

高頻度で画像が取得される環境におけるロバスト性と実時間性の両立を目指した Visual SLAM の実装

令和5年度 日本大学情報科学科 卒業演習発表(令和6年2月7日)
谷研究室 横山竜也

目次

1. はじめに

1.1 背景

1.1.1 SLAM

1.1.2 Visual SLAM

1.2 動機

1.3 先行研究

1.4 目標

1.5 演習概要

2. 準備

2.1 動作環境

2.2 ORB-SLAM3

2.3 使用データ

3. 実験

3.1 実験内容

3.2 実験結果

4. おわりに

4.1 考察

4.2 今後の課題

目次

1. はじめに

1.1 背景

1.1.1 SLAM

1.1.2 Visual SLAM

1.2 動機

1.3 先行研究

1.4 目標

1.5 演習概要

2. 準備

2.1 動作環境

2.2 ORB-SLAM3

2.3 使用データ

3. 実験

3.1 実験内容

3.2 実験結果

4. おわりに

4.1 考察

4.2 今後の課題

1.1.1 SLAM

- 自己位置推定と周辺環境の地図作成を同時に行う技術

Visual SLAM: カメラで取得した外部環境の画像を入力とする SLAM

- カメラが比較的安価で手に入るため費用対効果が良い

LiDAR SLAM: LiDAR センサで取得した外部環境の点群を入力とする SLAM

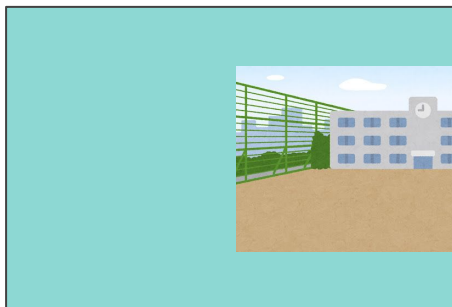
- LiDAR センサが高価
- 高精度な環境地図作成が可能

1.1.2 Visual SLAM

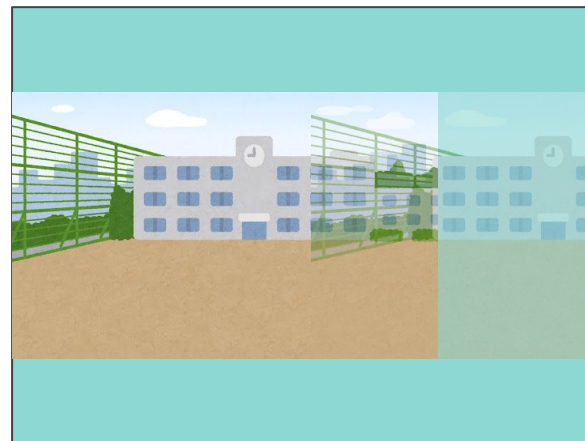
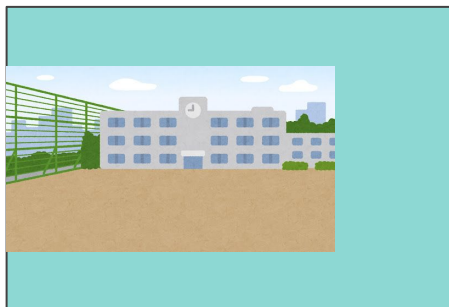
カメラから取得するRGB画像を入力とするSLAM

学校の景色が左に移動したように変化
→カメラは右の方に移動したと推定

0s時点



1s時点



1.1.2 Visual SLAM

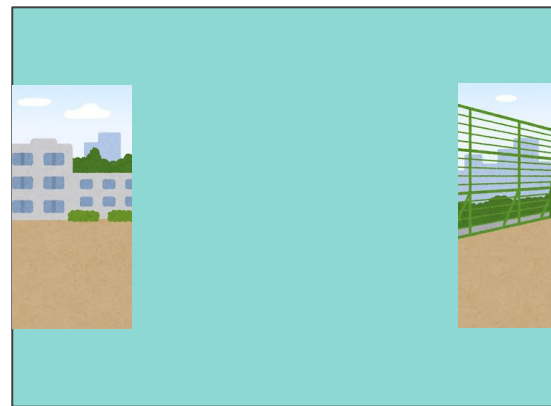
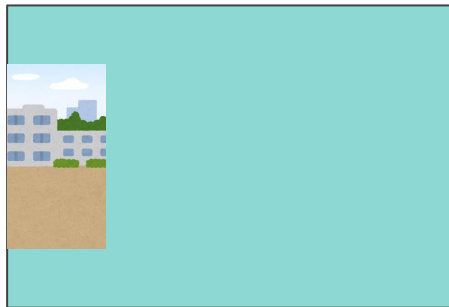
取得する画像の変化が大きい場合
→ 自己位置推定が失敗しやすい

画像間での重複が全くない場合
→ 自己位置推定は不可能

0s時点



1s時点



1.1.2 Visual SLAM

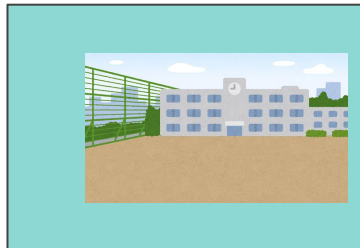
原理上、画像の取得頻度を増やすことでロバスト性が保たれると考えられる

ロバスト性: 画像変化に影響されず SLAM が成功できる

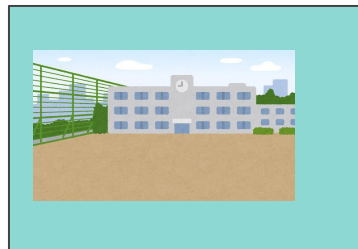
0s時点



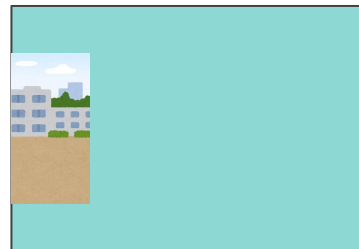
0.33s時点



0.66s時点



1s時点



1.1.2 Visual SLAM

画像の取得頻度を増やす

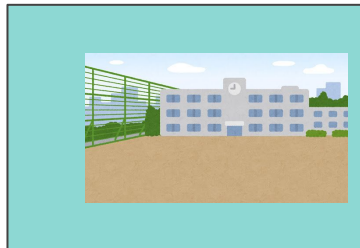
→ロバスト性が保たれると考えられる

ロバスト性: 画像変化に影響されず SLAM が成功できる

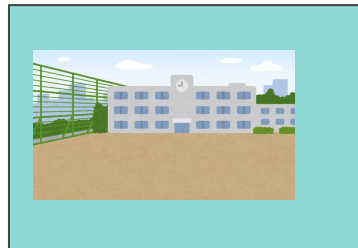
0s時点



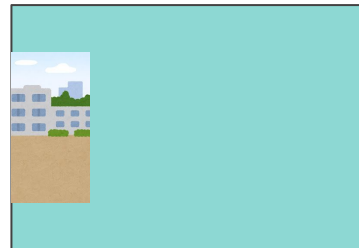
0.33s時点



0.66s時点



1s時点



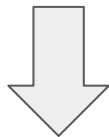
1.1.2 Visual SLAM

SLAM処理をする画像枚数が増える
→実時間性が損なわれる

実時間性：常に最新の画像でSLAMを行う

1.2 動機

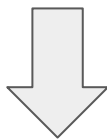
カメラが狭い場所を移動する場合や高速移動する場合に取得される画像の変化が大きくなる場合が想定される



高頻度で画像が取得される環境においてもロバスト性と実時間性を両立する Visual SLAM を実現したい

1.3 先行研究の紹介

カメラを搭載した索状ロボットを用いて閉空間を走行する場合、環境の性質上カメラと被写体との相対速度が高くなりやすく、取得される画像の変化が大きくなりやすい

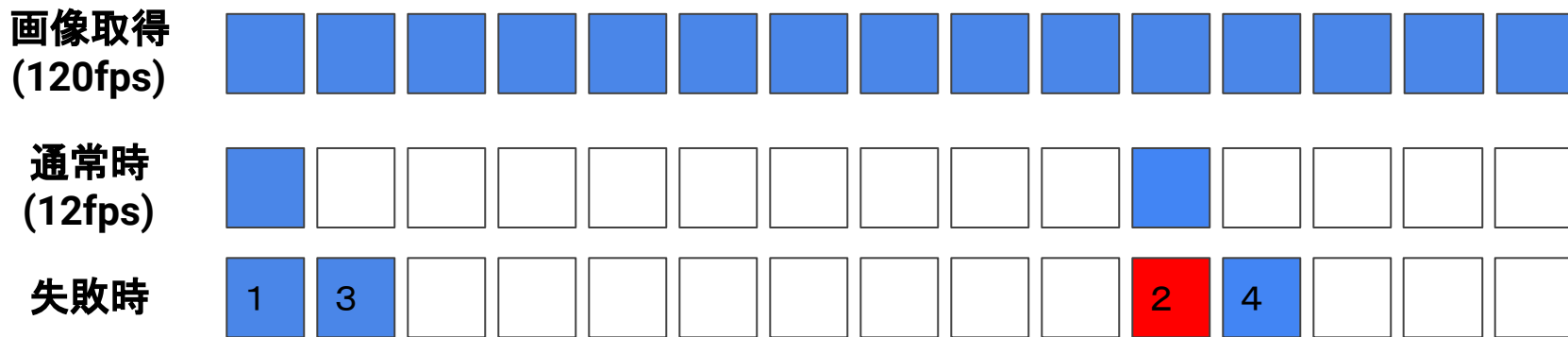


高頻度で画像取得をしながら
ロバスト性と実時間性を両立した
Visual SLAM を実現した



画像引用:https://engineer.fabcross.jp/archeive/170613_tohoku-u.html

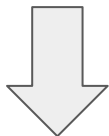
1.3 先行研究手法



- 通常時は低頻度で SLAM を行い, SLAM で使用した画像以外はバッファに保存
- 失敗時は保存された画像を用いて SLAM を行う
- 保存された画像を用いた SLAM が成功したら, 失敗した画像の次の画像を用い、成功すれば通常時の低頻度のSLAM に戻る

1.4 目標

先行研究手法の実装



高頻度で画像が取得される環境においてもロバスト性と実時間性が両立される Visual SLAM を実現を目指す

1.5 演習概要

1. 先行研究手法の実装
2. 実装したプログラムの評価実験

目次

1. はじめに

1.1 背景

1.1.1 SLAM

1.1.2 Visual SLAM

1.2 動機

1.3 先行研究

1.4 目標

1.5 演習概要

2. 準備

2.1 動作環境

2.2 ORB-SLAM3

2.3 使用データ

3. 実験

3.1 実験内容

3.2 実験結果

4. おわりに

4.1 考察

4.2 今後の課題

2.1 動作環境

ハードウェア

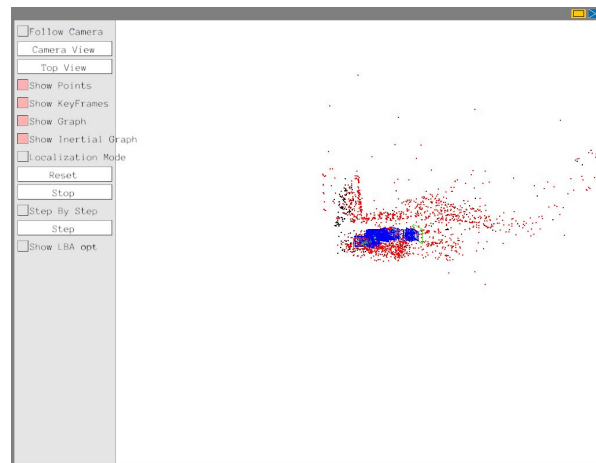
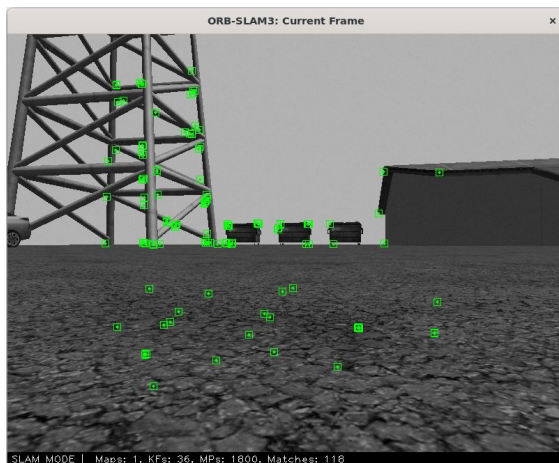
- CPU: 12th Gen Intel(R) Core(TM) i5-12400 2.50 GHz
- GPU: NVIDIA GeForce RTX 3060 Ti
- RAM: 32GB

ソフトウェア

- WSL2
- Ubuntu 20.04
- ROS Noetic
- ORB-SLAM3

2.2 ORB-SLAM3

スペインのサラゴサ大学の研究機関が開発した研究分野で広く使われる
Visual SLAM のオープンソースソフトウェア

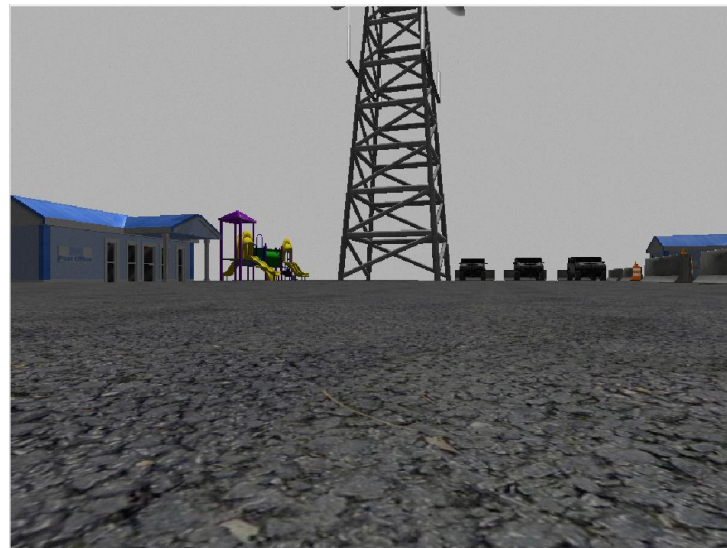
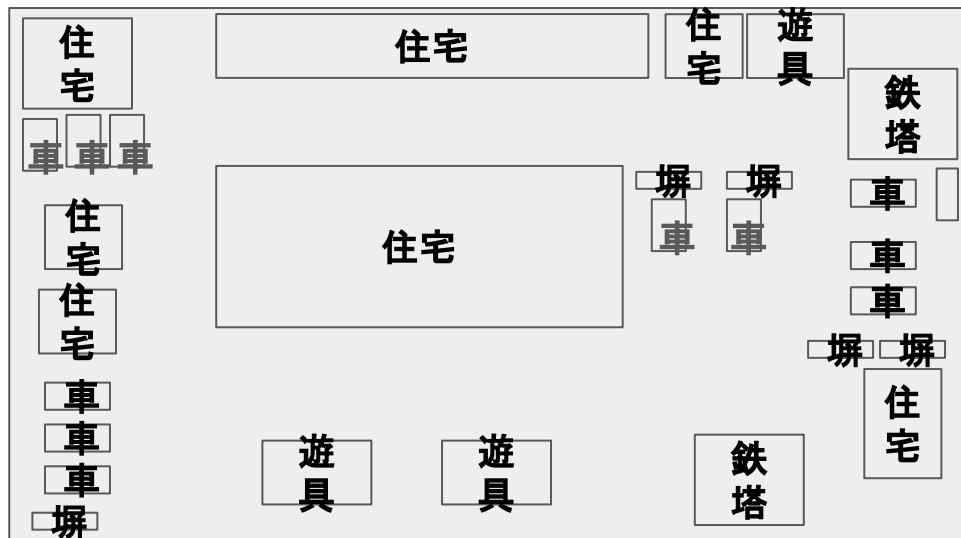


2.2 ORB-SLAM3

- ランダムサンプリングの手法を含んでいるため、同一データに対して実行のたびに結果が異なる
- 1つの画像に対してSLAMを行うたびに主に下記の結果が得られる
 - 成功
 - OK: SLAMに成功した
 - 失敗
 - NOT_INITIALIZED: 画像の変化が大きくてSLAMが始められない
 - RECENTLY_LOST: SLAMに失敗したが、OKになる可能性がある
 - LOST: SLAMに失敗して、OKになる可能性もない

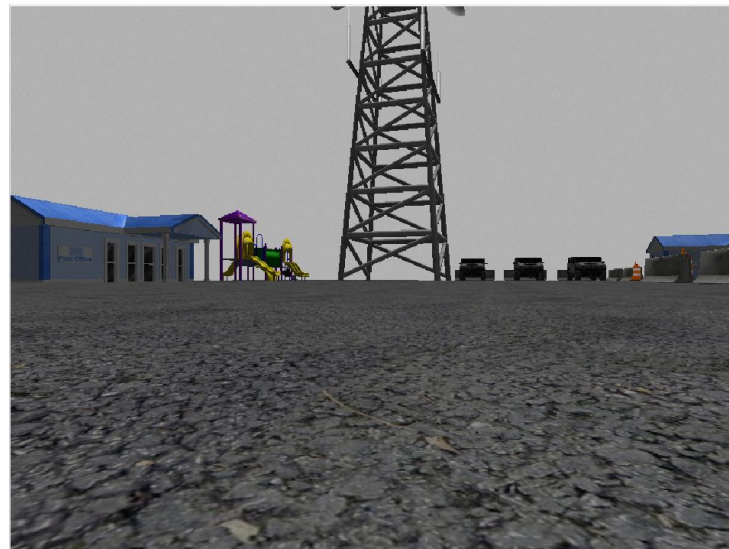
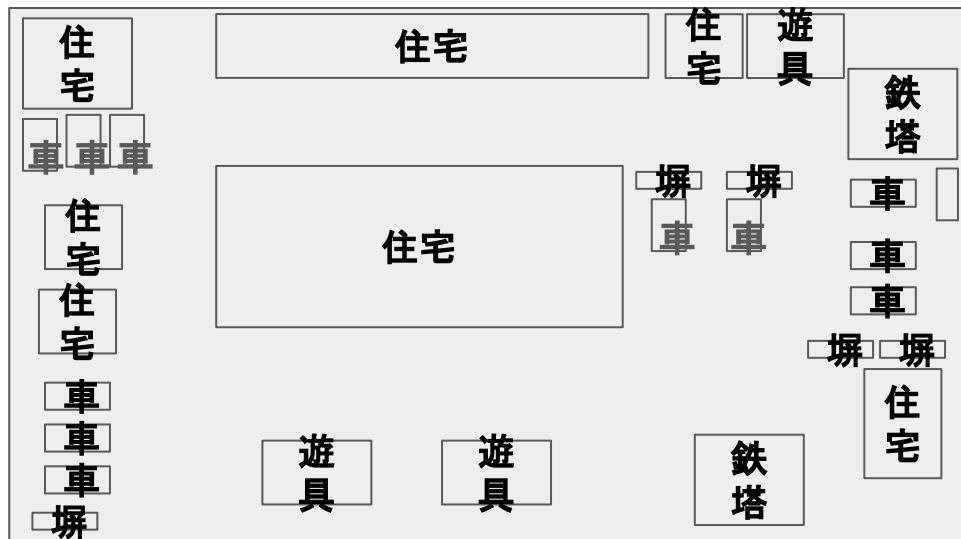
2.3 使用データ

- 3DシミュレータGazeboを用いて自作した仮想世界内を移動するロボットに搭載したカメラで撮影した画像系列



2.3 使用データ

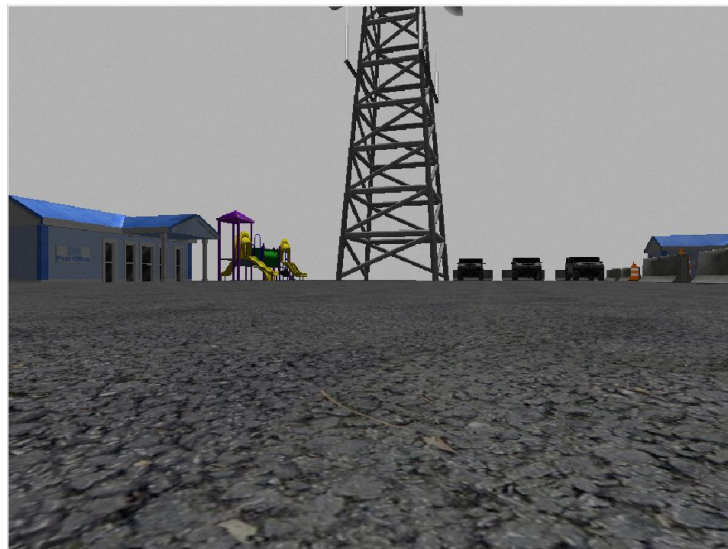
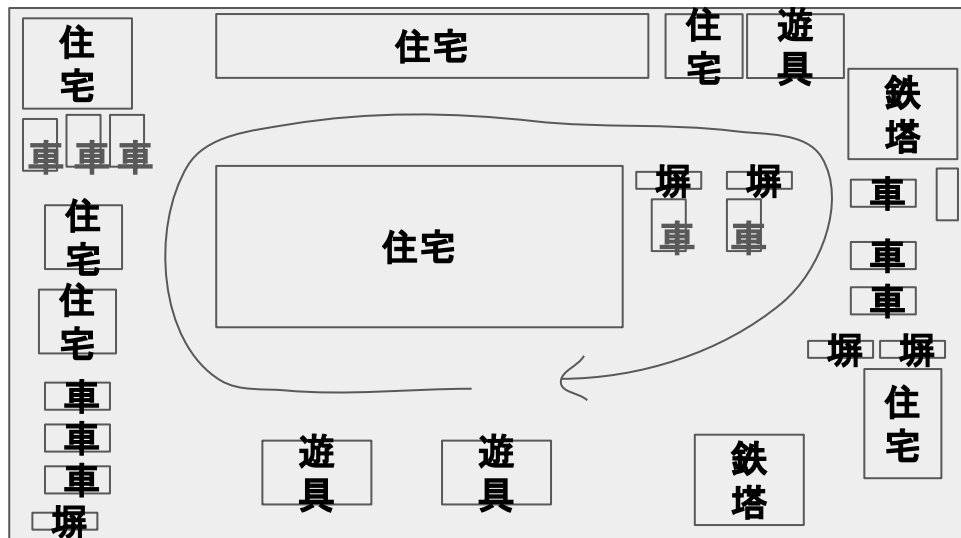
- 3DシミュレータGazeboを用いて自作した仮想世界内を移動するロボットに搭載したカメラで撮影した画像系列
- ロボットの移動はキーボードを用いた手動操作
- 撮影中に使用する操作は直進と回転の2種類のみ



2.3 使用データ

- 3DシミュレータGazeboを用いて自作した仮想世界内を移動するロボットに搭載したカメラで撮影した画像系列
- ロボットの移動はキーボードを用いた手動操作
- 撮影中に使用する操作は直進と回転の2種類のみ

一定速度で直進
一定角速度で回転



2.3 使用データ

- 3DシミュレータGazeboを用いて自作した仮想世界内を移動するロボットに搭載したカメラで撮影した画像系列
- ロボットの移動はキーボードを用いた手動操作
- 撮影中に使用する操作は直進と回転の2種類のみに限定
- 回転時の角速度は2パターンで撮影
 - 低回転速度: 約80秒 × 3シーン
 - 画像変化が小さくなりやすく, SLAM が成功しやすいと想定
 - 高回転速度: 約80秒 × 3シーン
 - 画像変化が大きくなりやすく, SLAM が失敗しやすいと想定

一定速度で直進
一定角速度で回転

目次

1. はじめに

1.1 背景

1.1.1 SLAM

1.1.2 Visual SLAM

1.2 動機

1.3 先行研究

1.4 目標

1.5 演習概要

2. 準備

2.1 動作環境

2.2 ORB-SLAM3

2.3 使用データ

3. 実験

3.1 実験内容

3.2 実験結果

4. おわりに

4.1 考察

4.2 今後の課題

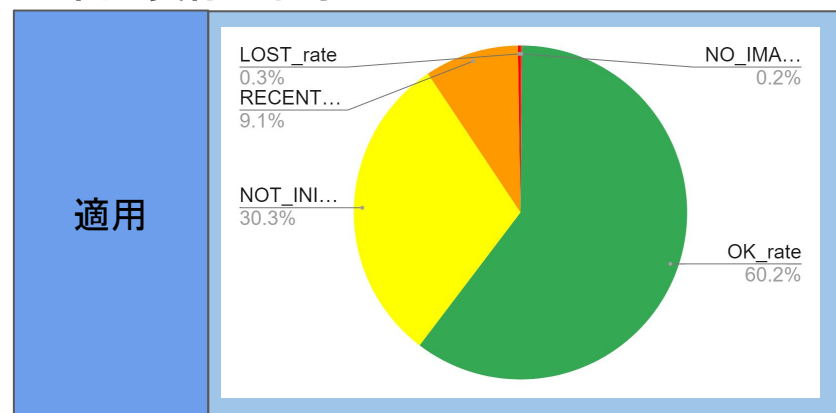
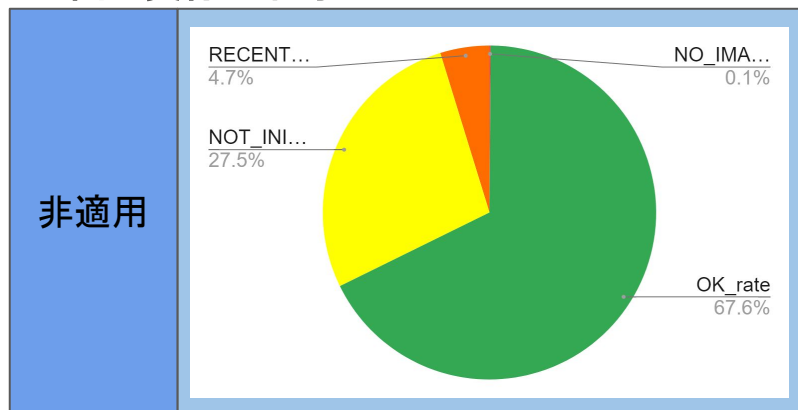
3.1 実験内容

- 使用データ: 6シーン = 2パターン × 3シーン
 - 低回転速度: 約80秒 × 3シーン
 - 画像変化が小さくなりやすく, SLAM が成功しやすいと想定
 - 高回転速度: 約80秒 × 3シーン
 - 画像変化が大きくなりやすく, SLAM が失敗しやすいと想定
- 先行研究手法を適用したプログラムと非適用とでORB-SLAM3のSLAM結果を集計する計算機実験を行う
 - それぞれのプログラムで, 1つのデータ(シーン)に対して5回実験

3.2 実験結果

低回転速度データ: testImages1

■ :OK ■ :NOT_INITIALIZED ■ :RECENTLY_LOST ■ :LOST
5回の実行の平均

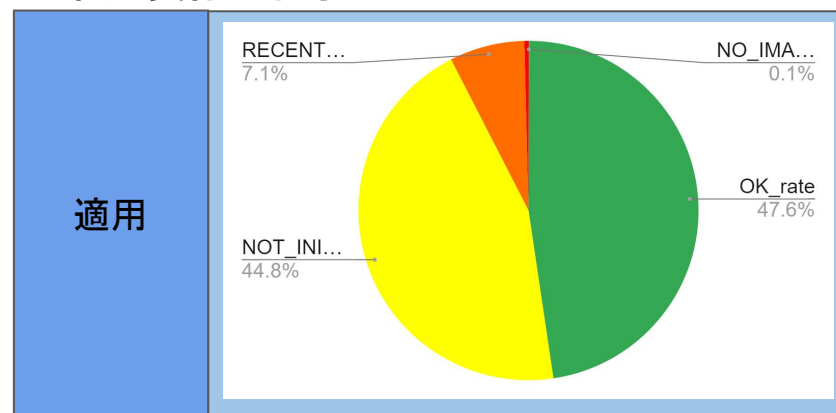
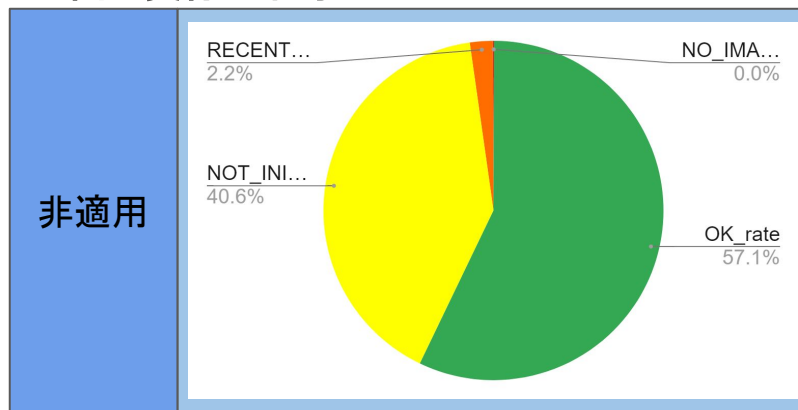


- OK割合が7.4%**減少**
- NOT_INITIALIZED割合が2.8%**増加**
- RECENTLY_LOST割合が4.4%**増加**
- LOST割合が0.3%**増加**

3.2 実験結果

低回転速度データ: testImages2

■ :OK ■ :NOT_INITIALIZED ■ :RECENTLY_LOST ■ :LOST
5回の実行の平均

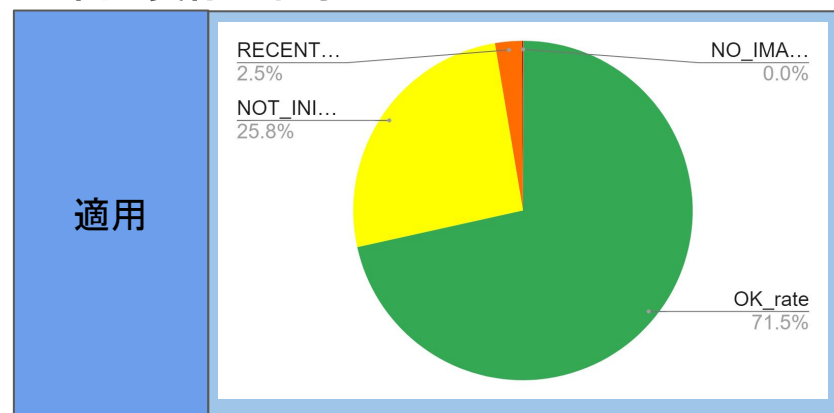
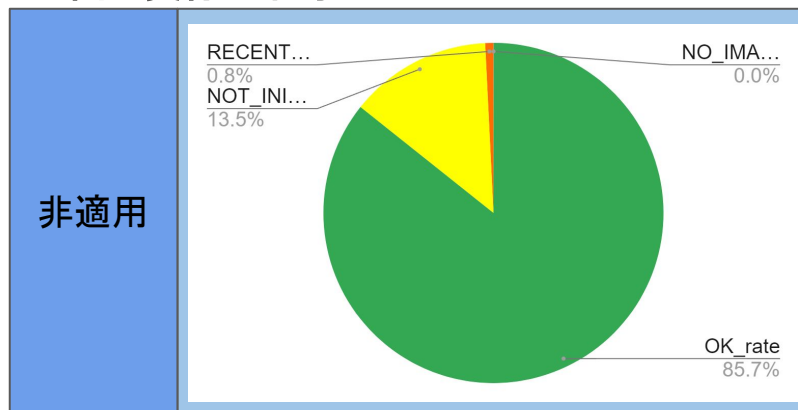


- OK割合が9.5%**減少**
- NOT_INITIALIZED割合が4.2%**増加**
- RECENTLY_LOST割合が4.9%**増加**
- LOST割合が0.4%**増加**

3.2 実験結果

低回転速度データ: testImages3

■ :OK ■ :NOT_INITIALIZED ■ :RECENTLY_LOST ■ :LOST
5回の実行の平均



- OK割合が14.2%**減少**
- NOT_INITIALIZED割合が12.1%**増加**
- RECENTLY_LOST割合が1.9%**増加**
- LOST割合は変わらなかった

3.2 実験結果

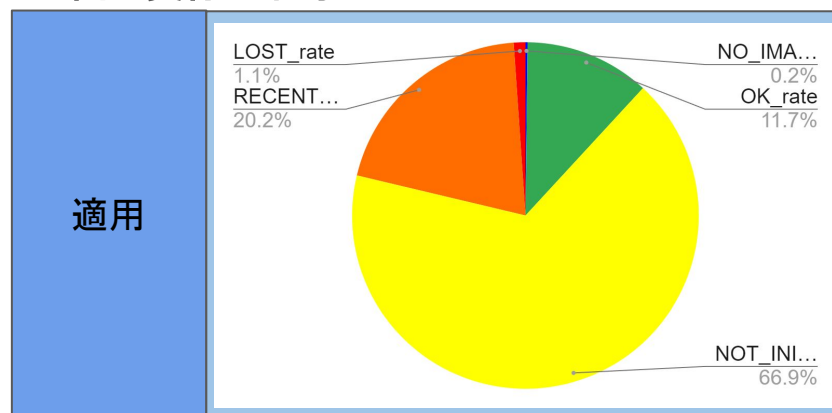
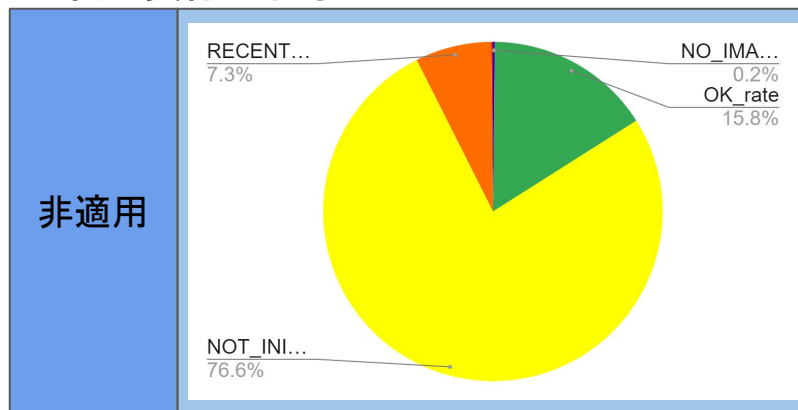
低回転速度データ

- OK割合が7.4%~14.2%悪化
- NOT_INITIALIZED割合が2.8%~12.1%悪化
- RECENTLY_LOST割合が1.9%~4.9%悪化
- LOST割合が変わらない結果と0.3%~0.4%悪化

3.2 実験結果

高回転速度データ: testImages4

■ :OK ■ :NOT_INITIALIZED ■ :RECENTLY_LOST ■ :LOST
5回の実行の平均

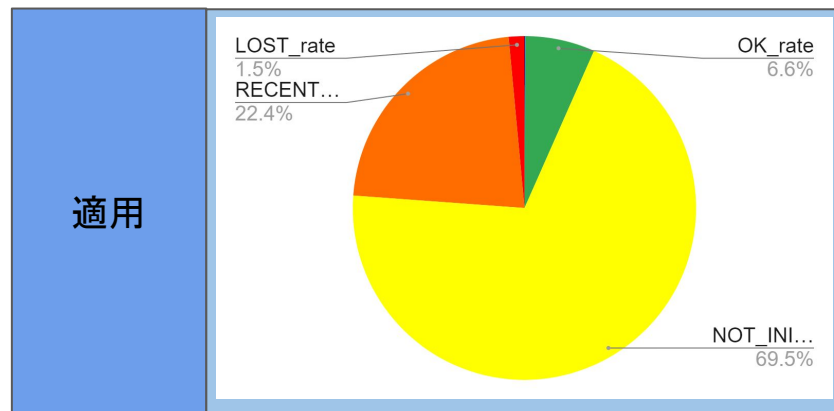
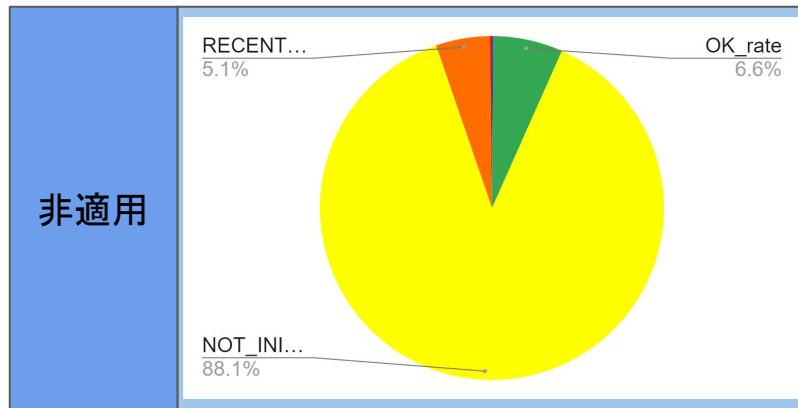


- OK割合が4.1%**減少**
- NOT_INITIALIZED割合が9.7%**減少**
- RECENTLY_LOST割合が12.9%**増加**
- LOST割合が1%**増加**

3.2 実験結果

高回転速度データ: testImages5

■ :OK ■ :NOT_INITIALIZED ■ :RECENTLY_LOST ■ :LOST
5回の実行の平均

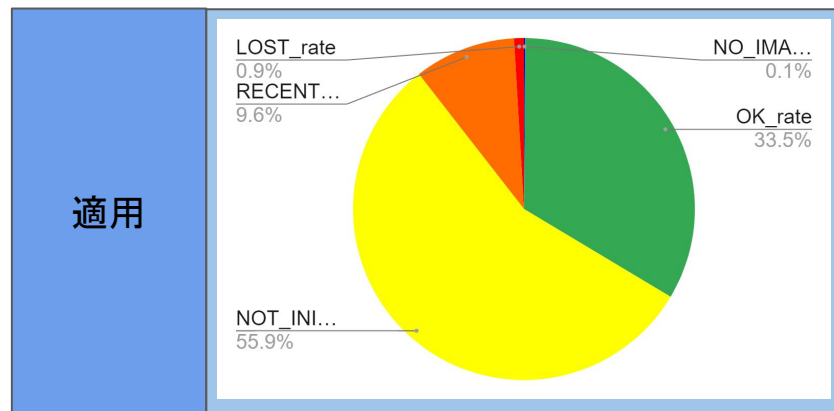
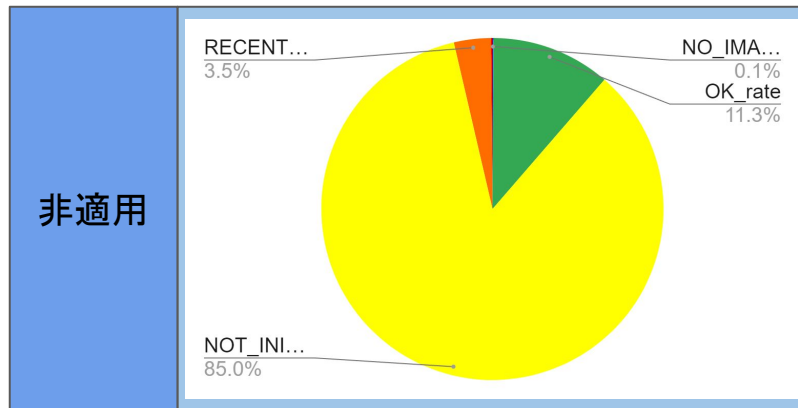


- OK割合は変わらなかった
- NOT_INITIALIZED割合が18.6%**減少**
- RECENTLY_LOST割合が17.3%**増加**
- LOST割合が1.5%**増加**

3.2 実験結果

高回転速度データ: testImages6

■ :OK ■ :NOT_INITIALIZED ■ :RECENTLY_LOST ■ :LOST
5回の実行の平均



- OK割合は22.2%**増加**
- NOT_INITIALIZED割合が29.1%**減少**
- RECENTLY_LOST割合が6.1%**増加**
- LOST割合が0.9%**増加**

3.2 実験結果

高回転速度データ

- OK割合はデータによって22.2%**向上**, 4.1%**悪化**, 変化しない
- NOT_INITIALIZED割合は9.7%~29.1%**向上**
- RECENTLY_LOST割合は6.1%~17.3%**悪化**
- LOST割合は0.9%~1.5%**悪化**

目次

1. はじめに

1.1 背景

1.1.1 SLAM

1.1.2 Visual SLAM

1.2 動機

1.3 先行研究

1.4 目標

1.5 演習概要

2. 準備

2.1 動作環境

2.2 ORB-SLAM3

2.3 使用データ

3. 実験

3.1 実験内容

3.2 実験結果

4. おわりに

4.1 考察

4.2 今後の課題

4.1 考察

低回転速度データ

- OK割合が7.4%~14.2%**悪化**

高回転速度データ

- OK割合はデータによって22.2%**向上**, 4.1%**悪化**, 変化しない
- ORB-SLAM3 が実行のたびに結果が異なるため, OK割合が偶然上振れた結果が得られた可能性
 - 実験回数を増やしてみる

4.1 考察

低回転速度データ

- NOT_INITIALIZED割合が2.8%~12.1%悪化
- RECENTLY_LOST割合が1.9%~4.9%悪化
- LOST割合が変わらない結果と0.3%~0.4%悪化

高回転速度データ

- NOT_INITIALIZED割合は9.7%~29.1%向上
- RECENTLY_LOST割合は6.1%~17.3%悪化
- LOST割合は0.9%~1.5%悪化
- 今回実装したプログラムではNOT_INITIALIZED割合が悪化する結果と向上する結果が得られた
 - 実験回数を増やしてみる
- RECENTLY_LOST割合, LOST割合を向上させる結果が得られなかった
 - 使用データがSLAMに失敗しやすいデータであった可能性
 - 実装方法の違いによる可能性

4.2 今後の課題

- 実験回数を増やす
- 実装方法の確認
- 現実世界よりもオブジェクトの少ない仮想世界で撮影していたため、特徴量の少ない画像を用いていた可能性がある
 - 入力される画像の特徴量が多くなるようにする