

回転台を用いる文化財の三次元形状計測手法

古明地 彩乃 花泉 弘

法政大学情報科学部

1 はじめに

現在まで、文化財や遺跡、芸術作品などを取り扱う分野において三次元形状計測は測量、記録、サービスなど、様々な目的のために行われている [1][2]. たとえば大英博物館では、所蔵している文化財の三次元形状計測ならびに 3D モデル化を行い、オンラインの 3D データ共有プラットフォームである Sketchfab 上で公開しいつでもどこからでも閲覧可能になっている [3]. このような三次元形状計測を行う手法には、レーザセンサによる測定や、カメラを用いた Structure from Motion(SfM) がある [4][5][6].

本研究では、回転台を用いることで容易に高い精度で小規模な文化財の三次元形状計測を行う手法を提案する. 回転台の上に対象を設置し、それを固定したカメラで撮影した画像群を入力として、画像座標点と三次元座標点とが射影変換の関係にあることを利用し三次元形状計測を行う. 本手法では大量の入力画像を簡便に撮影することが可能である. また、対象が回転していることから隣接している画像間での同一点判定が容易になる. 文化財の例として、仏像のレプリカを用いて実験を行う.

2 原理と処理手順

本手法では、射影変換によって画像上の座標点を三次元座標点に変換することでワールド座標上の三次元形状計測を行う. 本手法で用いられる装置の構成を図 1 に示す. ワールド座標の原点は回転台の中心とし、画像座標の原点は画像中心におく. 回転台の上に対象を設置し、それを固定したカメラで撮影する. はじめに既知の三次元座標点 (X, Y, Z) をもつキャリブレーション用の対象を撮影して、各フレームの画像座標 u, v を取得し、それらを用いて射影変換のパラメータを推定する. つぎに、推定されたパラメータを用いて三次元形状を計測する対象の画像座標点を三次元点に変換する. 以下に、回転している対象を固定したカメラで撮影した場合における、画像座標上の点とワールド座標上での三次元点

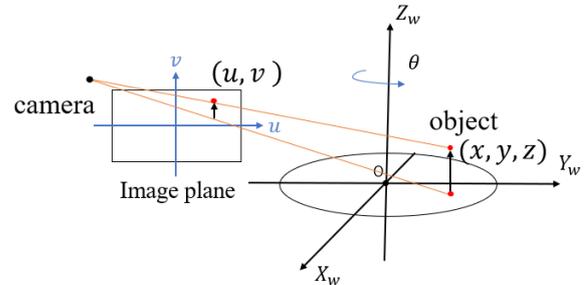


図 1 キャリブレーションの概要図

を対応付ける射影変換の式を示す.

$$X'(\theta) = X \cos \theta - Y \sin \theta, \quad Y'(\theta) = X \sin \theta + Y \cos \theta \quad (1)$$

として,

$$u(\theta) = \frac{C_1 X'(\theta) + C_2 Y'(\theta) + C_3 Z + C_4}{C_9 X'(\theta) + C_{10} Y'(\theta) + C_{11} Z + 1} \quad (2)$$

$$v(\theta) = \frac{C_5 X'(\theta) + C_6 Y'(\theta) + C_7 Z + C_8}{C_9 X'(\theta) + C_{10} Y'(\theta) + C_{11} Z + 1} \quad (3)$$

式 (2),(3) から、重回帰分析を用いてパラメータ推定および三次元形状計測を行う.

3 実験および考察

実際に射影変換のパラメータ推定並びに三次元形状計測を行った. 射影変換のパラメータはカメラ位置毎に固有であるため、パラメータ推定のための装置と三次元形状を計測する対象は、カメラ位置を固定して撮影した. 計測された点群は ply 形式で出力し、3D データ編集ソフトである MeshLab[?] を用いて点群の表示を行った.

3.1 パラメータ推定

三次元座標が既知の物体として、長さの異なる三本の竹串を用いた. 竹串の先端をキャリブレーション用の基準点とし、回転台上に設置した. それぞれの位置は $(X, Y, Z) = (31, -31, 182), (-51, -51, 148), (-49, 21, 123)$ となった. 単位は mm である. この装置を俯瞰で撮影する Top camera, 正面から撮影する Middle camera, あるいは撮影する Bottom camera の三台のカメラで撮影し、各カメラごとの射影変換のパラメータを求めた. 竹串の頂点の画像座標点はテンプレートマッチ

A Method for Measuring 3D Shape of Cultural Properties Using A Rotating Table
Ayano Komeiji, Hosei University
Hiroshi Hanaizumi, Hosei University



図2 Middle camera によって測定された仏像の三次元形状

ングによって推定した。竹串の先端を画像中心にした 64×64 ピクセルの画像をテンプレート画像とした。2680 フレームから 21000 フレームまでの 18320 枚の画像を 10 フレームおきに処理した。回転角は、2680 フレームを 0 度としそこからフレーム数から求めた。取得した画像座標と回転角、三次元座標から、重回帰分析を用いてパラメータを推定した。

3.2 仏像のレプリカの三次元形状計測

文化財の例として、本実験では仏像のレプリカを用いて三次元形状計測を行った。均一の密度で三次元形状情報を得るために、撮影された仏像上に格子点を設定しそれらの点を追跡した。格子点を中心として 7×7 ピクセルの正方形に分割し、その中心 (u_n, v_n) を各正方形ごとに保持する。分割した画像をテンプレート画像として、回転している対象を撮影しているため、近いフレーム間の同一点は近くにあることを利用し、次フレームの (u_n, v_n) を中心とした 15×15 の範囲でマッチングを行う。マッチングした箇所を新たな正方形として処理を繰り返す。10 フレームおきの画像において追跡を行ったが、300 フレームごとに基準とする格子点を設定しなおした。再構築結果を重ね合わせることで仏像全体を復元した。

点群数は Top camera が 26535 個、Middle camera が 20770 個、Bottom camera が 19064 個であった。Middle camera での計測結果をもとに作成した点群を図 2 に示す。どの程度の精度で三次元形状が計測できているかを確かめるために、仏像の一部をノギスで計測した値と、その部分のポイントの三次元位置間のユークリッド距離を比較した。ポイントは図 3 に示す A~H の計 8 点である。結果を表 1 に示す。この計測値を正解データとして推定値との RMSE を算出したところ、 1.2mm となり、多少大きめの結果となった。これはパラメータ推定時に使用した竹串の位置が十分に正確ではなかった影響が含まれていると考えられる。

4 おわりに

本研究では、文化財の三次元形状を射影変換を用いて計測する手法を提示し、仏像のレプリカを用いて実験をおこない、三次元形状を誤差 1.2mm 程度の点群で出力することができた。

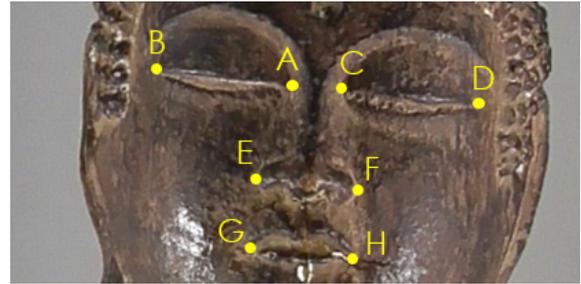


図3 評価に用いた仏像上の点

表1 仏像の測定値と推定値

	実測値[mm]	推定値[mm]
A - B	22.6	24.6
C - D	10.1	10.1
A - C	19.7	18.2
E - F	15.6	15.9
G - H	17.8	18.6

サービスとして文化財をオンライン上で公開するような場合には、より密な点群、もしくはメッシュを張った 3D モデルである必要がある。そのためには、射影変換パラメータ推定法の高精度化が必要である。また、出力された点群から外れ値を認識して除去する手法の開発や、Top camera, Bottom camera における対応点追跡手法の改良などは今後の課題である。

参考文献

- [1] Davide Tanasi, Michael Decker, Kaitlyn Kingsland, Rebekah McLaughlin, 「The virtualization project of John Ringling's Ca'D' Zan at the Ringling Museum of Art」『2018 3rd Digital Heritage International Congress』
- [2] 野口淳, 「三次元データの可能性 -活用と課題-」, 『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 2』
- [3] 大英博物館, 「The British Museum」, <https://sketchfab.com/britishmuseum>
- [4] Johannes L. Schonberger, Jan-Michael Frahm, 「Structure-from-Motion Revisited」, 『2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition』
- [5] Hainan Cui, Shuhan Shen, Xiang Gao, Zhanyi Hu, 「Batched Incremental Structure-from-Motion」, 『2017 International Conference on 3D Vision』
- [6] 前田尚活, 内山英昭, 長原一, 谷口倫一郎, 複数のカメラモデルのための Structure from Motion の構築『情報処理学会研究報告』Vol2017-CVIM-206, No.3
- [7] 「MeshLab」, <https://www.meshlab.net/>