

全天球画像を用いたカメラ自己位置推定技術と環境地図作成の同時処理技術 Simultaneous Localization and Mapping using Omnidirectional Camera

青木 貴大[†] 渡辺 裕^{†‡} 原 潤一^{‡§}
Takahiro AOKI[†] Hiroshi WATANABE^{†‡} and Junichi HARA^{‡§}

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科[†]

早稲田大学国際情報通信研究センター[‡]

株式会社リコー[§]

Graduate School of Fundamental Science and
Engineering, Waseda University[†]

Global Information and Telecommunication
Institute, Waseda University[‡]

RICHO Company,
LTD[§]

Abstract Recently, many kinds of SLAM techniques have been proposed. However, there are only a few methods using omnidirectional camera. Among them, LSD-SLAM can reconstruct 3D scene using fisheye camera. Therefore, in this paper, we focus on simultaneous localization method using omnidirectional camera.

1. はじめに

カメラの自己位置推定と環境地図作成を同時に行う Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) を全天球カメラで実現するための基礎検討を行う。カメラの内部パラメータを用いずにカメラの外部パラメータを得る手法を提案し、環境地図作成を行う 3次元再構成の手法を提案する。

2. 従来研究

従来の Large-Scale Direct SLAM (LSD-SLAM) [1] は、画像の輝度差が最小となる移動量を推定することで自己位置推定を行い、準深度マップから密な 3次元再構成を行う。しかし LSD-SLAM はカメラの回転に対して脆弱である。一方、ORB 特徴量から特徴点を抽出し、対応する特徴点の移動量から自己位置推定と 3次元再構成を行う ORB-SLAM [2] がある。この手法はカメラの回転に対して頑強であるが得られる点群が疎である。また、カメラの自己位置推定を行う手法として一般的にカメラの基礎行列を求めた後、内部行列と外部行列に分解する。得られた外部行列の情報は内部行列の情報に依存し、正確に内部行列を取得しておく必要がある。しかし、全天球カメラは歪みが大きく正確に内部行列を得ることが難しいという問題点がある。

3. 提案手法

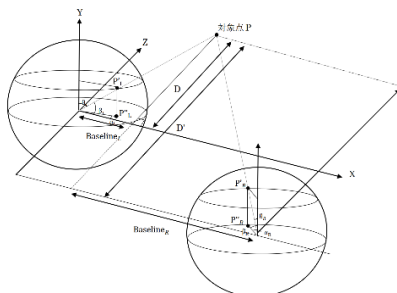


図 1 2 台の全天球カメラと対象点の関係

図 1 で対象点 P から左側の全天球カメラに入射する直線の長さを r 、右側の全天球カメラに入射する直線の長さを l とする。使用する全天球カメラはジャイロセンサを用いて天頂補正がされるものを使用する。天頂補正がされることにより、X 軸と Y 軸を軸とした回転角を考慮する必要がなくなる。右側のカメラが左側のカメラに対して Z 軸を軸として回転している角度を φ とする。対象点 P の座標 $[x, y, z]$ は

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos \alpha \sin \theta \\ r \sin \alpha \sin \theta \\ r \cos \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l \cos(\alpha' + \varphi) \sin \theta' + s \\ l \sin(\alpha' + \varphi) \cos \theta' + t \\ l \cos \theta' + u \end{bmatrix} \quad (1)$$

と表される。



図 2 全天球画像の例

図 2 のように実空間内には直線が複数存在する。天頂補正により X 軸と Y 軸を軸とした回転角を考慮する必要が無い場合、壁や机など実空間上で水平な直線は全天球画像空間内でも水平になっている。実空間内で水平な直線に対して全天球カメラの Y 軸が垂直になっている場合、水平な直線上の各点における

$$\frac{z}{y} = \frac{r \cos \theta}{r \sin \alpha \sin \theta} \quad (2)$$

は全て同一の値になっている。

したがって、実空間内で水平な直線に対して全天球カ

メラの Y 軸が傾いている角度を φ' とすると水上の点を 2 点 ($P_1 = [x_1, y_1, z_1]^T$, $P_2 = [x_2, y_2, z_2]^T$) を用いれば

$$\frac{z_1}{y_1} = \frac{z_2}{y_2}$$

$$\frac{r \cos \theta}{r \sin(\alpha + \varphi') \sin \theta} = \frac{r \cos \theta'}{r \sin(\alpha' + \varphi') \sin \theta'} \quad (3)$$

という方程式が成り立ち、 φ' を求めることができる。図 1 における左側のカメラと右側のカメラで同一の水平な直線で同じ処理を行えばそれぞれのカメラにおける φ_1', φ_2' が求まる。ここで式(1)を

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos(\alpha + \varphi_1') \sin \theta \\ r \sin(\alpha + \varphi_1') \sin \theta \\ r \cos \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l \cos(\alpha' + \varphi_2') \sin \theta' + s \\ l \sin(\alpha' + \varphi_2') \cos \theta' + t \\ l \cos \theta' + u \end{bmatrix} \quad (4)$$

とすることができる。

式(1)を整理し、定数と変数に分けると

$$M = \begin{bmatrix} \cos \alpha \sin \theta & 0 & -\cos \alpha' \sin \theta' & -\sin \alpha' \sin \theta' & -1 & 0 & 0 \\ \sin \alpha \sin \theta & 0 & -\sin \alpha' \sin \theta' & -\cos \alpha' \sin \theta' & 0 & -1 & 0 \\ \cos \theta & -\cos \theta' & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$V = [r, l, s, d, u]^T \quad (6)$$

となる。変数が 5 個に対して方程式は 3 本であるが 3 個の対応点について同様に方程式を考えると変数が 9 個に対して方程式 9 本の問題として考えることができる。3 個の対応点における r, l をそれぞれ $r_1, l_1, r_2, l_2, r_3, l_3$ とすると、

$$V' = [r_1, l_1, r_2, l_2, r_3, l_3, s, d, u]^T \quad (7)$$

と考えることができる。M を用いて

$$M'V' = 0 \quad (8)$$

となるような M' の行列を作る。この時 $|V'| = 1$ とし、 M' を特異値分解 $U \Sigma V^T$ に分解したとき、

$$A = V \Sigma^2 V^T \quad (9)$$

という行列を考える。A の最小固有値に対応する固有ベクトルが V' となる。

V' から左側のカメラから見た右側のカメラの位置座標 (s,d,u) が求まる。図 1 の D は

$$D = \frac{\text{Baseline}_L + \text{Baseline}_R - \frac{d}{\cos(\gamma_r) \tan \beta_R}}{\frac{1}{\tan \beta_L} + \frac{\cos(\gamma_r)}{\cos(\gamma_r) \tan \beta_R}} \quad (10)$$

で算出することで点 P の座標が得られる [4]。

4. 実験と結果

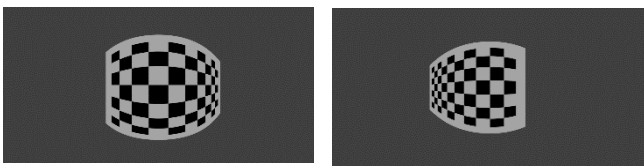


図 3 左右の全天球画像

Blender を用いて左側のカメラ位置を (0,0,0) としたと

き右側のカメラの位置を (9,-2,-1) として全天球画像を作成した。また、水平な直線 (チェスボード) とカメラの Y 軸がなす角度 φ_1', φ_2' はそれぞれ $\varphi_1' = 0$, $\varphi_2' = 30^\circ$ とした。水平な直線上の対応する点を 2 点選び φ_1', φ_2' の実験値を求める。次に対応する格子点を 3 点選び M' 行列を求め、提案手法から V' を求めることができる。求めた V' の (s,d,u) と右側のカメラの位置 (9,-2,-1) を比較し、提案手法の有効性を確認する。

表 1 実験結果

φ_1'	φ_2'
0.03877561	34.04719164

表 2 実験結果 (評価用)

s	d	u
9.	-2.01490595	-1.02080051

実験結果から得られた (φ_1', φ_2') を表 1 に示す。

また、表 2 は評価を行うために (s,d,u) に 9/s を乗算した結果から正しくカメラの位置関係が求まっていることが分かる。 $|V'| = 1$ と正規化された状態の値であっても 3 次元再構成を行うことはできるため式(8)の導出式には表 1 の値を用いる。

5. まとめ

本実験で内部パラメータを用いずに外部パラメータを求めることができた。外部パラメータを得ることができたことにより [4] から 3 次元再構成が行える。今後実環境でも実験を行う必要があると考える。

文 献

- [1] D. Caruso, J. Engel, and D. Cremers, "Large-scale direct SLAM for omnidirectional cameras", IEEE/RISJ International Conference on Intelligent Robots and System, pp.133-148, Sep. 2015.
- [2] R. Mur-Artal, J. M. M. Montiel, and Juan D. Tardos, "ORB-SLAM: A Versatile and Accurate Monocular SLAM System", IEEE Transactions on Robotics, Volume:31, Issue:5, pp.1147-1163, Oct. 2015.
- [3] J. Engel, V. Koltun, and D. Cremers, "Direct Sparse Odometry", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume:40, Issue:3, pp.611-625, Mar. 2018.
- [4] 青木, 渡辺, 宋: "全天球カメラを用いた位置推定手法及び距離測定手法の検討" 情報処理学会全国大会, 2U-05, Mar. 2018.

† 早稲田大学大学院 基幹理工学研究科 情報通信専攻 渡辺研究室

〒169-0072 東京都新宿区大久保 3-14-9 早大シルマンホール 401

Phone: 03-5286-2509

E-mail: aqua-cosmos@ruri.waseda.jp