

# ステレオ全天球カメラを用いた人物追跡

松井佑太郎<sup>†</sup> 花泉弘<sup>†</sup>  
法政大学大学院情報科学研究科<sup>†</sup>

## 1. まえがき

全天球カメラを使用すると、通常のカメラの場合の撮影可能範囲を考慮せずに設置でき、少ない台数のカメラで広範囲の人物を追跡することができる。応用例として大型ショッピングモール等における人物流動計測が想定される。従来のステレオ全天球カメラを用いた人物追跡手法では、深層学習を用いた物体追跡モデルと三角測量を用いた人物追跡手法[1]があげられる。しかし、2台の全天球カメラの光軸を合わせるキャリブレーションが適切でないため、推定された深度に誤差が生じることがあった。また、画像間の方位を一致させる手法としてキューブ表現を用いた手法[2]や画像に変形を加えて合成する手法[3]が提案されている。本研究では、リアルタイムでの人物追跡を想定して、2画像の対応点から画像を変形することなく直接的に3次元座標を推定することを目標とする。光軸を平行化するキャリブレーション手法を開発することで正確な3次元座標計測が行えた。

## 2. 原理と処理手順

カメラ自体は正しく全方位の情報を出力することを前提とし、左右のカメラの光軸を平行にする。光軸が平行でない場合には、図1に示すシステムで実際の点Pは誤って点Qとして推定される。処理する画像の投影方法は正距円筒図法であり、縦軸は経度、横軸は緯度を示す。

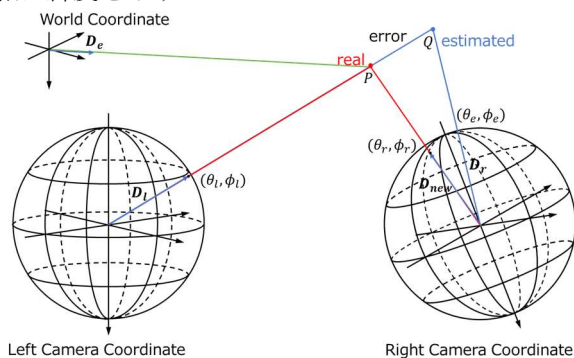


図1 キャリブレーションの概要

図1において世界座標系を左カメラ座標系に変換するための回転行列 $R_l$ と並進行列 $t_l$ を求める。左カメラの画像座標系上の点を $(u_l, v_l)$ とすると、左カメラ座標系上の方向余弦 $D_l$ は式(1)のように示される。

$$D_l = \begin{pmatrix} \cos u_l \sin v_l \\ \sin u_l \\ \cos u_l \cos v_l \end{pmatrix} \quad (1)$$

世界座標系上の実測値を $P$ とし、回転と平行移動を与えて $D_e$ を $D_l$ に一致させることでキャリブレーションを行う。補正を加えた後の方向余弦 $D_e$ は式(2)のように示される。

$$D_e = R_l \frac{(P - t_l)}{\|P - t_l\|} \quad (2)$$

2つの座標系上の方向余弦の内積が最大となればよいため式(3)のように示される。

$$R_l, t_l \leftarrow \underset{R, t}{\operatorname{argmin}} (1 - D_l \cdot D_e) \quad (3)$$

同様に右カメラ座標系に対する世界座標系の回転行列 $R_r$ と並進行列 $t_r$ を求めると、左カメラ座標系に対する右カメラ座標系の相対的な回転行列 $R$ と並進行列 $t$ は式(4)、(5)のように示される。

$$R = R_l^T R_r \quad (4)$$

$$t = t_r - t_l \quad (5)$$

左カメラ座標系上に変換された右カメラの方向余弦 $D_{new}$ と式(6)のようになる。

$$D_{new} = R D_{ir} + t \quad (6)$$

これによって、左カメラ座標系を世界座標とする3次元一計測を行うことができる。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 キャリブレーション

実験には、RICOH THETA SC2を使用した。解像度は1920×3840、FPSは30である。2台の本カメラをキャリブレーションシートに対して平行となるように設置した。図2に設置したカメラを示す。



図2 設置したカメラ

“Person Tracking Using Stereo Omni Camera”

<sup>†</sup> Yutaro Matsui, Graduate School of Computer and Information Sciences, Hosei University

カメラとキャリブレーションシートの距離は 1.5m, 2 台のカメラ間の距離は 0.27m とした. キャリブレーションシートは 1 マスの大きさが 0.1m×0.1m, マスの数は 7×34 である. 表 1 に提案手法によって導出されたキャリブレーションのパラメータを示す. 並進の距離 (カメラ間隔) は 0.264m となり設定した値に近くなった. また, 回転角も小さく光軸がほぼ平行に設置されていることが分かった.

表 1 相対的な回転と並進パラメータ

回転 (radian)	並進 (m)
(-0.001, 0.010, 0.018)	(0.263, 0.020, 0.005)

左カメラ座標系上におけるキャリブレーションシート上のコーナー点の再構成結果を図 3 に示す. コーナー点を検出, サブピクセル処理, 対応点のマッチング, 3 次元空間における 2 直線の最接近位置の順に処理を行った. 光軸付近で深度の誤差が大きいが, レンズの対称性を考慮した際にレンズの天頂付近で得られる点が少ないことが原因であると考えられる. 解決手段として, カメラからキャリブレーションシートまでの距離を変えながら撮影した複数枚の画像に対し, 提案手法を適用する必要があると考える.

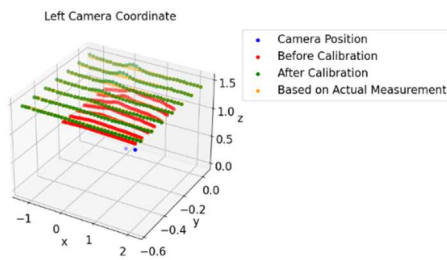


図 3 キャリブレーションシートの 3 次元再構成

図 3 の結果の距離に対する相対誤差を表 2 に示す. 表 2 より相対誤差は小さな値であること, 深度方向の誤差が比較的に大きいことが分かる.

表 2 3 次元再構築後の相対誤差 (%)

X 軸	Y 軸	Z 軸
0.04	0.02	0.86

### 3.2 地面と柱の推定

法政大学小金井キャンパス西館 2F 学生ラウンジから道路を撮影した画像を使用して, 画像内の横断歩道と柱の位置推定を行う. 図 4 に左カメラから撮影された画像を示す.

横断歩道と左手前の柱に対し, 3 次元再構築を行った. 地面の法線ベクトル, 柱のベクトルは 3 次元再構築により導出された点群に対して, 主成分分析を行うことで求めた. 左カメラから地面までの高さは 4.47m, 地面の法線ベクトルと柱の方向ベクトル



図 4 左カメラから撮影された画像

の内積は -0.993 となり両者はほぼ平行という結果となった. カメラの設置位置が地面から約 4.5m, 柱は地面に対し垂直であるため, 位置関係が正しいといえる. また, 地面の法線方向に対する固有値の平方根は 0.118 となり, ±0.12m 以内に横断歩道の点が再構築されていることが分かる. 地面から柱の点の実測値と推定値の比較を表 3 に示す. 0.2m 程度の誤差が発生した.

表 3 柱の点までの高さ (m)

推測値	1.06	1.76
実測値	1.20	1.96

## 4. むすび

ステレオ全天球カメラを用いて直接的に 3 次元座標を求めるためのキャリブレーション手法を提案した. このキャリブレーションにより, カメラ設置時に生じる位置と回転のずれを補正した. 実験結果として, 対応点のマッチングのサブピクセル化などでより正確な対応点を用いれば 3 次元再構築が正確に行えることが分かった. 今後の課題は, 光軸周辺での誤差を減らすことである. また, 遠方に写る物体の 3 次元座標を精度よく推定すること, 混雑な状況下におけるロバストな人物追跡への応用も今後の課題である.

## 文 献

- [1] M. Shere, H. Kim and A. Hilton, "3D Multi Person Tracking With Dual 360° Cameras," 2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2020, pp. 2765-2769.
- [2] F. Kangni and R. Laganriere, "Epipolar Geometry for the Rectification of Cubic Panoramas," The 3rd Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV'06), Quebec, Canada, 2006, pp. 70-70.
- [3] H. Taira, Y Inoue, A. Torii, and M. Okutomi, "Robust feature matching for distorted projection by spherical cameras," IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 7, pp. 84-88, 2015.