

卒業論文

Navigation2における パラメータ調整でのロボットの挙動の調査

Investigation of robot behavior

when adjusting parameters in Navigation2

2025年12月19日 提出

指導教員 林原 靖男 教授

千葉工業大学 先進工学部 未来ロボティクス学科

22C1085 坪内優輝

概要

Navigation2 におけるパラメータ調整での ロボットの挙動の調査

本論文では、ROS 2 における Navigation2 を用いた自律移動ロボットのパラメータ調整が、ロボットの挙動に与える影響について調査する。本研究室では、屋外自律移動ロボットの研究を行っており、津田沼チャレンジやつくばチャレンジといった実環境での自律走行競技に参加している。

Navigation2 を用いた自律移動では、自己位置推定、経路計画、障害物回避などを実現するために多数のパラメータを適切に設定する必要がある。しかし、これらのパラメータがロボットの挙動にどのような影響を与えるかについては十分に整理されておらず、特に屋外環境においては調整が困難である。実際にロボットの調整を行う過程においても、パラメータ設定によって意図しない挙動や走行性能の低下が生じる問題が確認された。

そこで本研究では、Navigation2 における各種パラメータを変化させた際のロボットの挙動の変化を明らかにすることを目的とする。ロボットの挙動に影響を与えると考えられるパラメータを対象として走行実験を行い、それぞれの設定値における走行挙動を比較・分析した。

実験の結果、調査対象としたパラメータの中から、ロボットの走行安定性や経路追従性能に大きな影響を与えるものを確認することができた。これらの結果から、Navigation2 におけるパラメータ調整の指針を得ることができ、今後のロボット調整作業の効率化や、問題の挙動の原因究明に有用であることが示された。

キーワード: 屋外自律移動ロボット、ナビゲーション、パラメータ

abstract

Investigation of robot behavior when adjusting parameters in Navigation2

This thesis investigates the effects of parameter tuning in Navigation2 on the behavior of autonomous mobile robots using ROS 2. Our laboratory conducts research on outdoor autonomous mobile robots and participates in real-world autonomous navigation competitions such as the Tsudanuma Challenge and the Tsukuba Challenge. Autonomous navigation using Navigation2 requires appropriate tuning of numerous parameters to achieve functions such as self-localization, path planning, and obstacle avoidance. However, the influence of these parameters on robot behavior has not been sufficiently organized, and parameter tuning remains particularly challenging in outdoor environments. In practice, during the tuning process of the robot, issues such as unintended behavior and degradation of navigation performance were observed depending on parameter settings. Therefore, the objective of this study is to clarify the changes in robot behavior caused by variations in parameters in Navigation2. Driving experiments were conducted by adjusting parameters that are considered to significantly affect robot behavior, and the resulting navigation behaviors under different parameter settings were compared and analyzed. Experimental results confirmed that several of the investigated parameters have a significant impact on the stability of robot motion and path-following performance. These findings provide useful guidelines for parameter tuning in Navigation2 and contribute to improving the efficiency of robot configuration and identifying the causes of problematic behaviors.

keywords: outdoor autonomous mobile robot, navigation, parameters

目次

| | |
|---------------------------|----|
| 第 1 章 序論 | 1 |
| 1.1 背景 | 1 |
| 1.2 目的 | 2 |
| 1.3 論文の構成 | 2 |
| 第 2 章 要素技術 | 3 |
| 2.1 ROS2 | 3 |
| 2.2 Navigation2 | 3 |
| 2.3 emcl2 | 4 |
| 第 3 章 パラメータ概要 | 6 |
| 3.1 実験で使うパラメータ | 6 |
| 3.2 パラメータの詳細 | 8 |
| 3.2.1 emcl2 | 8 |
| 第 4 章 実験 | 10 |
| 4.1 実験方法 | 10 |
| 4.2 実験結果 | 11 |
| 第 5 章 結論 | 12 |
| 5.1 まとめ | 12 |
| 参考文献 | 13 |

目次

vi

付録

14

謝辞

15

図目次

| | | |
|-----|--------------------------|---|
| 2.1 | Structure of Navigation2 | 4 |
|-----|--------------------------|---|

表目次

| | | |
|-----|---------------------------------------|---|
| 3.1 | emcl2 におけるパラメーター一覧 | 6 |
| 3.2 | Nav2 の Controller に関するパラメーター一覧 | 7 |
| 3.3 | Nav2 の Costmap に関するパラメーター一覧 | 7 |
| 3.4 | Nav2 の Velocity Smoother に関するパラメーター一覧 | 7 |
| 3.5 | Nav2 の Planner およびゴール判定に関するパラメーター一覧 | 8 |

第1章

序論

1.1 背景

近年，屋外自律移動ロボットの研究が盛んに行われてあり，ROS 2 を用いた自律移動システムの実環境への適用が進んでいる．本研究室では，屋外環境における自律移動ロボットの研究を行っており，津田沼チャレンジやつくばチャレンジといった実環境での自律走行競技に参加している．

これらの競技では，ロボットが屋外環境を安定して走行するために，高いナビゲーション性能が求められる．Navigation2 を用いた自律移動では，自己位置推定，経路計画，障害物回避などを実現するために，多数のパラメータを適切に調整する必要がある．しかし，ロボットの調整作業を行う過程において，パラメータ設定によって意図しない挙動や走行性能の低下が生じることが確認された．これらの問題は，パラメータの数が多く，それぞれがロボットの挙動に与える影響が分かりにくいことに起因していると考えられる．そのため，Navigation2 におけるパラメータを変化させた際のロボットの挙動を整理し，両者の関係を明らかにすることは，今後のパラメータ調整の効率化や，問題の挙動の原因究明において重要である．

1.2 目的

Navigation2におけるパラメータ調整でのロボットの挙動の変化を調べることを目的とする

1.3 論文の構成

本論文では以下のように構成される

2章では本研究で使用される要素技術

3章では調査するパラメータの概要

4章では実験について

5章では本論文の結論

第2章

要素技術

2.1 ROS2

ROS 2 (Robot Operating System 2) は , 自律移動ロボットをはじめとする様々なロボットシステムを構築するためのミドルウェアである . 近年 , ロボットは研究用途にとどまらず , 幅広い商用分野や実環境での利用が進んでおり , 高い信頼性や拡張性が求められている .

従来の ROS 1 は , モジュラーなフレームワークと豊富なオープンソースコンポーネントによってロボット研究の発展に大きく貢献してきたが , 実運用を想定した通信の信頼性やリアルタイム性などの点で課題があった . ROS 2 はこれらの課題を解決するために設計され , 分散システムとしての拡張性や信頼性を重視したアーキテクチャを備えている .

このように ROS 2 は , センシング , 経路計画 , 移動制御 , 自律機能といったロボットに共通する要素を統合的に扱うことができ , 研究から実運用まで幅広い用途に対応可能なロボット開発基盤である .

2.2 Navigation2

Navigation2 (Nav2) は , 自動運転車向けに開発されたナビゲーション技術を , 移動ロボットおよび地上ロボット向けに導入・最適化・再構築した , ROS におけるナビゲーションスタックの後継フレームワークである . Nav2 を用いることで , 移動ロボットは複雑な環境内を自律的に移動し , さまざまな運動学モデルを持つロボットに対してユーザー定義のタスクを実行することが可能となる .

Nav2は、単にロボットを地点Aから地点Bへ移動させるだけでなく、中間地点を含む経路の実行や、物体追跡、領域全体を網羅するカバレッジナビゲーションなど、多様なナビゲーションタスクを表現・実行できる。また、知覚、経路計画、制御、自己位置推定、可視化といった、自律移動に必要な機能を統合的に提供することで、高い信頼性を持つ自律移動システムの構築を可能にしている。

Nav2では、センサ情報や環境モデルを基に動的な経路計画を行い、障害物を回避しながらモータの速度指令を生成することで、状況に応じた柔軟な移動を実現する。さらに、複数の独立したモジュラー構成のサーバをビヘイビアツリー（Behavior Tree）によって統合・制御することで、経路計算や動作制御などの各機能を組み合わせた柔軟なナビゲーション動作を実現している。この構成により、ロボットは複雑かつ多様な自律移動タスクを実行することが可能となる。Fig. 2.1にNavigation2の構造を示す

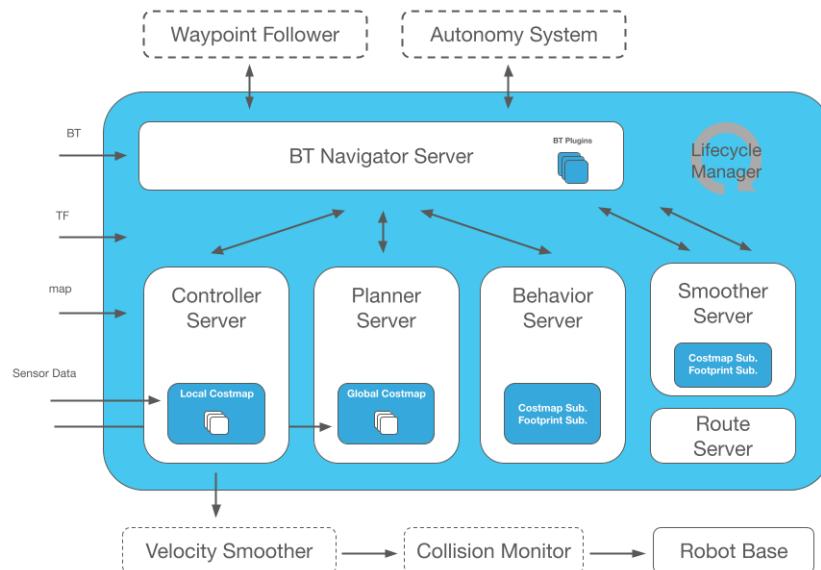


Fig. 2.1 Structure of Navigation2

2.3 emcl2

emcl2(Extended Monte Carlo Localization 2)は、ROS2環境において利用可能な自己位置推定手法の一つであり、パーティクルフィルタに基づくMonte Carlo Localization(MCL)を拡張したローカライゼーションアルゴリズムである。emcl2は、従来のAMCLと同様に、

事前に与えられた地図とセンサ情報を用いてロボットの自己位置を推定するが，より高いロバスト性と拡張性を持つ点に特徴がある．

emcl2 では，複数のパーティクルを用いてロボットの位置姿勢の確率分布を表現し，オドメトリ情報による状態遷移と，LiDAR などの距離センサを用いた観測モデルに基づいて，各パーティクルの尤度を評価する．これらの尤度に基づいて再サンプリングを行うことで，ロボットの自己位置を逐次的に推定する．また，emcl2 はセンサの外乱や環境変化に対しても安定した推定が行えるように設計されている．

第3章

パラメータ概要

3.1 実験で使うパラメータ

Table 3.1 emcl2 におけるパラメーター一覧

| Parameter Name |
|---------------------------|
| odom_fw_dev_per_fw |
| odom_fw_dev_per_rot |
| odom_rot_dev_per_fw |
| odom_rot_dev_per_rot |
| laser_likelihood_max_dist |
| range_threshold |

Table 3.2 Nav2 の Controller に関するパラメーター一覧

| Parameter Name |
|------------------------------|
| max_vel_x |
| max_vel_theta |
| max_speed_xy |
| min_theta_velocity_threshold |
| acc_lim_x |
| acc_lim_theta |

Table 3.3 Nav2 の Costmap に関するパラメーター一覧

| Parameter Name |
|----------------------------|
| global_resolution |
| global_cost_scaling_factor |
| global_inflation_radius |
| local_resolution |
| local_cost_scaling_factor |
| local_inflation_radius |

Table 3.4 Nav2 の Velocity Smoother に関するパラメーター一覧

| Parameter Name |
|---------------------|
| smoothing_frequency |
| max_velocity |
| max_accel_ms |
| max_accel_rads |

Table 3.5 Nav2 の Planner およびゴール判定に関するパラメーター一覧

| Parameter Name |
|------------------------|
| linear_granularity |
| angular_granularity |
| xy_goal_tolerance |
| trans_stopped_velocity |
| planner_tolerance |

3.2 パラメータの詳細

3.2.1 emcl2

odom_fw_dev_per_fw

前進移動時における前進方向のオドメトリ誤差を表すパラメータである。値を大きくするとオドメトリを信頼しにくくなり、パーティクルの分散が大きくなる。

odom_fw_dev_per_rot

回転動作時における前進方向のオドメトリ誤差を表すパラメータである。値を大きくすると、回転時の前進誤差を大きく見積もるため、自己位置推定の不確実性が増加する。回転動作の多い環境では、推定安定性に影響を与える。

odom_rot_dev_per_fw

前進移動量に対する回転方向のオドメトリ誤差を表すパラメータである。値を大きく設定すると、直進時の姿勢角誤差を大きく考慮するようになる。これにより、直進走行中の姿勢推定のばらつきが増加する。

odom_rot_dev_per_rot

回転動作時における回転方向のオドメトリ誤差を表す。値を大きくすると回転量の信頼度が低下し、姿勢角の推定誤差が大きくなる。旋回動作の安定性に影響を与える重要なパラメータ

である。

`laser_likelihood_max_dist`

レーザスキャンを用いた尤度計算において考慮する最大距離を設定するパラメータである。値を大きくすると遠方の障害物まで尤度計算に含まれるが、計算誤差の影響を受けやすくなる。屋外環境では環境特性に応じた調整が必要である。

`range_threshold`

レーザスキャンデータの有効距離の上限を設定するパラメータである。この値を超える測距データは無効として扱われる。外乱やノイズの多い環境では、自己位置推定の安定化に寄与する。

第4章

実験

4.1 実験方法

実験の仕方

etc...

4.2 実験結果

etc...

第5章

結論

5.1 まとめ

etc...

参考文献

- [1] Nav2 — nav2 1.0.0 documentation. <https://docs.nav2.org/>. (Accessed on 11/27/2025).
- [2] Ros 2 documentation — ros2 documentation:rolling. <https://docs.ros.org/en/rolling/index.html>. (Accessed on 12/18/2025).
- [3] 井口颯人, 橋高聖人, 野村駿斗, 村林孝太郎, 上田隆一, 林原靖男. 屋外自律移動ロボットプラットフォーム orne-box の開発 orne-box の検証・改良 . ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2023, pp. 1P1–I06. 一般社団法人 日本機械学会, 2023.
- [4] emcl2/ryuichiueda — 拡張リセット付きの mcl(バージョン 2). <https://github.com/ryuichiueda/emcl2>. (Accessed on 12/18/2025).

付録

謝辞

本研究を進めるにあたり，1年に渡り，熱心にご指導を頂いた林原靖男教授に深く感謝いたします。