

偏光方向画像を用いた 全天空観測システムのキャリブレーション

浅野 隆[†] 加藤 文和[†]
[†] 静岡理工科大学理工学部電気電子工学科

1. はじめに

本研究は、画角 180°, 周囲 360° の全天空を観測するカメラのキャリブレーションと太陽位置の推定が目的である。従来のカメラキャリブレーション手法[1]では、視野角が広いとキャリブレーションパターンの設置が難しいという問題があった。そこで本研究では、偏光カメラを用いて大気による太陽光の偏光現象を利用したカメラキャリブレーション手法を提案する。この手法では、偏光カメラで撮影した画像の1画素1画素の偏光方向を特徴として利用するため、キャリブレーションパターンの設置が不要で、広い視野角にも容易に対応でき、また同時に画像上での太陽位置を推定することができる。

2. 大気による太陽光の偏光モデル

太陽光自体は偏光していないが、大気中のレイリー散乱によって偏光が生じる。レイリー散乱は、光の波長と比較して非常に小さい窒素分子や酸素分子による光散乱で図1に示すように散乱光は入射方向と散乱方向のなす平面に直行する方向に強く振動するため、A点とC点では同じ観測位置から見た偏光方向が異なる[2][3]。以上のことから、カメラと太陽の位置関係によって、観測される偏光方向が決まることが分かる。図2に偏光方向画像の例を示す。

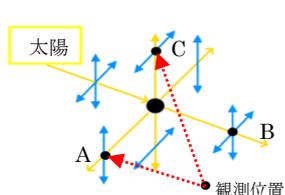


図1 太陽光の偏光モデル

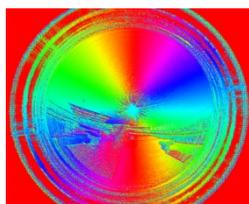


図2 偏光方向画像

3. カメラパラメータと太陽位置の推定

3.1 撮影画像からの偏光方向画像の作成

本研究で使用した偏光カメラは、隣接する4画素に45°ずつ異なる方向の偏光フィルタを備えたカメラである[4]。そこで、隣接4画素の輝度値から、次式を当てはめて、最小二乗法によりA, C, φ を算出し、偏光方向 φ の画像を生成した。偏光フィルタ角度を θ 、偏光方向を φ 、輝度値を I_θ とする。

$$A \cos^2(\theta + \varphi) + C = I_\theta \quad (1)$$

3.2 シミュレーション画像の作成

仮定するカメラパラメータに対し、画像上の各座標ごとにカメラからの視線ベクトルと太陽光線ベクトルの外積ベク

トルを求め、それを画像平面に投影したベクトルの方向を偏光方向として、偏光方向画像を生成した。

3.3 カメラパラメータの最適化

撮影画像から生成した偏光方向画像と、仮定したパラメータからシミュレーションにより生成した偏光方向画像の各画素の偏光方向のなす角を θ とし、 $\sin \theta$ の二乗平均値を誤差関数として、レーベンバーグマーカート法で最小化してパラメータを求めた。

4. 実験結果

初期値として、レンズのカタログ値から概算したパラメータを与え、太陽位置は画素値がオーバーフローした画素の重心からランダムに変化させた値を用いて1枚の画像に対して10種類の太陽位置の初期値を与えて最適化を行った。

表1に焦点距離、画像中心、太陽位置の初期値と推定値の平均と標準偏差を示す。結果をみると、最も標準偏差が大きい太陽位置でも標準偏差が横 2.47 ピクセルと縦 3.02 ピクセルで十分小さく解が安定していることが分かる。

表1 初期値と推定値の平均と標準偏差

	焦点距離(fx, fy)		画像中心(x, y)		太陽位置(x, y)	
初期値	262	262	612	512		
推定値 (平均)	246	280	616	517	872	181
標準偏差	1.51	1.35	0.342	0.503	2.47	3.02

5. 今後の課題

今後は、レンズ歪みと呼ばれる非線形の歪みパラメータの推定や従来法との精度比較などを行う予定である。

謝辞

本研究はJSPS 科研費基盤研究(B) JP17H01922の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] D. Scaramuzza, A. Martinelli and R. Siegwart, "A Flexible Technique for Accurate Omnidirectional Camera Calibration and Structure from Motion", *Fourth IEEE International Conference on Computer Vision Systems (ICVS'06)*, New York, NY, USA, 2006, pp. 45-45. doi: 10.1109/ICVS.2006.3
- [2] 太田浩一, "電磁気学の基礎II", 財団法人東京大学出版会, 2012
- [3] 宮崎大輔・池内克史, "偏光の基礎理論とその応用", 情報処理学会論文誌 コンピュータビジョンとイメージメディア Vol.1 No.1 64-72, 2008
- [4] ソニーセミコンダクタソリューションズグループ, "技術 | 偏光イメージセンサ", <https://www.sony-semicon.co.jp/products/IS/polarization/technology.html>, 最終閲覧日 2月4日