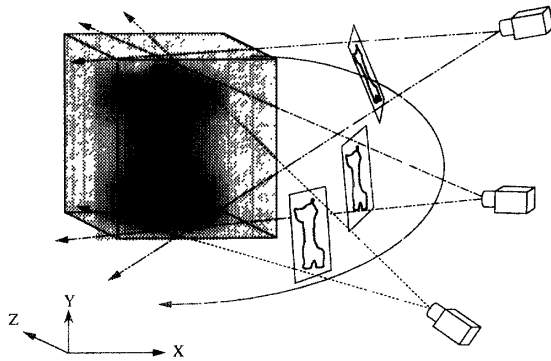


図 1: ボーティング処理

このボーティング処理では、一般にボクセル空間に対するカメラ視点情報が必要である¹。

*A compact three dimensional scanner using a monoscopic camera — an application of the Hough transform —

†Yukinori MATSUMOTO, Dieter RITTER, Kazuhide SUGIMOTO, Tsutomu ARAKAWA

‡Tokyo Information & Communication Research Center, SANYO Electric Co., Ltd.

¹カメラレンズ光軸の水平設定を前提とし、カメラ視点算出処理を不

文献 [2, 3] における 3 次元スキャナでは、規則的ボタンを配置したキャリブレーションブロックを用い、回転テーブルと単眼カメラとの座標変換パラメータの他、焦点距離、撮像面からフレームバッファへの変換パラメータおよびカメラ光軸も含めた 11 のパラメータを求める方法 [6] を採用していた [2]。しかし、この方法では、誤差の影響からデータが極めて不安定になるという問題があった。特に、カメラレンズ光軸パラメータは不安定となり、結果として信頼できる座標変換パラメータが得られないという問題があった。

また、後述のように、回転テーブルを利用しない 3 次元スキャナにおいて、カメラ視点検出に利用する際、撮影視点に対して制約をあたえる (任意視点からの撮影に対応できない) という問題もあった。

3 Hough 変換による座標変換パラメータ獲得

Hough 変換による座標変換パラメータ獲得については文献 [4] に詳説している。ここでは概略を記す。

1. 既知参照ボタンを配置した参照物体を撮影。
2. 画像から参照ボタン抽出
3. 画像参照ボタンと内部の参照ボタンデータの全組合せについて当てはめ、座標変換パラメータを Hough 空間 $(x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)$ に投票する。
4. Hough 空間からピーク値を抽出し、座標変換パラメータを得る。
5. 上記パラメータを初期値とし、最小二乗法 (Levenberg-Marquardt 法) により最終座標変換パラメータを得る。

以上のステップで、参照物体座標とカメラ座標との変換パラメータが得られる。

なお、本スキャナでは回転テーブルを利用した物体画像入力を行なっているため、ボクセル空間を回転テーブル座標系に基づいて設定する。したがって、回転テーブルと単眼カメラとの座標変換パラメータを求める必要があり、さらに以下の処理を行なう。

1. 一定角度毎に回転テーブルを回転しつつ、参照物体を撮影 (360 度全周分)
2. 各角度毎に Hough 変換により座標変換パラメータを計算
3. 参照物体座標の原点、および参照物体座標系で同一のベクトルの軌跡を平均化し、回転軸ベクトルおよび回転中心を計算

要とした手法も考えられる。しかし、この方法では、対象物体形状に応じたカメラ視点の設定が困難であり、その結果、推定形状に誤差が大きくなる他、物体表面方向によっては良好なテクスチャ情報獲得が困難な場合がある。

4 実験結果

玩具を対象とし、本スキャナを用いて3次元データを作成した。図2に物体画像および生成された3次元データを示す。ここで、(a)(b)(c)はそれぞれ俯瞰撮影画像、およびそのモデリング結果（ワイヤフレームおよびテクスチャ）、(d)(e)(f)は水平撮影画像、およびそのモデリング結果である。

これらの比較から、以下のことがいえる。

- テクスチャデータに関しては、対象モデル顔面付近において、俯瞰撮影画像を用いた方が良好な結果が得られている。
- モデリング形状に関しては、水平撮影画像を用いた方が良好な結果を得ている。

適切な撮影角度は、入力対象の形状に依存するため、複数の撮影角度からの結果を統合することで、更に良好なモデリング結果を得られると考えられる。

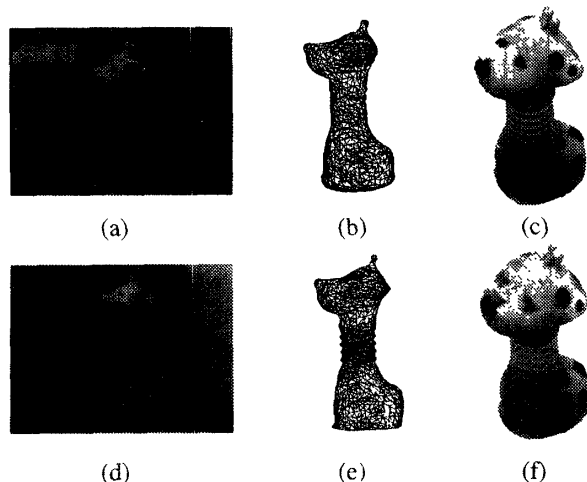


図2: 生成3次元画像例

5 回転テーブルを用いない3次元スキャナ

本手法を発展させることにより、回転テーブルを用いない3次元スキャナが実現できる。すなわち、参照物体（参照シート）を土台とし、その上に入力対象物を載せて種々の角度から撮影する（図3）。参照物体座標に基づき、ボクセル空間を設定すれば、ボクセル空間に対する撮影視点および角度がHough変換から得られるため、形状推定が可能となる。

Hough変換の長所は、

- 一部の参照パターンが物体により隠されてもパラメータ獲得に支障を来さない。
- 参照パターン以外のものが参照パターンであると誤認識されてもパラメータ獲得に支障を来さない。

というロバスト性にある。したがって、このような回転テーブルを用いない3次元スキャナにおいては、Hough変換は極めて強力なパラメータ獲得手法といえる。

なお、回転テーブルを用いない場合、シルエット抽出処理に工夫が必要となる。回転テーブルを用いる3次元スキャナでは、背景が不変であるという前提で、画像間差分と領域分割を組み合わせたシルエット抽出法を採用していた。しかし、回転テーブルを用いない場合、背景は変化するため、別の手法が必要となる。この方法とし

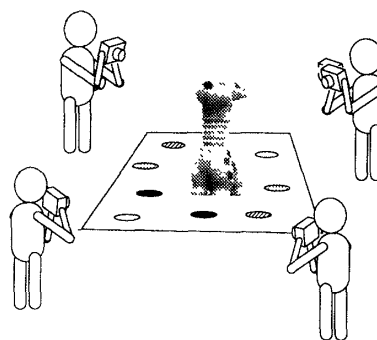


図3: 回転テーブルなしの3次元スキャナ入力

て、例えば、ステレオ法と領域分割を併用したシルエット抽出法などが考えられる。この他、各撮影視点から判明していることから、多眼ステレオアルゴリズムを適用することも可能であろう。

6 おわりに

3次元スキャナシステムにおいて必要となる、回転テーブルとカメラ間の座標変換パラメータ計算手法に関し、Hough変換を用いた手法について報告した。また、その将来展開として回転テーブルを用いない3次元スキャナが実現できることについて述べた。

これらは単眼カメラを用いた簡易かつコンパクトな3次元スキャナシステムを実現する上で極めて重要な技術である。特に後者は回転テーブルを不要とすることから、極めて安価な3次元スキャナを実現し、一般のPCユーザが個人的に3次元スキャナを購入できるようになる。

現在、本スキャナは、複数のカメラ視点に基づいて得た複数の立体モデルを統合する機能（registration機能）を持っていない。この機能を付加することで、より精度の高いモデル生成が実現できると考えられる。また、回転テーブルを用いない極めてコンパクトなスキャナを実現するため、ステレオ法と領域分割を併用したシルエット抽出についても開発を進める予定である。

参考文献

- [1] P.Giblin and R.Weiss: "Reconstruction of Surface from Profiles", ICCV, pp.136-144, 1987
- [2] 松本, 寺崎, 杉本, 荒川: "単眼カメラを用いた3次元スキャナ", 第53回情報全大, pp.2-285-286, 1996
- [3] Y.Matsumoto, H.Terasaki, K.Sugimoto, T.Arakawa: "A Portable Three-dimensional Digitizer", Proc. Int. Conf. Recent Advances in 3D Imaging and Modeling, pp. 197-204, 1997
- [4] D.Ritter, Y.Matsumoto, K.Sugimoto, T.Arakawa: "Reliable Localization of a "Flying-TV-Camera" in 3D for Shape Reconstruction", 第55回情報全大, 1997
- [5] 佐藤, 藤田: "局面物体の形状測定と記述", 信学論, Vol.162-D-II, No.1, pp.1-7, 1979
- [6] 高橋, 富田: "ロボットビジョンのためのカメラキャリブレーション", ロボット学会誌, Vol.10, No.2, pp.177-184 (1992)