

縮小光学系を考慮したフラットベッド型イメージスキャナによる 超高精細三次元再構成

周藤 一浩¹ 齋藤 豪² 高橋 裕樹² 中嶋 正之^{2,3}

¹ 東京工業大学 工学部

² 東京工業大学 大学院 情報理工学研究科

³ 国立情報学研究所

1 はじめに

近年、有形・無形の貴重な文化遺産をデジタル情報の形で記録、保管し、誰もが自由に閲覧・鑑賞できるようにするデジタルアーカイブと呼ばれる構想が提唱されている。そこで、有形の対象の三次元と色の情報をデジタル化し、計算機上で再現、つまり三次元再構成する研究が盛んに行われている。しかし、従来の三次元スキャナなどを用いた三次元構成手法は、システムの値段や複雑さから、一般の人が手軽に三次元再構成できるとは言い難い。そこで、筆者らは、一般的なフラットベッド型イメージスキャナと縞パターンが印刷された透明シートを用いて手軽に物体の三次元再構成をする縞パターン光投影法 [1] を提案した。縮小光学系を考慮すると、スキャナ中央から離れた点の物体投影を補正でき、スキャナ面の広い範囲を使って精度良く物体を三次元再構成できる。本稿では、縮小光学系の光学特性を得るために、一本の角棒のスキャン画像を処理することで、簡便かつ高精度に焦点位置を求め、求めた焦点位置を用いて縮小投影を補正するモデルを提案する。

2 三次元再構成手法

フラットベッド型イメージスキャナでは、光源が主走線上の対象物体を照射し、CCD センサで二次元画像を得る。そして、Charge Coupled Device (CCD) センサを移動させながら二次元画像の系列を撮影することで、二次元画像を得ている。このことに着目して、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書かれた透明シートを挟んでスキャンを行う。すると、図 1 に示すように光源による照射光は透明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 w を計測することで、物体の高さ d を求めることができる。影幅と対象物体までの深さの関係は、近接照明下の条件を考慮した光源のモデル [2] により導出する。1 度のスキャン

High-resolution 3-D reconstruction using a flatbed image scanner with reduction optics

Kazuhiro SUDO¹, Suguru SAITO², Hiroki TAKAHASHI², and Masayuki NAKAJIMA^{2,3}

¹School of Engineering, Tokyo Institute of Technology

²Graduate School of Information Science & Engineering, Tokyo Institute of Technology

³National Institute of Informatics

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ので、縞パターン光の投影位置を少しずつ変化させて複数回撮影し、その複数画像から得た二次元座標上での高さ情報を統合することで全体の高さ情報を得る。そうして得られた三次元空間の計測点群を Delaunay 三角形分割により、サーフェスモデルを作成し、また色情報は、二次元座標空間上における画素を三次元空間にテクスチャマッピングし、三次元再構成を行うことができる [1]。

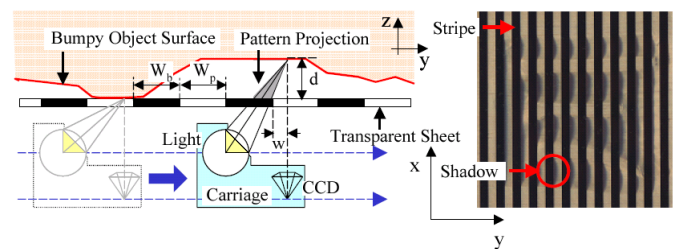


図 1: 縞パターン光投影法

3 縮小光学系の影響

一般的なフラットベッド型イメージスキャナは線光源を用い、対象物体への反射光をある一点の焦点に集めることで像を形成する縮小光学系で構成されている。焦点はガラス面に対して深く、またキャリッジの中央付近にある。そのため焦点から離れた位置で撮影された高さを持つ物体は実際の物体と比べて歪んで投影される [3]。ここで、焦点から r 離れた位置で高さ d の物体をスキャンすると、実際の位置とスキャンで得られる位置は異なる。図 2 より焦点の深さを h とすると、実際の位置は、

$$\Delta r = \frac{rd}{h} \quad (1)$$

だけ、焦点の方向に近付いた位置に補正される。そこで d は文献 [1] の手法により求め、 Δr を算出し、歪みの補正を行う。その結果、スキャナ中央から離れた位置でも、物体を三次元再構成することが可能となる。

4 焦点位置の計測手法

焦点位置を推定するために高さが既知のアルミ棒を用いる。アルミ棒をスキャンしたときに縮小光学系の

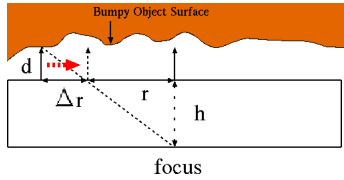


図 2: 縮小光学系による歪みの補正

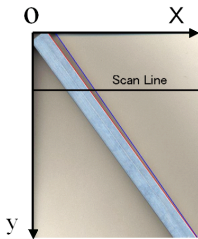


図 3: 12mm アルミ棒画像

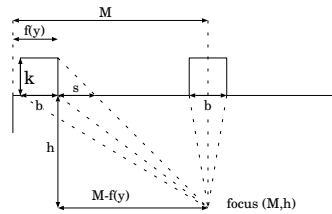


図 4: スキャナ断面図

影響で側面像がスキャンされることを利用する．ここでアルミ棒をスキャナ面に対して斜めに置くことによって，1回の計測を行うだけで焦点からの距離が異なる位置での縮小光学系の影響を，同時に読みとることが可能となる．図3のように x - y 座標を定義すると，焦点が位置する画像の中央付近から， $-x$ 方向に比例して黒い側面の像が写っているのが分かる．図4に示すように，スキャナキャリッジ方向の断面を考えると，縮小光学系により側面の投影がモデル化できる．スキャナ中央付近に位置する物体の像は底面による像 b だけであり側面は投影されない．しかし焦点から離れた位置では底面 b 以外に側面の像として幅 s の像ができることが分かる．焦点の深さを h ，原点から x 方向への焦点の距離を M ，アルミ棒の高さを k ，アルミ棒までの距離を $f(y)$ とすると次式の関係が成り立つ．

$$s(k+h) = k(M-f(y)) \quad (2)$$

4.1 側面像の計測

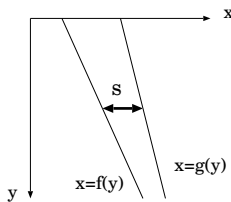


図 5: 2つの関数からなる側面像

図3において，アルミ棒による線を $x = f(y)$ ，側面の高さによる線を $x = g(y)$ として図5のようにモデル化すると，側面像の幅は

$$s = g(y) - f(y) \quad (3)$$

である．ここで $f(y)$ はアルミ棒の形状的特性から直線である．また (2)，(3) 式から s を消去すると，次式を

得る．

$$g(y) = \left\{1 - \frac{k}{k+h}\right\}f(y) + \frac{kM}{k+h} \quad (4)$$

$f(y)$ は一次式なので，(4) 式から $g(y)$ は一次式であることが示される．そこで，その2本の直線を代表的な直線の検出手法であるハフ変換を用いることで定式化し，(2) 式から焦点位置 (h, M) を求めることができる．

4.2 実験結果

本実験では，フラットベッド型イメージスキャナとして EPSON 製品の GT-9800F を用いた．高さ 12mm と 8mm のアルミ棒を用意し，解像度 600dpi でスキャンしたそれぞれの画像に対して処理を行い，(2) 式を用いて h と M の一次式を算出した．その2つの式を解いて得られた焦点位置の推定結果は

$$h = 43.79, M = 112.80 \quad (\text{単位: mm}) \quad (5)$$

となった．図6は，4章で得られた値を使い，3章で示した補正を2章の手法に適用した結果である．測定対象はアクリル板に球状のへこみのある物体を用いた．

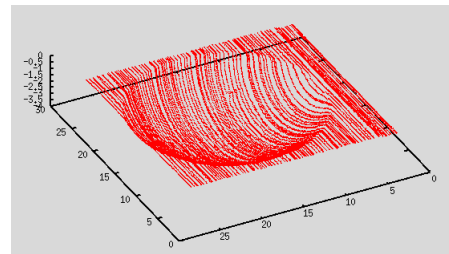


図 6: 球状のへこみを持つ物体の三次元形状

5 今後の課題

縞パターン光投影法では，スキャナの解像度をあげて撮影するだけで容易に精度をあげることが可能となる．そこで高解像度において，精密な物体を撮影したとき，本手法における距離分解能を求めることが今後の課題である．

6 おわりに

本稿では一本の角棒のスキャン画像を処理するだけで，簡便にスキャナの仮想的な焦点位置を推定し，その情報を元に縮小光学系の影響による歪みを補正するモデルを提案した．これによりスキャナ面の広い範囲を用いても縮小光学系の影響を受けることなく物体の三次元再構成が可能である．

参考文献

- [1] 山口 晃弘, 他: “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, D-12-151, 2004.
- [2] 和田 俊和, 他: “イメージスキャナを用いた書籍表面の 3 次元形状 (I)”, 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J77-D-II, No.6, pp. 1059-1067, 1994.
- [3] Richard Schubert: “Using a Flatbed Scanner as a Stereoscopic Near-Fied Camera”, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 20, No. 2, pp. 38-45, (2000).