

平成 31 年度 卒業論文

単眼カメラ SLAM を完遂する環境要件

Environmental requirements to complete
monocular camera SLAM

千葉工業大学 先進工学部 未来ロボティクス学科

学籍番号 16C1096

鳴海 和真

2020 年 2 月 7 日

謝辞

本研究を進行および論文作成のご指導を頂いた、卒業論文指導教員の上田隆一准教授に感謝致します。また本研究に協力して頂いた、上田研究室の皆様に感謝致します。

目次

謝辞	iii
第 1 章 序論	1
1.1 背景	1
1.2 問題	1
1.3 目的	1
1.4 本論文の構成	2
第 2 章 提案手法	3
2.1 問題設定	3
2.2 解決方法	3
第 3 章 実験	5
3.1 使用機器	5
3.2 実験条件	5
3.3 実験方法	6
3.4 実験結果	8
第 4 章 結論	9
参考文献	11

第 1 章

序論

1.1 背景

Simultaneous Localization and Mapping (以下, SLAM) は、自己位置推定と環境地図の生成を同時に行う技術である。SLAM は、工場で稼働する無人運搬車や自動車の自動運転、ロボット掃除機といった自律行動をするロボットに活用されている [近藤 19]。中でも、カメラ映像から SLAM を行うものを Visual SLAM という。単眼カメラ SLAM は Visual SLAM を単眼カメラのみで行う。単眼カメラ SLAM は Visual SLAM の中で最も安価かつ小型で消費電力を抑えられることが長所である [Artal 17a]。

1.2 問題

単眼カメラ SLAM には、空間把握をカメラ画像に依存するために、エッジや模様のない環境に対して特徴点検出ができなくなるという問題が存在する。このような場合には SLAM が中断される。この問題の解決策として、IMU や RGB-D といったセンサを併用することによる方法が一般的である。しかし、この方法ではセンサの高価格化、大型化および消費電力の増加によって前述した単眼カメラ SLAM の長所を活かすことができない。

1.3 目的

単眼カメラ SLAM を中断されることなく完遂することのできる環境要件を調査することを目的とする。ここでの環境要件とは単眼カメラ SLAM が中断されないために最低限必要とされる特徴とする。本目的の達成によってロボットに用いられるセンサのコスト低下、軽量化されることにより SLAM 導入のハードルを低下させることができると言える。

1.4 本論文の構成

本論文では、2 章で提案手法を述べ、3 章で実験の方法と結果を示し、4 章で結論を述べる。

第 2 章

提案手法

2.1 問題設定

本研究では倉庫等特定の環境で稼働するロボットを想定し、予め単眼カメラ SLAM を行うロボットの補助のために環境改善が可能であることとする。ここで、環境への影響を最小限に抑えて単眼カメラ SLAM が中断する環境を改善する条件を実験により調査する。

2.2 解決方法

単眼カメラ SLAM による特徴点検出ができない環境にマーカを設置することで問題を解決する。このとき、環境への影響が最小限になるようなマーカの範囲を求める。

第 3 章

実験

3.1 使用機器

単眼カメラセンサとして Web カメラ Logicoool C270 を使用する。カメラキャリブレーションを行い歪みを補正する。SLAM は、カメラ SLAM ライブラリの ORB-SLAM2[Artal 17b] を使用。

3.2 実験条件

実験環境として、図 3.1 を用意する。壁面まで距離 1[m]、高さ 1[m] 地点にカメラを設置する。一面には単色無地のカーテンをかける。なぜカーテンを用いるかという特徴点検出の難しい環境の再現に適しているからである。ORB-SLAM2 は FAST キーポイント検出 [藤吉 11] によりエッジから特徴点検出をする [Artal 17c]。この特徴点を追跡 (トラッキング) することでカメラの位置姿勢を推定し、三次元空間における座標計算から環境地図生成をする。このため、エッジの立たない物体であるカーテンから特徴点検出をすることはできず ORB-SLAM2 が中断される。もう一面には棚を配置する。この棚はエッジが十分に検出可能で、ORB-SLAM2 によるトラッキングの開始をスムーズにさせる役割を果たす。

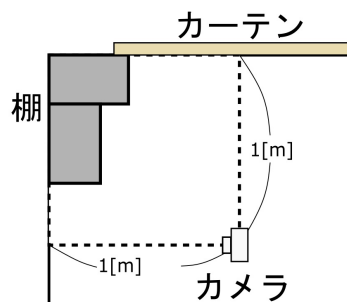


図 3.1 実験環境概略図

3.3 実験方法

ORB-SLAM2 を起動し、カメラを棚に向けてトラッキングを開始する。カメラをカーテンへ向けていくとやがて特徴点検出ができなくなり、カメラの画角が図 3.2 赤線部となる位置でトラッキングが停止する。カメラ画像が図 3.3 となるこの位置よりカーテン方向へカメラを向けるとトラッキングが停止し、SLAM が中断される。

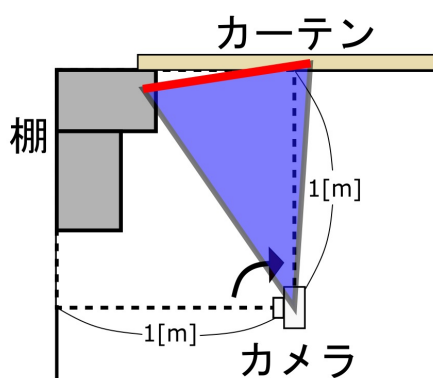


図 3.2 実験概略図

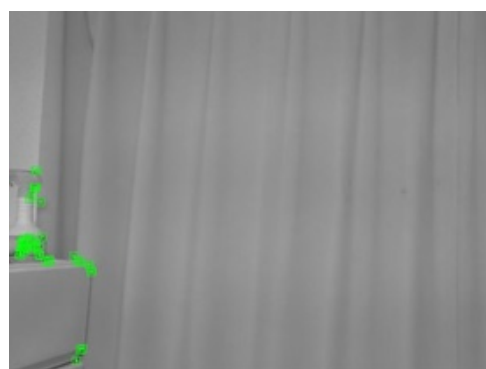


図 3.3 図 3.2 赤線部のカメラ画像

ここでトラッキングを継続させるためにマーカを使用する。本実験では直径 19.5[mm] のシールをマーカとして使用する。

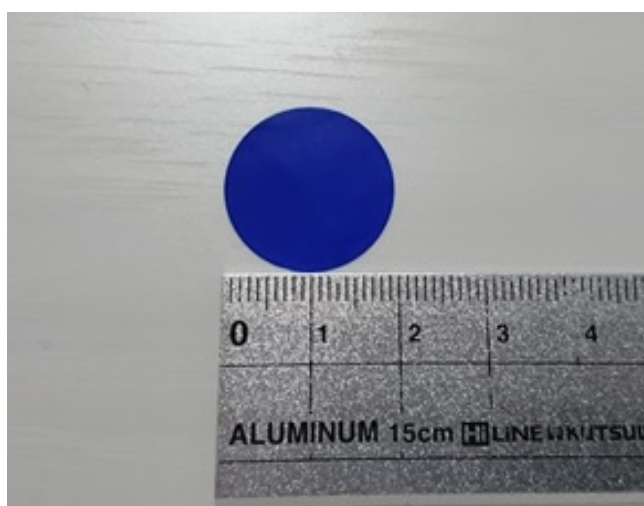


図 3.4 マーカとして使用するシール

トラッキング継続に必要なマーカを絞り込むための手順を以下に示す。

1. カメラからの距離 1[m], 高さ 1[m] 地点のカーテン表面を中心にマーカを貼り付ける。
2. マーカのみをトラッキングするようにカメラをカーテン方向へ回転する。
3. マーカを 100[mm] 間隔で縦方向に増やす。SLAM を再起動し再び手順 2 を行う。これをトラッキング可能になるまで繰り返す。
4. マーカの間隔を 10[mm] 狭める。SLAM を再起動し再び手順 2 を行う。これをトラッキング不能になるまで繰り返す。
5. マーカの間隔を 1[mm] 広げて SLAM を再起動し 2 を行う。これをトラッキング可能になるまで繰り返す。
6. マーカの間隔と特徴点マッチング数を記録する。



図 3.5 カーテン表面に貼付されたマーカ

3.4 実験結果

シール 1～3 枚をマーカとしたときはトラッキング不能であった。シール 4 枚をマーカとした時にマッチング可能となった。さらにマーカの間隔を狭めたときの特徴点マッチング数を表 3.1 に示した。マーカ間隔 47[mm] までは特徴点マッチング数 95～121 を獲得しトラッキングは安定していた。46[mm] になると特徴点の消失と復帰を繰り返す不安定な動作となった。以上より、本実験では 47[mm] 間隔で配置された 4 枚のシールが単眼カメラ SLAM を完遂できる最小範囲のマーカとなった。

表 3.1 記録したマーカ間隔と特徴点マッチング数

マーカ間隔 [mm]	特徴点マッチング数
46	Lost ~ 78
47	95 ~ 121

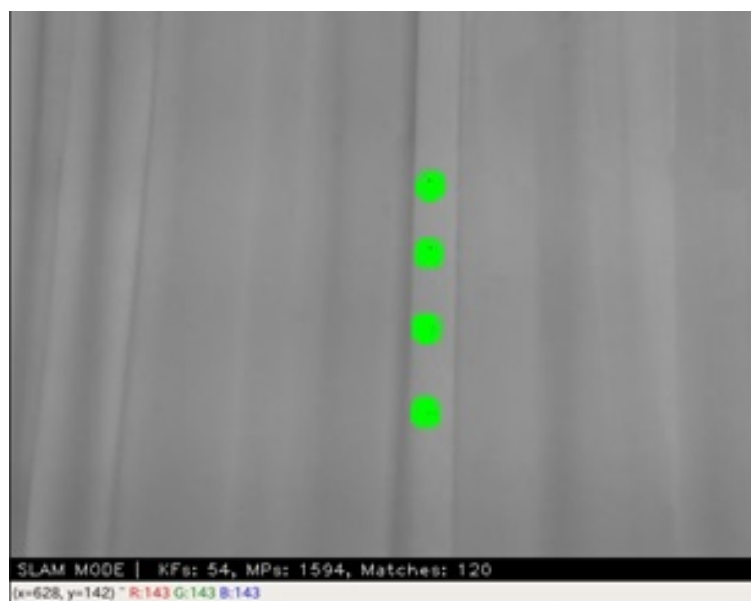


図 3.6 マーカのみでトラッキング継続成功

第 4 章

結論

単眼カメラ SLAM を完遂するために必要な特徴点マッチング数を絞り込む手法を提案した。同様の手順を行うことで単眼カメラ SLAM を完遂できない環境を最小限のマーキングによって改善可能である。課題点として、本研究の実験方法はトラッキングが開始されることを前提にしている点が挙げられる。実験において柵に該当する特徴点検出が容易な物体を隣接していない環境では同じ手法では不十分である。この課題の解決には新たな実験条件を考案する必要がある。

参考文献

- [Artal 17a] Ral Mur Artal. Real-Time Accurate Visual SLAM with Place Recognition. *Universidad de Zaragoza*, p. 19, 2017.
- [Artal 17b] Ral Mur Artal. Real-Time Accurate Visual SLAM with Place Recognition. *Universidad de Zaragoza*, p. 19, 2017.
- [Artal 17c] Ral Mur Artal and Juan D. Tardos. ORB-SLAM2: an Open-source SLAM System for Monocular, Stereo and RGB-D Cameras. *IEEE Transactions on Robotics*, 2017.
- [藤吉 11] 藤吉弘亘, 安倍満. 局所勾配抽出技術 - shift 以降のアプローチ -. 精密工学会誌, Vol. 77, No. 12, pp. 1109–1112, 2011.
- [近藤 19] 近藤豊. ROS2 ではじめよう次世代ロボットプログラミング. 技術評論社, 2019.