全天球カメラを用いた 3 次元再構成と点群の位置合わせ手法の一検討
A Study on 3D Reconstruction Using Omnidirectional Camera and Alignment Method

加藤 裕也[†] 原 潤一[‡§] 渡辺 裕[†‡]
Yuya KATO[†] Junichi HARA[‡§] Hiroshi WATANABE[†‡]

早稲田大学大学院基幹理工学研究科[†]
Graduate School of Fundamental Science and Engineering, Waseda University[†]

早稲田大学国際情報通信研究センター[‡]
Global Information and Telecommunication Institute, Waseda University[‡]

株式会社リコー[§]
RICOH Company, LTD[§]

Abstract: カメラの位置推定と環境地図作成を同時に行う手法として SLAM があり，特にカメラ 1 台の映像のみで行う単眼 SLAM が注目されている．密な点群を取得できる単眼 SLAM に LSD-SLAM があるが，カメラの回転運動に弱く 3 次元再構成が破綻してしまう．本稿では全天球カメラを用いることでカメラの回転運動を行うことなく広範囲の映像を撮影し，キューブマッピングによる画像分割を行うことで LSD-SLAM への入力を可能とする．また，入手した点群を合成することにより環境全体の点群を精度良く取得することを可能とする．LSD-SLAMを用いて取得した点群は現実空間におけるスケールが保持されず点群同士のサイズの違いが合成の大きな妨げとなっている．点群から共通範囲を切り出し点群同士の拡大倍率を計算することでスケールを一致させる．また，RANSAC により点群の平面推定を行い各点群の平面の位置を一致させることで点群の向きに補正をかけ，推定平面からある一定値以上離れた点をノイズとして除去する．平面の位置合わせとノイズ除去によりスケール合わせの精度を向上させ点群合成の精度を向上させることを可能とする

1 まえがき

近年，掃除ロボットやパトロールロボットといった屋内環境を自律移動するロボットが増加している．空間中を精確に移動するには環境地図の作成が求められるが，屋内環境では GPS が利用できないため環境地図作成はカメラをはじめとした各種センサを使用する必要がある．コストや重量の観点からカメラを用いて環境地図を作成する技術の研究が盛んである．

カメラ映像から自己位置推定と環境地図作成を同時に行う技術として SLAM がある．カメラ 1 台の映像のみを用いる SLAM は単眼 SLAM と呼ばれ，代表的なものとして LSD-SLAM[1]が挙げられる．LSD-SLAM は輝度勾配を利用した SLAM であり密な点群を精度良く取得できることが特徴であるが，カメラの回転運動に脆弱であり3次元再構成が破綻しやすいという欠点をもつ．

本稿では LSD-SLAM を用いて屋内環境の点群を精度良く取得する手法を提案する．全天球カメラを用いることによりカメラの回転運動を行わずに広範囲の映像を取得し，LSD-SLAM に入力することに点群を取得する．また，点群を合成することにより屋内環境全体の点群を取得する．さらに複数の平面で位置合わせをすることにより点群の合成の精度向上を図る．

2 従来手法

魚眼カメラ映像を用いた SLAM として David Carso らの研究[2]が挙げられる．この研究では LSD-SLAM のカメラモデルを魚眼カメラ用に変更することによって魚眼カメラ映像を用いることを可能としているが全天球カメラ映像は使用できない．また，回転映像に対する頑健性も従来の LSD-SLAM と変わらない．

3 提案手法

本提案手法は(1)画像分割，(2)スケール合わせ，(3)点群合成の 3 手順で行う．

(1) 画像分割

LSD-SLAM は全天球カメラ映像に対応していないため画像変換を行うことにより入力を可能とする．

取得した映像をその動画のフレームレートに従って静止画に分割する．こうして取得した画像にキューブマッピングを施し図 1 に示すように1枚の静止画から6枚の画像を入手する．このうち撮影者，天井および床面が写った面は 3 次元再構成に適さないため取り除き 3 枚の画像を使用する．また，画像の方向が 45 度ずれるようにキューブマッピングを行う範囲を変更し同様の処理を行うことで 2 枚の画像を取得する．こうしてカメラ正面の画像および左右に

45°，90°ずれた計 5 枚の画像を取得しこれらを LSD-SLAM に入力する.

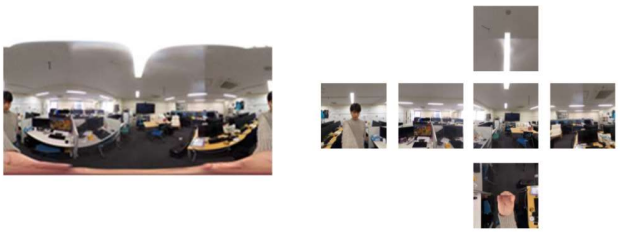

図1 キューブマッピング

(2) スケール合わせ

取得した 5 つの点群は撮影方向がそれぞれ 45°ずれているため点群全体を回転させることですべての点群の向きを統一し全ての点群から共通範囲を切り出す. 共通範囲の点群の向きを RANSAC により推定した平面を用いて補正し x 軸方向のサイズおよび z 軸方向のサイズから点群の拡大倍率を求める.

(3) 点群合成

向きとスケールを合わせた共通範囲の点群同士をICPアルゴリズム[3]を用いて合成し回転行列を取得する. この回転行列を共通範囲を切り出す以前の点群全体に適用することで合成を行う.

4 実験及び結果

合成して取得した点群を図2に示す. また, 点群のスケール合わせの精度が RANSAC を用いた平面で点群の向きを補正することにより向上することを示す. 全天球カメラ映像は Ricoh Theta V を用いて撮影した. RANSAC で推定した平面は天井と壁に対応する面である. 実験に用いた点群は正面方向の画像および 45°，90°ずれた画像から取得した 3 つであり, 正面方向の点群に対する拡大倍率を計算した. 結果を表 1 に示す. なお, 本実験の正解値は手動でスケール合わせを行った際の拡大倍率である.

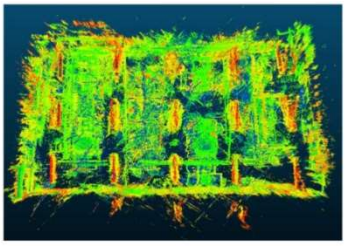

図2 合成した点群

表 1 平面による補正と拡大倍率

使用した面	拡大倍率	
	45°	90°
天井	1.248	1.057
天井と壁	1.315	1.140
正解	1.301	1.100

表 1 より正面方向とのずれが 45°，90°の点群ともに向きの補正に用いた面の数が増えると拡大倍率が正解値に近づくことが見て取れる.

5 まとめと今後の課題

本稿では全天球カメラ映像に分割処理を施すことによってカメラを回転させることなく撮影した動画から屋内環境の点群を広範囲にわたって取得する手法を提案した. また, 点群合成の際に RANSAC を用いて推定した平面で点群の向きを補正することによってスケール合わせの精度が向上することを示した.

課題として補正に使える平面の数が撮影対象に依存することが挙げられる. 本稿では天井と壁面の計2面を使用したが実験環境によってはこれらが計測できない可能性がある. 点群ないの小さな平面を複数用いて向きの補正を行う必要がある. また, 平面推定の際のパラメータも自動的に決定できることが望まれる.

参考文献

[1] J. Engel, T. Schöps, and D. Cremers, "LSD-SLAM: Large-Scale Direct Monocular SLAM," In European Conference on Computer Vision (ECCV), Zurich, Switzerland, September 2014, pp. 834–849.

[2] D. Caruso, J. Engel, and D. Cremers. "Large-Scale Direct SLAM for Omnidirectional Cameras," International Conference on Intelligent Robot Systems (IROS). Hamburg, Germany, pp. 141–148, Oct. 2015.

[3] M. A. Fischler, R. C. Bolles. "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography," Comm. of the ACM, Vol 24, pp 381-395, 1981.

[4] S. Rusinkiewicz and M. Levoy. Efficient variants of the ICP algorithm. Proc. 3DIM, 2001.

早稲田大学大学院基幹理工学研究科情報理工・情報通信専攻
〒169-0072
東京都新宿区大久保 3-14-9 早大シルマンホール 401 号室
Phone: 03-5286-2509, Fax: 03-5286-3488
E-mail: starfield0803@akane.waseda.jp