

全方位型マルチカメラシステムのキャリブレーションによる全天球動画の生成

池田 聖 佐藤 智和 横矢 直和

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

sei-i@is.aist-nara.ac.jp

1. はじめに

屋外環境の三次元モデル化[1]やテレプレゼンス[2]では、大規模な実環境を取り扱うため、複数のカメラを外向きに配置し全方向を高解像度で撮影できる全方位型マルチカメラシステムが、撮影手間や解像度などの点で有利である。全方位型マルチカメラシステムをこのような研究に利用するためには、精度の高いカメラ間のキャリブレーションが必要となる。このキャリブレーションは従来、システム全体を覆う没入型の大型スクリーンにマーカを投影することで行われてきた[3,4]。しかし、スクリーンにマーカを投影する方法では、各カメラに対して空間的にマーカを配置することができないため、精度の高いカメラ間のキャリブレーションが困難である。

そこで本稿では Point Grey Research 社製の全方位型カメラシステム Ladybug(図1左)を用い、大規模な装置なしにカメラ間のキャリブレーションを行なう手法を提案する。提案手法では、まず格子模様の板(以降マーカボードと呼ぶ)の三次元位置を三次元位置計測器(トータルステーション)により計測し、撮影することで幾何学的なキャリブレーションを行う。次に、光学的な補正を行う。実験では、キャリブレーションとその結果を利用した全天球動画の作成を行った結果を示す。

2. 全方位型マルチカメラシステムの

キャリブレーション

Ladybug は水平方向に 5 個、上方向に 1 個の CCD カメラを配置した小型カメラヘッド(図1左)と HDD アレイによる蓄積ユニット(図 1 右)により構成され、全方向の約 75%以上を動画像(15fps)として撮影できるシステムである。本章では、各カメラの位置・姿勢と幾何学的歪みを補正する幾何学的キャリブレーション、及び明度低下現象とカメラ間の色調を補正する光学的キャリブレーションについて述べる。

幾何学的なキャリブレーションでは、各カメラの幾何学的なパラメータである内部パラメータ(焦点距離、レンズ歪み、投影中心、アスペクト比)と外部パラメータ(カメラの位置、姿勢)の推定を行なう。これらを推定するために Ladybug の全方向に配置された三次元位置関係が既知のマーカを使用する。マーカにはマーカボード上の格子点を用い、その三次元位置はマーカボードの 4 隅をトータルステーションで計測した値から線形補間によって決定する。マーカボードは図 2 に示すように各カメラの光軸方向に移動させ、その都度三次元位置の計測とマーカボードの撮影を行なう。このようにカメラに対してマーカを空間的に配置することで推定精度の向上を図る。全てのカメラでマーカボードを撮影し終わるまで、トータルステーションにより張られる世界座標系を統一することで、Ladybug の全方向にマーカを配置するのと同様のデータを得ることが出来る。

こうして得られたマーカの三次元位置とその画像上の座標から各カメラの内部及び外部パラメータの推定を行う。内部パラメータは、Tsai [5]の手法で推定する。外部パラメータは、佐藤ら [1]の手法を用い、画像上の再投影誤差が最小となるように最適化する。

光学的なキャリブレーションは、明度低下現象の補正とカメラ間の色調補正を行う。まず明度低下現象は、広角レンズに有効な $\cos^4 \theta$ 現象の補正[6]を行う。次に、カメラ間の色調補正について述べる。一般的に撮像面上の放射照度は物体表面の放射輝度に対して線形的な関係を持つとされている。そのため 照明条件を固定して同じシーンを撮影した画像間は線形な輝度変換で一致するはずである。そこであるカメラの画像と他のカメラの画像の輝度に関する正規化ヒストグラムを一致させることにより色調補正を行う。



図1: Ladybug のカメラユニットと蓄積ユニット

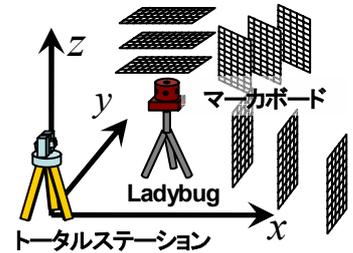


図2: マーカボードの配置

3. 実験

提案手法の有効性を確認するために、実際に Ladybug のキャリブレーションを行ない、全天球動画を作成した。マーカボードの撮影は各カメラの光軸方向に約 1m 間隔で 3 段階移動させて行い、その三次元位置は LEICA 社製のトータルステーション TCR1105 を用いて計測した。これにより得たデータから提案手法により幾何学的及び光学的キャリブレーションを行った。6 枚の画像の張り合わせによって作成した全天球画像を図 3 に示す。図 3 から、全天球画像での位置ずれや入力画像間の境界は目立たず、幾何学的にも光学的にも概ね正しくキャリブレーションが行なえていることが分かる。

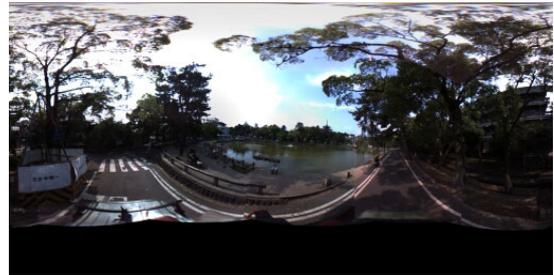


図3: 生成した全天球動画の 1 フレーム

4. まとめ

本稿では、全方位型マルチカメラシステム Ladybug に対して、大規模な装置なしにカメラ間の幾何学的及び光学的なキャリブレーションを行なう方法を提案した。提案方法では、トータルステーションとマーカボードを用いることで、容易に十分な数のマーカを空間的に配置し、精度の良いキャリブレーションを行なうことが可能である。実験では、実際に Ladybug のキャリブレーションを行ない、全天球動画を作成することで、キャリブレーション結果を確認した。

参考文献

- [1] T. Sato et al., "Dense 3-D Reconstruction of an Outdoor Scene by Hundreds-baseline Stereo using a Hand-held Video Camera", Int. Jor. of Computer Vision, Vol.47, Nos.1-3, 2002.
- [2] 山澤ら, "全方位画像からの視線追従型実時間画像生成によるテレプレゼンス", 信学論, Vol. J81-D-II, No. 5, pp. 880-887, 1998
- [3] 戎野ら, "円筒パターンを用いた全周ステレオ画像センサのキャリブレーション手法", 日本 VR 学会第 4 回大会論文集, pp. 211 - 212, 1999.
- [4] 棚橋ら, "全方向ステレオシステム(SOS)のキャリブレーション手法", 映情誌, Vol. 56, No. 4, pp. 603-610, 2002.
- [5] R. Y. Tsai, "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3d machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses", IEEE Jor. of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No. 4, pp. 323-344, 1987.
- [6] B. K. P. Horn, Robot Vision, MIT Press, 1986

