

レンズ中心を一致させた多眼カメラによる全天球動画撮影システムの構築

神原 利彦[†] 菊地 智[†] 関 秀廣[†]

[†] 八戸工業大学大学院 電気電子・情報工学専攻

1 序論

山澤ら [1] の提案した単眼の全方位カメラは、水平方向 360° の幅広い視野を持つカメラとして知られ、様々な分野で応用されている。だが、単眼のため、全体的に解像度が低いという問題点があった。廣田ら [2] は、1 台のラインスキャンカメラとそれを回転させる機構を用いて高解像度な全方位画像（全天球画像）を撮影する手法を提案した。だが、その手法では、1 枚の撮影時間が 11 秒と長く、動画の撮影はできない。一方で Ikeda ら [3] は複数台のカメラから同時に撮影した動画を球面上で貼り合わせて高解像度な全天球動画を生成する手法を提案した。だが、カメラそれぞれのレンズ中心の位置が分散しているため、近くの物体が 2 つのカメラから撮影されると視差が大きくなりうまく貼り合わせることができないという問題点があった。遠藤ら [4] は多眼のカメラをアレイ状に並べてレンズ中心が別々の場所にあっても、唯一の点をレンズ中心とする全天球画像を ViewMorphing の応用で生成する手法を提案した。だが、この手法では複数カメラで撮影された画像間での対応付けが必要で、処理時間を要す問題や隠れによる誤対応が発生するため矛盾のない動画が生成できない。

筆者ら [5][6] は、たとえ近くの物体を写しても視差を発生させないようにするため、複数台のカメラのレンズ中心すべてを唯一の点に一致させることで、この問題を解決する手法を提案した。本論文は、その続報である。

隣り合うカメラのレンズ中心の位置を精密に一致させるために、従来手法 [5][6] では、AR-Toolkit を使っていたが、精度に問題があったので改善する。

2 手法

2.1 レンズ中心を移動させる原理

カメラのレンズ中心はその名の通りレンズの中心に位置しているため、レンズの物理的な大きさが邪魔をして、2 台のカメラのレンズ中心を単純に一致させることはできない。だが鏡を使うことで、「レンズ中心のみかけの位置」を鏡に対して対称な位置へと移動させることが一般に知られている。この原理を応用し、26 台の画角 45° の中心射影カメラと 25 枚の鏡を並べ

て水平方向 360°、垂直方向 180° のすべての視野を覆い尽くすように画像を撮影するシステム [5] を筆者らは設計し提案した。その鏡とカメラの配置を図 1 に示す。同時に鏡とカメラを空中に固定するためのフレームも設計し、製作した。

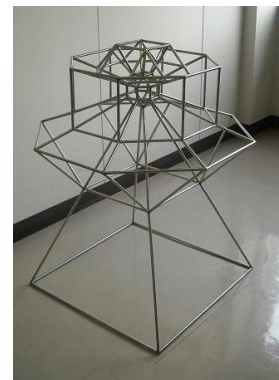
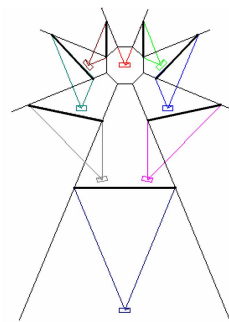


図 1: 断面図とカメラ固定用のフレーム

2.2 レンズ中心を一致させるための従来手法

光学的に正確に、2 つの隣り合うカメラのレンズ中心を一致させるためには、互いのレンズ中心の 3 次元的なずれ量を計測できなければならない。このずれ量の計算と表示のために、AR-Toolkit を利用する方法を [5] で提案した。AR-Toolkit とは AR マーカーと呼ばれる形状や模様が既知の平面マーカーのカメラへの写り方からカメラを基準とした座標系におけるマーカーの並進量と回転量を推定するソフトウェアである。

平面上に 2 つの AR マーカーを並べたキャリブレーションボードを用意し、2 つの隣り合うカメラでそれぞれの AR マーカーを撮影し並進量と回転量を算出する。その後、キャリブレーションボードを基準とした座標系におけるそれぞれのカメラ座標系の原点（レンズ中心）を逆計算で求め、その位置の差からずれ量を算出する手法を提案した。だが、この手法では、AR-Toolkit によって推定される並進量と回転量の両方に大きな誤差があるため、精密な位置合わせができないという問題点があった。また、45° 以上の画角を持つカメラの多くがレンズ歪みによって画像が歪むため、レンズ歪みを考慮して推定しなければ正確なずれ量が求まらないという問題点もあった。

2.3 レンズ中心を一致させるため改良手法

従来手法における推定精度が悪い問題点を解決するために、画像処理ライブラリ OpenCV でも実装されている Zhang の手法 [7] を用いて、カメラの内部パラメータおよび外部パラメータを推定する。チェス盤の

Development of a Spherical Movie Capturing System with Multiple Cameras Whose Lens Centers are Set at a Unique Point

Toshihiko KANBARA[†], Satoshi KIKUCHI and Hidehiro SEKI[†]

[†] Doctor of Program in Electronic, Electrical and Information Engineering, Graduate School Program of Hachinohe Institute of Technology

031-8501, Hachinohe, Japan

{kanbara, m11201 and seki}@hi-tech.ac.jp

ような白と黒の正方形が交互に配置された模様を同一平面上に2つ並べたものを新たなキャリブレーションボードとする。図2にそのキャリブレーションボードとカメラA座標系(赤色)、カメラB座標系(青色)、マーカーA座標系(緑色)、マーカーB座標系(赤紫色)を示す。キャリブレーションボードの左側を写した多数

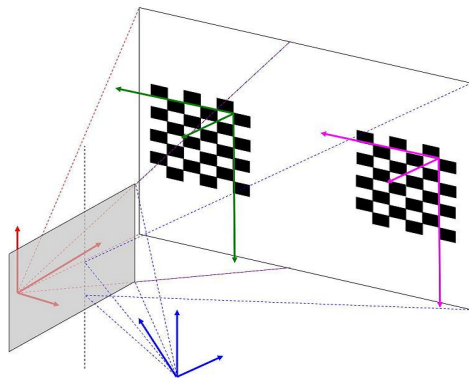


図2: キャリブレーションボード

の画像からカメラAの内部パラメータを推定する。同様の手法でカメラBの前に鏡(灰色)をおいて左右反転させてからキャリブレーションボードの右側を写した多数の画像からカメラBの内部パラメータを推定する。カメラAでキャリブレーションボードの左側を、鏡で反転させたカメラBでキャリブレーションボードの右側を、撮影し、それぞれで外部パラメータを算出する。以降は、従来手法と同様に、逆計算でマーカーA座標系を基準にしたカメラAのレンズ中心位置とマーカーA座標系Bを基準としたカメラBのレンズ中心位置を逆計算で求め、差をずれ量とする。

2.4 動画像を取りこむ手法

本研究では、動画像を撮影することを前提としているので、26台のカメラからの動画像を同時に1台のPCに取り込まねばならない。帯域の広いIEEE1394カメラを使うことで、同期をとりながら26台のカメラからの動画像データを非圧縮で伝送することができる。2系統のIEEE1394bボード4枚に対し、4口増設HUBを7個取り付け、HUBから26台のIEEE1394カメラを接続する。

2.5 画像を球面に投影する手法

Zhangの手法[7]を用いて算出された内部パラメータを用いることで、レンズ歪によって歪んだ画像を補正できる。26台すべてのカメラの動画像を補正した後に、球面へと投影し貼り合わせる。カメラのレンズ中心は一致させているので、基準座標系における*i*番目カメラが設置されている座標系のオイラー角を $(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i)$ とすれば、そのカメラ上の*j*番目の点 (u_j, v_j) の色は、以下の式で変換された球面座標の式で求められた球面座標 (θ_{ij}, ϕ_{ij}) の点に塗られる。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_i & \sin \gamma_i & 0 \\ -\sin \gamma_i & \cos \gamma_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta_i & \sin \beta_i \\ 0 & -\sin \beta_i & \cos \beta_i \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \alpha_i & 0 & \sin \alpha_i \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha_i & 0 & \cos \alpha_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ f \end{bmatrix}$$

$$\theta_{ij} = \tan^{-1} \left(\frac{x}{z} \right), \quad \phi_{ij} = \tan^{-1} \left(\frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}} \right)$$

3 実験

3.1 カメラ台の製作

図1右に示したCGのカメラフレームに対し、アクリル製の鏡25枚とPointGrayResearch製のIEEE1394カメラFirefly MV26台を仮設置した。

3.2 オンラインでのずれ量検出

OpenCVのライブラリ関数を用いて、事前に25枚の画像を撮影しカメラの内部パラメータを算出した。さらにソフトウェアを改造し、カメラで取り込んだ画像からチェスボードの特徴点を検出し、外部パラメータと逆計算でレンズ中心のずれ量を算出するソフトウェアを作成した。推定している画面の例を図3左に、カメラ座標系をCGで模して表示している例を右に示す。

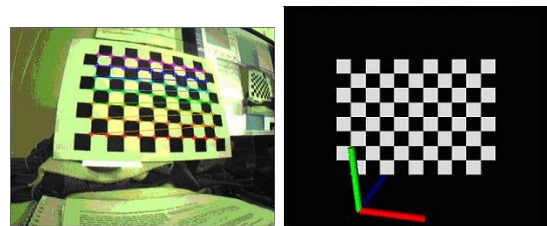


図3: カメラ座標系の推定処理とCG表示

4 結論

複数台のカメラすべてのレンズ中心を1点に一致させて、全天球動画像を撮影するシステムを構築する手法を提案した。チェス盤パターンからレンズ中心の位置を推定する手法を提案した。今後は、レンズ中心のずれ量を検出するソフトウェアを動作させながら、カメラの位置・姿勢を微調整する作業を進め、すべてのカメラのレンズ中心を一致させることを課題とする。

参考文献

- [1] 山澤ほか「移動ロボットのナビゲーションのための全方位視覚センサ」信学論 D-II, Vol. J79-D-II, No. 5, pp. 698-707, 1996
- [2] 廣田ほか「高精細全天球撮像システムの構築」日本VR学会第9回大会論文集, pp. 139-142, 2004.
- [3] S. Ikeda et. al. "High resolution panoramic movie generation from video streams acquired by an omnidirectional multi-camera system", Proc. of IEEE Int. Conf. on MFIIS, pp. 155-160, 2003.
- [4] 遠藤ほか「超多眼カメラによる全天周画像の再構成」情報処理学会論文誌 Vol. 43, No. SIG11, 2002.
- [5] 神原ほか「複数台のカメラすべてのレンズ中心を一致させた全天球動画撮像システムの開発」日本VR学会第14回大会論文集, 2009.
- [6] 菊地ほか「レンズ中心を一致させた多眼カメラによる全天球動画撮像システムの構築」平成23年度第3回情報処理学会東北支部研究会予稿集, 2011.
- [7] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 22(11):1330-1334, 2000.