

デジタル画像を用いた三次元形状モデリング

中央大学 学生員 ○ 田中 隆裕
中央大学 正会員 櫻山 和男
J I P テクノサイエンス株式会社 正会員 丹羽 量久
J I P テクノサイエンス株式会社 正会員 和田 眞禎

1. はじめに

近年、デジタルカメラの普及に伴い、写真測量におけるデジタル化が進み、リアルタイムな画像取得が可能となった。また、構造物の幾何形状を取得するため、デジタル画像を用いた可搬で非接触な三次元画像計測法^{1) 2)}が北村らによって提案されモデル化された。この手法により、小規模な構造物の形状モデリングが行われ、その有効性が確認されている。

本研究では、その手法を比較的大規模な構造物の形状モデリングに応用することを検討する。本来、構造物の形状モデリングは、CAD データを用いて行うことが一般的であるが、CAD データが存在しない場合の形状データ取得方法として、このデジタル画像を用いた手法が一手法として有効であると考えられる。

2. システム概要

三次元画像計測法を用いて高精度な計測を行うための手順を図 - 1 に示し、概要を述べる。

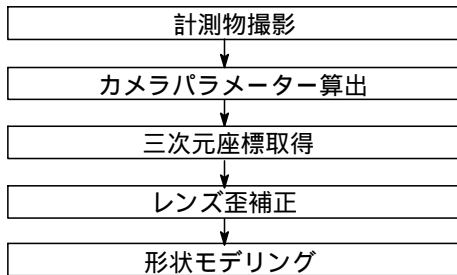


図 - 1 三次元画像計測フローチャート

(1) 計測物撮影

デジタルカメラを用いて図 - 2 のようにカメラ位置は固定せず、任意に構造物を撮影する。また、得られた画像からカメラパラメーターを求める際に必要となる計測点のカメラ座標(図 - 3 参照、以後ラスタ座標と称する)を求める。撮影した左右の画像から同一点を取得出来るよう、撮影時には計測間距離を大きめにとり、手ぶれには気をつけるよう注意した。

本研究では、民生用のデジタルカメラで有効画素数が 320 万画素のものを使用した。

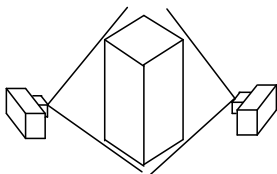


図 - 2 撮影方法

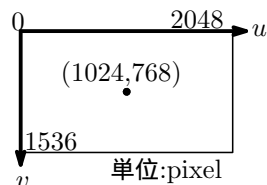


図 - 3 ラスタ座標

(2) カメラパラメーター算出

図 - 4 のように左右の画像からラスタ座標 (U, V) と基準座標上での既知座標 (X, Y, Z) の組み合わせを作成する。今回は、 x, y, z 軸上でそれぞれ 3 点取り、合計 9 組の組み合わせを作成した。計測点 (X', Y', Z')

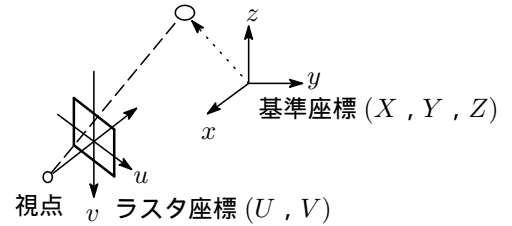


図 - 4 対応関係

カメラパラメーター算出の基礎方程式を式.(1) に示す。

$$\lambda \begin{bmatrix} U \\ V \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 C_{ij} 行列を「カメラパラメーター」と呼び、位置、姿勢、画角などのカメラに関するデータがすべて含まれる。

式.(1) にあるカメラパラメーター C_{ij} を幾何校正³⁾することにより、三次元画像計測が可能となる。式.(1) の定数 λ は、3 列目より、

$$\lambda = C_{31}X + C_{32}Y + C_{33}Z + C_{34} \quad (2)$$

と表され、これを式.(1) に代入すれば、次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} C_{11} - C_{31}U & C_{12} - C_{32}U & C_{13} - C_{33}U \\ C_{21} - C_{31}V & C_{22} - C_{32}V & C_{23} - C_{33}V \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{34}U - C_{14} \\ C_{34}V - C_{24} \end{bmatrix} \quad (3)$$

いま、基準座標系において、9 組の点の三次元座標と、それに対応するカメラのラスタ座標が既知とするならば、 C_{34} を 1 とし未知数を減らすことによって C_{ij} の関係式が以下のように得られる。

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_9 & Y_9 & Z_9 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_9 & Y_9 & Z_9 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -X_1U_1 & -Y_1U_1 & -Z_1U_1 \\ -X_1V_1 & -Y_1V_1 & -Z_1V_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -X_9U_9 & -Y_9U_9 & -Z_9U_9 \\ -X_9V_9 & -Y_9V_9 & -Z_9V_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{11} \\ C_{12} \\ \vdots \\ C_{32} \\ C_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ \vdots \\ U_9 \\ V_9 \end{bmatrix} \quad (4)$$

KeyWords: デジタルカメラ、可搬性、簡易操作性、計測精度、形状モデリング

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 E-mail: dark-man@kc.chuo-u.ac.jp

(3) 三次元座標取得

計測点 (X', Y', Z') は、左側のカメラ画像ではラスタ座標 (U_L, V_L) に射影され、また、右のカメラ画像ではラスタ座標 (U_R, V_R) に射影される。カメラにより撮影されたラスタ座標を式(3)に代入すると、次式が得られる。

$$\begin{bmatrix} L_{11} - L_{31}U_L & L_{12} - L_{32}U_L & L_{13} - L_{33}U_L \\ L_{21} - L_{31}V_L & L_{22} - L_{32}V_L & L_{23} - L_{33}V_L \\ R_{11} - R_{31}U_R & R_{12} - R_{32}U_R & R_{13} - R_{33}U_R \\ R_{21} - R_{31}V_R & R_{22} - R_{32}V_R & R_{23} - R_{33}V_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{34}U_L - L_{14} \\ L_{34}V_L - L_{24} \\ R_{34}U_R - R_{14} \\ R_{34}V_R - R_{24} \end{bmatrix} \quad (5)$$

ここで、 L_{ij} と R_{ij} は左右それぞれのカメラパラメーターであり、 (U_L, V_L) と (U_R, V_R) は計測点の左右のラスタ座標である。これにより、三次元座標 (X', Y', Z') が取得可能となる。

(4) レンズ歪補正

カメラの特徴として、レンズ歪がある。レンズ歪は、画像中心から離れるほど大きくなり、精度に大きく影響する。算出された三次元座標も歪補正を行うことにより、精度向上が期待される。

レンズ歪に影響されない理想的な画像上におけるラスタ座標を求め、この補正したラスタ座標と補正する前のラスタ座標の差から、歪補正パラメーターを算出する。式(5)で求めた三次元座標に歪補正パラメーターを乗じ、補正された三次元座標が算出される。

3. 実構造物への適用に向けて

(1) 適用例

適用例として、今回は図 - 5、図 - 6 のような構造物を想定したサンプルを用いて三次元形状データを取得した。構造物の3辺を基準座標系となるよう x, y, z 軸として設定し、ラスタ座標 (U, V) と既知座標 (X, Y, Z) を取得できるように目盛りを打った。これにより、実構造物に適用した場合にデジタルカメラのみの使用で三次元座標が取得可能となる。また、実構造物には基準座標系となる目盛り等の目印をつけることが出来ないため、構造物の窓等の特徴を利用することにより基準座標系を持たせることが可能となる。

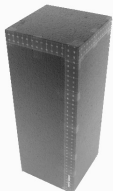


図 - 5 カメラ画像 (左)

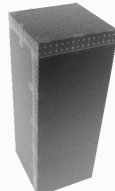


図 - 6 カメラ画像 (右)

(2) 計測精度

実際に、計測精度について実測値と歪補正後のデータで比較した。結果から基準座標上では比較的精度が向上したが、逆に画像中心から離れた点や構造物の奥に位置する点では精度の悪い部分が発生した。この理由としては、レンズ中心部分では歪が最も少ないので比較的精度良い結果が

出るが、中心から離れるほど、歪が増し歪補正パラメーターが大きな影響を与えていると考えられる。表 - 1 に計測結果を示す。

表 - 1 歪補正計測結果

軸	実測値 (cm)	計測値 (cm)	精度 (%)
x	3.00	2.95	1.69
	6.00	5.88	1.97
	12.00	11.92	0.67
y	3.00	2.93	2.19
	6.00	5.87	2.09
	12.00	11.92	0.70
z	9.00	8.97	0.32
	21.00	21.00	0.01
	36.00	36.00	0.01

(3) 形状モデリング

三次元座標を点データとして AutoCAD⁴⁾ に読み込み、形状を作成し、メッシュ生成ソフトである ICEMCFD により要素生成を行った。有限要素分割図を図 - 7 に示し、拡大図を図 - 8 に示す。

今回用いたサンプルのような対称な形状であれば、画像に写っていない裏側の形状も AutoCAD の機能を用いることにより作成可能となる。また、非対称な形状の場合、すべての形状が把握できるように撮影し計測を行い、AutoCAD 上で結合することで可能となる。

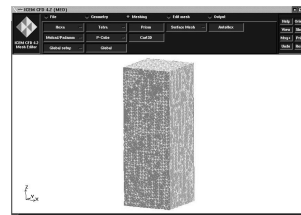


図 - 7 有限要素分割図

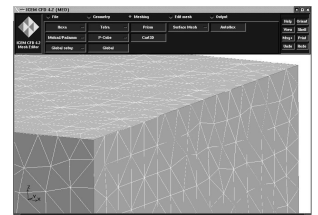


図 - 8 拡大図

4. おわりに

本研究では、デジタル画像から構造物の形状モデルを作成する方法について検討し、以下のような結論が得られた。

- デジタル画像を用いて構造物の情報を取得し、三次元形状モデリングが可能となった。また、可搬性に優れているため、構造物の情報を容易に取得することが可能となった。
- 実測値に近い精度を求めるため歪補正を行ったが、精度が上がらない部分が発生した。この理由として、計測段階での誤差やカメラレンズの歪が影響していると考えられる。

今後の課題

- 歪補正を再度検討し、精度向上に取り組む。
- 実構造物に適用し、形状モデルを作成する。
- 構造物の特徴点を取るための新たな方法を検討する。

参考文献

- 1) 北村匡範, 和田眞禎, 北田俊行, 山口隆司, 丹羽量久, 松田浩: 画像処理技術を用いた既設構造物の終局状態に至るまでの現象を可視化するシステムの開発, 土木学会第 57 回年次学術講演会概要集, 2002 年
- 2) 井口征士, 佐藤宏介: 三次元画像計測, 昭晃堂, 1990 年
- 3) 日本写真測量学会: 解析写真測量, 日本写真測量学会, 1983 年
- 4) 落合重紀: 新・DXF リファレンスガイド, 日経 BP 社, 1997 年