

## 3次元点群に対する平面フィッティングによる SLAM システムの精度向上

小澤 岳大<sup>†</sup> 中島 由勝<sup>‡</sup> 斎藤 英雄<sup>†</sup>

<sup>†</sup>慶應義塾大学 理工学部 <sup>‡</sup>慶應義塾大学大学院 理工学研究科

### 1. はじめに

動く1台のカメラで得られる画像系列から、画像中のシーンの3次元形状とカメラの位置姿勢を同時に計測する技術は SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) として知られている。特に、対象との距離情報を直接取得できる RGB-D カメラを用いた SLAM は、盛んに研究が行われている。

しかし、Kinect 等の RGB-D カメラから得られる距離画像には多くのノイズが含まれており、RGB-D カメラを用いた SLAM では、その誤差が結果に影響を及ぼし、カメラ軌跡推定や 3D マップ復元の精度が下がってしまうことが考えられる。

本稿では、距離画像に含まれるノイズを低減することで、SLAM のカメラ軌跡推定や 3D マップ復元の精度を向上することを目的とする。

提案手法は、距離画像内の点群について平面を検出し、その領域の点群を平面にフィッティングする。こうして得られた距離画像を用いて SLAM を実行し、性能向上をねらう。本稿では、平面フィッティングを行わない場合の SLAM の結果と提案手法の結果をそれぞれ真値と比較し、その有効性を確認する。

### 2. 提案手法

#### 2.1 平面フィッティング

RGB-D カメラから得られる距離画像に対し、カメラの内部パラメータを用いて、距離画像をカメラ座標系の 3次元空間に投影し、3次元点群を得る。その点群に対し、Depth-adaptive superpixels を, S.Holzer らの手法[2]から得た法線マップをもとに行うことで、Superpixel 内の点群が平面形状を構築するように領域分割を行う(図1)。得られた Superpixel を K.A.Hawick らのラベリング[3]を用いて法線ベクトルの類似した領域を統合し、より広範囲な平面領域を再構成する。領域内の法線マップの分散の値から、

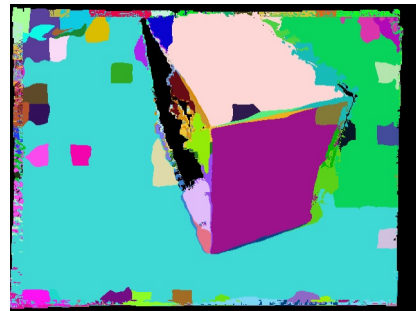


図1 平面に分割された領域

平面だと判断した領域に対して点群の平面フィッティングを行う。曲面だと判断した領域は Joint Bilateral Filter[4]を適用し、点群のノイズ除去を行った。

#### 2.2 SLAM への入力

2.1 節の処理を行った 3次元点群を、カメラの内部パラメータを用いて画像に再投影することで、平面フィッティングを行った距離画像を得る。この距離画像と RGB 画像を既存の SLAM への入力とし、カメラ軌跡推定誤差及び 3D マップの復元を行う。それらを、処理を行わない距離画像を入力とした SLAM の結果と比較し、評価を行う。

### 3. 性能評価実験

#### 3.1 評価方法

カメラ軌跡の真値が公開されている RGB-D 画像データセットである、ICL-NUIM dataset[5]を用いて評価を行った。ICL-NUIM dataset にはノイズが含まれていないことを考慮し、同一シーンについて、全くノイズのないデータセット D<sub>1</sub>、Kinect を模したノイズ[5]を加えたデータセット D<sub>2</sub>、D<sub>2</sub> に対して提案手法である平面フィッティングを行ったデータセット D<sub>3</sub>を用意した。

データセット D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> を、RGB-D 画像を用いる SLAM である ORB-SLAM2[6]と Elastic Fusion[7]に入力した。ORB-SLAM2 は特徴点を用いた大規模な SLAM, ElasticFusion は画像中の全画素を用いた、3D マップ復元に主眼をおいた SLAM である。

Improvement of SLAM system by plane fitting for 3D point cloud

Takehiro Ozawa<sup>†</sup>, Yoshikatsu Nakajima<sup>‡</sup>, and Hideo Saito<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Keio University

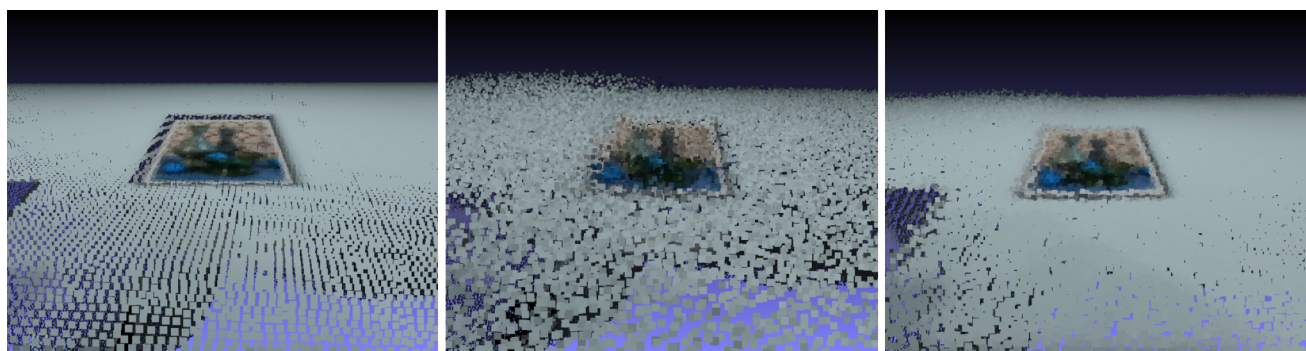


図2 ElasticFusion 提案手法処理結果の比較  
(左からノイズなし  $D_1$ , ノイズあり  $D_2$ , 平面フィッティング後  $D_3$  (提案手法) )

表1 カメラ軌跡推定誤差の比較

	RMSE (cm)	
	ORB-SLAM2	ElasticFusion
$D_1$	11.26	2.00
$D_2$	33.32	23.9
$D_3$	25.54	25.1

カメラ軌跡推定結果と真値との平均二乗誤差を計算し評価を行った。この時、SLAM システム内でランダムな値を用いる関係上、結果が実行毎に変わるため、それぞれのデータセットについて 50 回ずつ実行し、その平均を実行結果とした。

また、ElasticFusion については、作成された 3D マップについて、その結果を目視で確認する比較評価を行った。最後に、得られた結果について考察した。

### 3.2 結果と考察

ORB-SLAM2 と ElasticFusion のカメラ軌跡推定結果と真値との平均二乗誤差を表 1 に示す。

ORB-SLAM2 ではカメラ軌跡推定誤差が提案手法によって小さくなっていることがわかる。これは、特徴点の距離情報が平面フィッティングによって真値に近づいたためと考える。

ElasticFusion ではカメラ軌跡推定誤差が提案手法によって大きくなってしまっている。これは、平面でない点群を平面と誤って判断してしまったためであると考えられる。

ElasticFusion の 3D マップ復元結果を図 2 に示す。ノイズの加わったデータセット  $D_2$  は壁に凹凸が見られるのに対して、提案手法  $D_3$  は、ノイズなしの  $D_1$  に近い 3D マップ復元ができていることがわかる。

以上より、提案手法によって、RGB-D カメラのノイズによるカメラ軌跡推定への影響を軽減し、その誤差を減らすことができたと言える。また、提案手法によって、SLAM によって復元

される 3D マップの平面を補正し、ノイズを減らすことができたと言える。

### 4. むすび

本稿では、距離画像内の点群について平面を検出し、ノイズを低減した距離画像を生成し SLAM に入力することで、カメラ軌跡推定誤差の減少及び復元される 3D マップのノイズを低減する方法を提案した。そして、ICL-NUIM dataset を用いた実験により、SLAM のカメラ軌跡推定及び 3D マップ復元において提案手法が有効であることを確認した。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、慶應義塾大学森尚平博士に的確なご指導を賜りました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- [1] D. Weikersdorfer, *et al.*, "Depth-adaptive superpixels," Proc. ICPR, pp.2087-2090, 2012.
- [2] S. Holzer, *et al.*, "Adaptive neighborhood selection for real-time surface normal estimation from organized point cloud data using integral images," Proc. IROS, pp.2684-2689, 2012.
- [3] K.A. Hawick, *et al.*, "Parallel graph component labelling with GPUs and CUDA," *Parallel Computing*, Vol. 36, No. 12, pp.655-678, 2010.
- [4] G. Petschnigg, *et al.*, "Digital photography with flash and no-flash image pairs," Proc. SIGGRAPH, pp.664-672, 2004.
- [5] A. Handa, *et al.*, "A benchmark for RGB-D visual odometry, 3D reconstruction and SLAM," Proc. ICRA, 2014.
- [6] R. Mur-Artal, *et al.*, "ORB-SLAM: A versatile and accurate monocular SLAM system," IEEE Trans. Robotics, 2015.
- [7] T. Whelan, *et al.*, "ElasticFusion: Dense SLAM without a pose graph," Proc. Robotics: Science and Systems, 2015.