

複数魚眼カメラの外部パラメータ推定における 校正マーカ特徴点の高精度抽出

中央大学 ○菱木 暁彦, 増山 岳人, 梅田 和昇

Detection of feature points for position and pose estimation of multiple fish-eye cameras

Chuo Univ. Akihiko HISHIGI, Gakuto MASUYAMA, Kazunori UMEDA

This paper presents estimation method of extrinsic parameters for multiple fish-eye cameras. Previous study estimates the extrinsic parameters based on corners of a cube-shaped calibration target. The corners are supposed to be detected manually, but it is cumbersome work and possibly reduces accuracy of estimation. To overcome this problem, we detect edges of the target, which intersect at the corners of the cube. The corner point is then semi-automatically estimated from the detected edges. The validity of the proposed method is verified using fish-eye images captured in an outdoor environment.

1. 諸言

近年, 自動車のドライバーによる周囲の視認を支援するための車載カメラシステムが普及してきている. 通常, 車載カメラの画像では, 距離感の知覚が難しいため, 複数のカメラから得られる画像を俯瞰画像に変換, 合成することで車両の周囲を容易に観測可能にするシステムが実現されている[1]. このシステムでは, 車両に搭載された複数の魚眼カメラが用いられる. 全周囲俯瞰画像を生成する際, 画像間のつなぎ目におけるずれを少なくするためには, それぞれのカメラの位置・姿勢 (以下, 外部パラメータ) を正しく算出することが重要である.

従来研究として, 立方体のターゲットの頂点に取り付けた校正マーカを用いて, 複数の魚眼カメラの外部パラメータを同時に推定する手法[2]がある. この手法では, 入力される校正マーカの位置情報が正確であるほど, 外部パラメータを精度よく推定できる. しかし, 校正マーカ位置の入力は手動で行われているため, 手間がかかると共に入力する人によって精度が異なるという問題がある.

本論文では, 立方体ターゲットの頂点座標を推定することで, 校正マーカを用いた特徴点入力を部分的に自動化する手法を提案し, 高精度な外部パラメータの推定を実現する.

2. 魚眼カメラの外部パラメータ推定手法

本論文では, Scaramuzza らが提案しているカメラモデル[3]を用いる. カメラモデルの概略を Fig. 1 に示す. 内部パラメータを既知とした 4 台の魚眼カメラを用いて, Fig. 2 に示すように各カメラの共通する視野領域内に配置された立方体のターゲットを撮影する. 立方体ターゲットの各頂点位置を入力特徴点とし, PnP 問題を解くことで, ワールド座標系におけるカメラの外部パラメータを推定する[2].

カメラの光軸をY軸に一致させ, ワールド座標系におけるカメラのピッチ角を α_{cam} , ロール角を β_{cam} , ヨー角を γ_{cam} , カメラの位置を $[X_{cam} Y_{cam} Z_{cam}]^T$ とし, カメラの外部パラメータ E を次のように定義する.

$$E = [X_{cam} Y_{cam} Z_{cam} \alpha_{cam} \beta_{cam} \gamma_{cam}]^T \quad (1)$$

外部パラメータの推定手順の概要を以下に示す.

- ・ 魚眼画像座標系における頂点座標 $m_{fi} = [u_i v_i]^T$ を入力点として取得する.
- ・ 任意の頂点座標を原点としたワールド座標系を設定し, ワールド座標系における頂点座標 $X_{wi} = [X_{wi} Y_{wi} Z_{wi}]^T$ と, 魚眼画像座標系に再投影した再投影点 m_{wi} を取得する.
- ・ m_{fi} と m_{wi} との再投影誤差の2乗和

$$D = \sum_{i=1}^N \|m_{fi} - m_{wi}(E, X_{wi})\|^2 \quad (2)$$

が最小となる外部パラメータ E を推定する. N は観測点数で

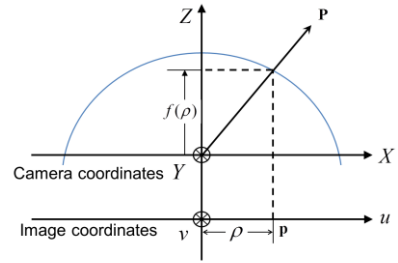


Fig.1 魚眼カメラモデル

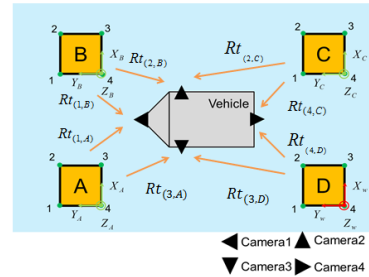


Fig. 2 校正環境および外部パラメータ

である. Fig. 2 に示すように, 頂点に対するカメラの位置姿勢 $Rt_{(i,j)}$ を用いると, ワールド座標系における頂点座標は

$$\begin{aligned} X_{wA} &= M_A X_A \\ X_{wB} &= M_B X_B \\ X_{wC} &= M_C X_C \\ X_{wD} &= X_D \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} M_C &= Rt_{(4,D)}^{-1} Rt_{(4,C)} \\ M_B &= M_C Rt_{(2,C)}^{-1} Rt_{(2,B)} \\ M_A &= Rt_{(3,D)}^{-1} Rt_{(3,A)} \end{aligned} \quad (4)$$

と表せる. ここで, i は頂点の番号 (1, 2, ..., 8), j は立方体のターゲット名 (A, B, C, D) である. また, Fig. 2 は, 接地している頂点 (1, 2, 3, 4) のみを示した俯瞰図である.

Table 1 本手法で特徴点を推定した場合の外部パラメータ誤差

Camera	$X[mm]$	$Y[mm]$	$Z[mm]$	$\alpha[deg]$	$\beta[deg]$	$\gamma[deg]$	D
1	0.0	0.0	5.5	-0.2	-1.6	-1.2	493.0
2	95.2	54.5	-70.6	2.4	-2.1	0.6	55.7
3	60.4	-150.7	37.4	-2.1	0.2	0.4	79.5
4	199.1	-91.5	6.1	-2.2	0.0	0.2	88.6

Table 2 手動で特徴点を入力した場合の外部パラメータ誤差

Camera	$X[mm]$	$Y[mm]$	$Z[mm]$	$\alpha[deg]$	$\beta[deg]$	$\gamma[deg]$	D
1	0.0	0.0	-0.1	-0.4	-2.3	1.5	2415.0
2	71.8	-81.4	2.1	1.9	-4.5	-0.1	42.2
3	-223.3	-331.3	-50.4	0.6	-2.3	-0.7	33.9
4	300.1	-252.5	-3.6	0.4	4.5	0.4	68.9

3. 入力特徴点の推定

頂点間を結ぶ直線を検出し、各直線の交点を特徴点として取得する。Fig. 3 に特徴点推定の手順を示す。それぞれの手順の詳細は以下の通りである。

まず、直線検出の前処理として、立方体ターゲットの抽出、魚眼画像の歪み補正を行う。立方体ターゲットの抽出では、背景差分処理を用いる。魚眼画像の歪み補正では、魚眼画像中の任意の領域を切り出して歪みのない画像へと変換（正像変換[4]）する。本手法では、背景差分によって得られた画像に対して、立方体ターゲットを含んだ領域を手動で切り出す。

次に、頂点間を結ぶ直線を検出する。まず、ハフ変換を用いて立方体ターゲットの各辺を構成するボールのエッジを抽出する。ボールは幅をもつため、同一の辺に対して複数の直線が検出される。そこで、検出された直線がどの辺に対応しているか分類する。ハフ変換では直線のパラメータが (ρ, θ) の極座標系として与えられる。本手法では、Fig. 4(a), (b)に示すように θ に関する閾値処理で直線を2種類に分類する。次に画像中心を通る u, v 軸に平行な2つの直線に沿って、検出された直線を探索する。直線が検出されない画素が閾値以上連続した場合、以降検出される直線は新たな辺に分類するものとする。例えば、Fig. 4(b)における直線を分類する場合には u 方向に探索すると直線群は4種類に分類される。同一の辺に分類された直線群の平均をとることで、直線を統合する。

最後に、統合した直線同士との交点を用いて入力特徴点を算出する。各頂点に対しては最大3点の交点が得られ、そこで、交点間の距離が閾値以下であれば同一の頂点の候補として分類する。各頂点候補について、分類された交点が2点以上存在する場合、画素値が0でない交点の平均を入力特徴点とする。

一連の処理を行った結果をFig. 4(c)に示す。なお本手法では、立方体ターゲットの全ての辺が検出されない場合、特徴点の候補が一意に定まらない。その場合には、手動で頂点候補を選択する必要がある、現時点では完全な自動化には至っていない。

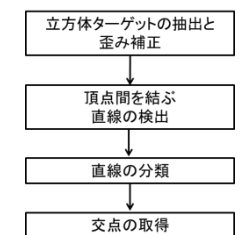


Fig. 3 特徴点推定の手順

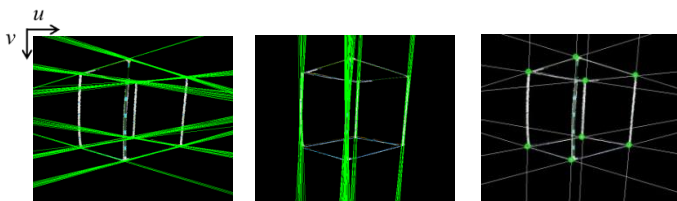


Fig. 4 Camera 1 からみた立方体 A の特徴点推定

4. 外部パラメータ推定実験

手動で特徴点を入力した場合と、本手法で特徴点を推定した場合との外部パラメータの推定誤差を比較することで本手法の有効性を検証した。なお手動の場合、入力するマーカーの位置のばらつきを減らすためにマーカー位置を3回ずつクリックした際の平均を入力点とした。実験には、自動車に搭載された4台の魚眼カメラによって撮影された画像を用いた。Table 1 に本手法で特徴点を推定した場合の外部パラメータの推定誤差を、Table 2 に手動で特徴点を入力した場合の外部パラメータの推定誤差を示す。

Camera 1 の再投影誤差の和 D が約 80% 減少したことによって、Camera 1~4 の D の総和は約 72% 減少した。そのため、外部パラメータの推定精度は向上したと考えられる。統合された直線がボールの中心軸を通っていれば、高精度な特徴点の推定を行うことができる。しかし、統合した直線の中にはFig. 5(a)に示すようにボールの中心軸を正確に通っていないものがあつた（Camera 1 からみた立方体 B）。これにより、推定精度が悪化していると考えられる。Fig. 5(b)にハフ変換に用いたエッジ画像を示す。差分処理の際、背景の画素値がボール部分の画素値と近い値をもっていたため、エッジが一部抽出されていない。そのため、ボールの片側だけに直線が抽出されてしまったと考えられる。

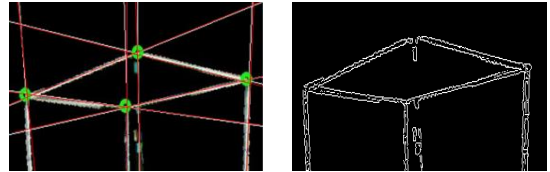


Fig. 5 ボールの片側だけに直線が抽出された場合

5. 結言

校正マーカー位置の入力を部分的に自動化することで、高精度に特徴点を推定する外部パラメータ推定手法を提案した。推定誤差を手動入力の場合と比較することで手法の有効性を示した。今後は評価関数を改良することによって外部パラメータ推定の更なる精度向上を目指す。

参考文献

- [1] 中野誠士, 李仕剛, 千葉則茂, “球面画像獲得のための魚眼カメラの校正,” 電子情報通信学会論文誌, D-II, Vol. J88-D-II, No.2, pp.1847-1856, 2005.
- [2] 岡本寛也, 田中祐輝, キアットアブデラズ, 下村倫子, 増山岳人, 梅田和昇, “校正マーカーを用いた複数魚眼カメラの外部パラメータ推定,” 精密工学会誌, Vol. 81, No. 2, pp.164-169, 2005.
- [3] Scaramuzza, D., Martinelli, A., and Siegwart, R., “A Toolbox for Easily Calibrating Omnidirectional Cameras,” Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2006), pp.5695-5701, 2006.
- [4] 森隆寛, 外村元伸, 大住勇治, 池永剛, “キュービク補間を用いた魚眼レンズ画像の高画質補正アルゴリズム,” 情報科学技術フォーラム一般講演論文集, Vol. 5, No.1, pp.7-8, 2006.