

汎用イメージスキャナを用いた 高精度三次元形状測定に関する研究

周藤 一浩[†] 齋藤 豪[†] 張 英夏[†] 中嶋 正之^{†‡}

[†]東京工業大学 大学院 情報理工学研究科 [‡]国立情報学研究所

1 はじめに

近年、三次元物体の形状および色情報を計算機上で再構成する研究が盛んに行われている。しかしながら、従来三次元形状測定に用いられている三次元スキャナはシステムの値段や複雑さから、一般の人が手軽に利用できるとは言い難い。そこで本論文では、汎用イメージスキャナを用いた手軽かつ安価な高精度三次元再構成手法を提案する。まず汎用イメージスキャナを用いた形状表面の凹凸推定手法及びそれに基づく三次元形状生成手法を提案・評価し、提案手法が従来手法より測定精度が向上していることを示す。次に、スキャナ特性によって生じる陰を除去するテクスチャ合成手法を提案し、得られたテクスチャを形状表面にマッピングし、レンダリングする手法を提案する。

2 三次元形状測定手法

2.1 三次元測定原理

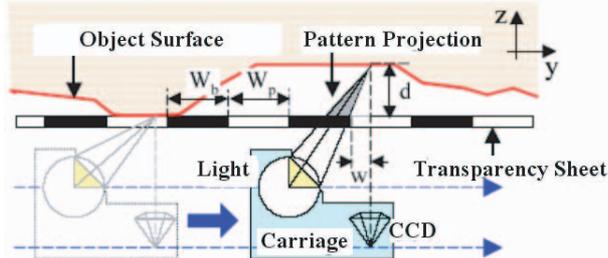


図 1: 撮影物体の深さによる影の生成原理

本稿では文献 [1][2] に従い、スキャナ面と対象物体の間に、一定間隔で CCD センサに平行な縞パターンが複数印刷されたトランスペアレンシーシートを挟んでスキャンを行う。図 1 は汎用スキャナの機構を横から見た図である。光源による照射光はトランスペアレンシーシート上の縞パターンを介することにより、対象物体の表面形状に応じた影が現れる。その影幅を計測し、スキャナの光源モデルを利用することで物体表面の深さを求めることができる。

2.2 影幅推定

精度よく物体表面の深さを求めるためには、撮影画像に生じる影幅を正確に推定する必要がある。そこで、本稿では縞パターンが印刷されたトランスペアレンシーシートを介して撮影した画像 I_1 と、無印刷のトランスペアレンシーシートを介して撮影した画像 I_2 に対して除算を適用し影画像を抽出する。 I_1, I_2 の同一点の座標の輝度値を除算することで、物体の色や、光源の影響による影の現れ方の違いを少なくすることができ、影領域が安定して抽出できる利点がある。

次に背景除法で前処理をした画像に対して図 6 のように影領域を追跡し、以下のようにして影幅を求める。

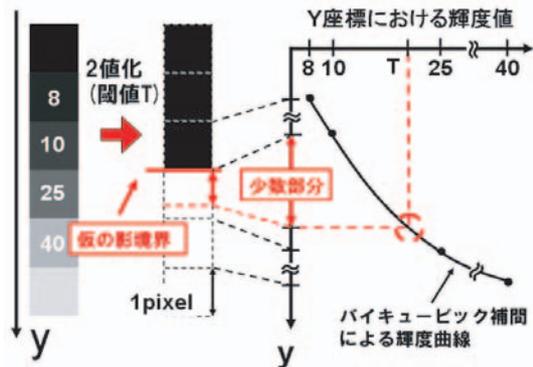


図 2: サブピクセルの推定方法

1. 適当な閾値 T を決め、ある x 座標に対して仮の影境界の y 座標を決定する
2. 影領域と非影領域の値をバイキュービック法によって 4×4 近傍の周辺ピクセルを用いて補間する。
3. 補間値が閾値 T と一致する座標を求め、小数部分を y 座標に追加する。

このようにして求めた端点と縞パターンの直線との距離を影幅として適用することにより、影幅を実数値で求めることができる。

2.3 画像の統合

前節までで述べたように、撮影画像の影幅から物体表面の深さを推定することができる。しかし、一枚のスキャン画像からだけでは、対象物体の全体的な形状を計測するには不十分である。そこで、本稿では物体の撮影位置を少しずつ平行移動し、 n 回撮影するのに加えて、それぞれ 90 度ずつ回転した 4 方向からの合計 $4 \times n$ 枚を撮影し対象物体の点座標を推定した。さらに、得られた点群座標をある格子にあてはめ、格子内の中央値を取ることでノイズを除去した。本手法に

High-resolution 3D shape reconstruction using a flatbed scanner

Kazuhiro SUDO[†], Suguru SAITO[†], Youngha CHANG[†], and Masayuki NAKAJIMA^{†‡}

[†]Graduate School of Information Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

[‡]National Institute of Informatics

よって得られた点群データを高さマップとして表示した結果を図3(b)に示す。撮影対象としては、旧1円貨幣を用いた。従来手法[2]で問題となっていた、図3(a)に示すような縞状のノイズが除去されていることが確認できる。

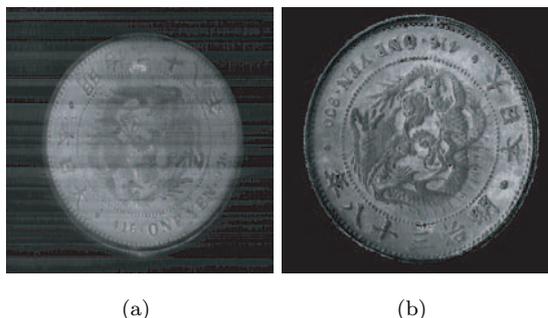


図3: (a) 従来手法による高さマップ (b) 本手法によって得られた点群に対する統計処理後の高さマップ

3 テクスチャの取得

汎用スキャナで撮影した画像をテクスチャとして利用する際、撮影対象の幾何形状によって生じる影や、鏡面反射は除去することが望ましい。そこで本稿では、以下のようにしてテクスチャ合成を行ない影および鏡面成分の除去されたテクスチャを生成する。

1. 45度ずつ8方向から対象物体をテクスチャとして撮影し、回転・平行移動により座標を基準へと合わせる。
2. L値の大きすぎる点は鏡面成分、小さすぎる点は影成分と判断し、L値が設定した閾値以下(以上)の点を除去する。
3. 同一座標のピクセル内を明度(Luv空間におけるL値)によってソートする。
4. 得られた同一座標の各明度値において、L値の中央値をテクスチャとして取得する。

本手法により出力されたテクスチャ画像を図4(b)に示す。影成分および鏡面成分が除去されているのがわかる。

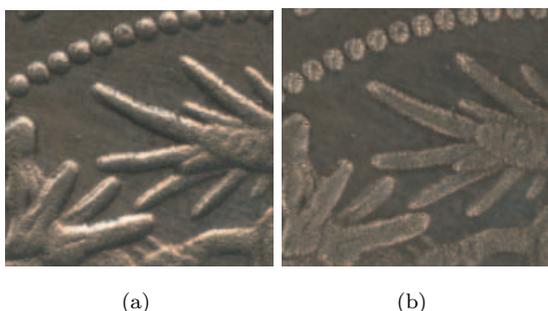


図4: (a) ある方向からテクスチャとして撮影した8枚の入力画像のうちの1枚 (b) 本手法により出力されたテクスチャ画像

4 実験結果

4.1 形状測定の精度評価

精度評価用の測定対象としてアクリル板に球状のくぼみがある物体を用意した。この測定物体は、多様な法

線および深さが存在し、また形状の真値が分かっているため形状の精度評価に適することから選択した。位置の評価、測定対象が球状であることを利用し球の中心からの距離の実寸値 $R = 19.05(mm)$ を本手法による計測値 R' と比較することで行った。文献[2]の精度評価と、本手法を用いて影幅推定した際の精度評価を表1に示す。本論文の手法を用いることによって精度が向上することが示された。

表1: 距離の評価結果

| Resolution(dpi) | 文献[2] | 本手法 |
|------------------------|-------|--------|
| 解像度 (dpi) | 1200 | 1200 |
| 計測点数 (点) | 73241 | 184956 |
| 計測値 R' 平均 (mm) | 18.91 | 18.97 |
| 絶対誤差平均 $ R - R' $ (mm) | 0.14 | 0.08 |
| R' 最大誤差 (mm) | 0.19 | 0.13 |
| R' 分散 | 0.022 | 0.0053 |

4.2 レンダリング結果

本手法によって得られた点群データからメッシュを生成し、点群から計算した法線を利用しシェーディングした結果を図5に、法線マップを用いて得られたテクスチャと共にレンダリングした結果を図6に示す。

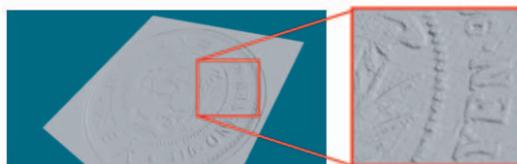


図5: シェーディング結果

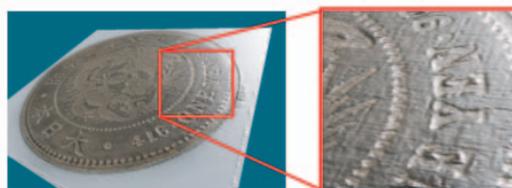


図6: マッピング結果

5 おわりに

本稿では文献[2]の縞パターン光投影法を用いた、高精度な物体表面までの深さ推定手法を提案し、実際に精度が向上することを示した。また、スキャナで撮影した複数の画像からテクスチャを取得する手法について述べ、それをマッピングすることでレンダリングを行なった。今後の課題として反射パラメタの推定などがある。

参考文献

- [1] 山口晃弘, 齋藤豪, 高橋裕樹, 中嶋正之: “イメージスキャナを用いた超高精細3次元再構成”, 電子情報通信学会総合大会, p. 317 (2004).
- [2] K. Sudo, A. Yamaguchi, S. Saito, H. Takahashi and M. Nakajima: “High-resolution 3d shape reconstruction and evaluation using a flatbed scanner”, IWAIT2006, pp. 779-784 (2006).