

3次元環境地図を用いた不整地走行無人車両の経路計画

田中 佑典^{*1}, 池 勇勳^{*1}, 田村 雄介^{*1}, 木村 麻衣^{*2}, 梅村 篤志^{*2},
金島 義治^{*2}, 村上 弘記^{*2}, 山下 淳^{*1}, 浅間 一^{*1}

Path Planning for Off-Road UGVs Using 3D Environment Map

Yusuke TANAKA^{*1}, Yonghoon JI^{*1}, Yusuke TAMURA^{*1},
Mai KIMURA^{*2}, Atsushi UMEMURA^{*2}, Yoshiharu KANESHIMA^{*2},
Hiroki MURAKAMI^{*2}, Atsushi YAMASHITA^{*1} and Hajime ASAMA^{*1}

^{*1} Department of Precision Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo,
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

^{*2} IHI Corporation, 1 Shinnakahara-chou, Isogo-ku, Yokohama-shi, Kanagawa 235-8501, Japan

This paper describes a novel path planning method for off-road UGVs in large scale environment with terrain. A sampling-based motion planning scheme is applied to carry out global path planning based on the OctoMap. To take UGV's state propagation model into account, we carry out state sampling in a configuration space. During path planning in the configuration space, state validity is checked based on the inclination information of the 3D environment map and collision between the UGV model and the OctoMap. Experimental results show that the proposed method can generate appropriate path of the off-road UGV in large scale environment with terrain.

Key Words : Autonomous, Path planning, Terrain traversability analysis, Unmanned ground vehicle

1. 緒 言

近年、無人車両 (UGV: Unmanned Ground Vehicle) に関する研究が注目を集めている。不整地の存在する環境中で UGV が自律して走行する際には、UGV は適切な経路計画を行い、横転や滑落の危険がある不整地を回避し、走行可能な不整地の中から走路を選択する必要がある。

UGV の経路計画を扱った関連研究では、不整地走行移動ロボットの経路計画において、Rapidly-Exploring Random Trees (RRT) を始めとしたランダムサンプリングに基づく経路計画法⁽¹⁾を適用する手法が提案されている⁽²⁾⁽³⁾。しかし、これらの手法では、経路上での車両のロール角・ピッチ角の変化といった3次元的な姿勢変化が考慮されておらず、車両の登坂性能を始めとした各種特性値を鑑みると不適切な経路が生成される可能性がある。この問題点を踏まえ、本研究では不整地を含む環境地図に対して UGV の経路計画を行い、車両特性を考慮した上で車両の3次元的な姿勢変化も含んだ走行経路を生成可能な手法を提案する。

2. 提 案 手 法

提案手法の全体的なプロセスを図1に示す。本研究では、3次元環境地図を既知情報として用いる。まず、3次元環境地図を構成する点群データに対して八分木のデータ構造を持つ OctoMap を導入する。OctoMap による3次元環境地図に対して UGV の初期位置・姿勢、および目標位置・姿勢を指定し、ランダムサンプリングに基づく経路探索を実行し、UGV の経路計画を行う。ランダムサンプリングに基づく経路探索では、コンフィグレーション空間 (C 空間) の概念を導入し、UGV の位置・姿勢からなる6次元の C 空間において UGV の初期コンフィグレーションから目標コンフィグレーションまで到達する経路を探索する。C 空間での経路探索では、C 空間中にランダムにノードを生成し、C 障害物と干渉していないノード同士を徐々に連結していく。提案手法では、C 障害物との干渉を判定するために、UGV は環境中の障害物を回避し比較的平坦な領域を走行する必要があるという方針に基づき、次の2種類の評価基準を設ける。

- (i) 3次元環境地図中で新ノードが生成された地点の傾斜情報が、UGV の対応可能な傾斜角度値以内であるかどうか。
- (ii) UGV が3次元環境地図と干渉していないか。

^{*1} 東京大学大学院工学系研究科精密工学専攻 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1) {tanaka, ji, tamura, yamashita, asama}@robot.t.u-tokyo.ac.jp

^{*2} 株式会社 IHI (〒 235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町 1) {mai_kimura, atsushi_umemura, yoshiharu_kaneshima, hiroki_murakami}@ihi.co.jp

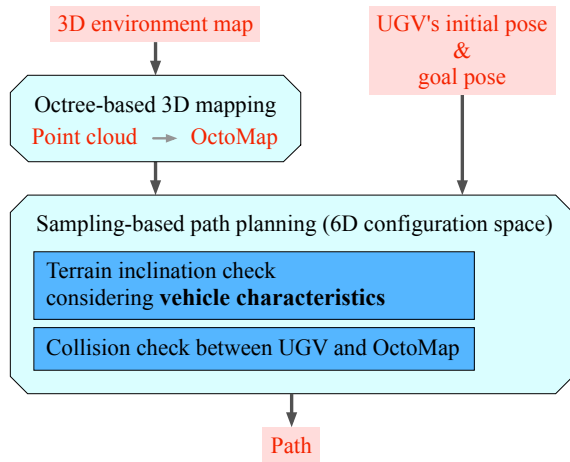


Fig. 1 Overview of the proposed method.

これら2種類の評価基準に基づき新ノードのC障害物との干渉を判定し、基準を満たしたノード同士を連結することで経路探索を行う。以上の処理によって、UGVの初期位置・姿勢から目標位置・姿勢までの経路計画を行う。

3. 実証実験

提案手法の有効性を検証するため、人工的に作成した3次元環境地図に対して提案手法による経路計画を実行し、UGVのための適切な経路が出力可能か検証を行った。本実験において想定したUGVには車両特性値として、走行速度 v に応じたロール角 ϕ ・ピッチ角 θ の最大傾斜角 $\phi_{\max}(v), \theta_{\max}(v)$ が定められている。具体的には、走行速度 v が遅いほど対応可能な最大傾斜角 $\phi_{\max}(v), \theta_{\max}(v)$ が大きくなり、 v が速いほど $\phi_{\max}(v), \theta_{\max}(v)$ が小さくなる車両特性となっている。そこで、評価基準(i)によってC空間中に生成されたランダムノード i の状態を評価する際には、ノード i が持つ並進方向速度 v_i に対応した最大傾斜角 $\phi_{\max}(v_i), \theta_{\max}(v_i)$ の値を算出し、その値を用いて傾斜情報を評価する。

実証実験の結果を図2に示す。本実験では、経路探索の際に、並進方向速度 v_i について、10 km/hおよび25 km/hを中心としたランダムサンプリングを行い速度を生成した。そして、それぞれのケースにおいて経路の生成結果を確認した。10 km/hを中心として v_i を生成した場合は、対応可能な最大傾斜角が比較的大きくなることから、図2(a)に示すように環境地図中央の起伏部を走破するような経路が生成されている。これに対して、25 km/hを中心として v_i を生成した場合には、最大傾斜角の制限値が小さくなることから、図2(b)に示すように起伏部を迂回するような経

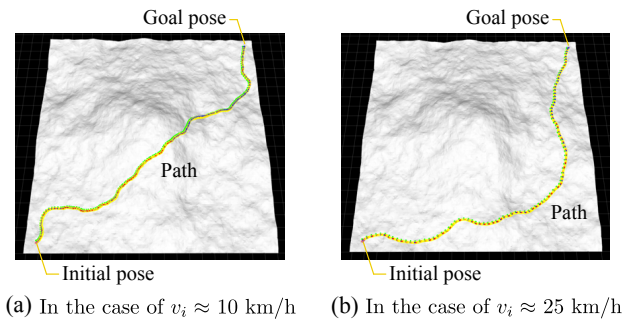


Fig. 2 Experimental results.

路が生成されている。この結果から、提案手法によってUGVの3次元的な姿勢変化および車両特性を考慮した6自由度での走行経路を生成可能であることが確認できた。

4. 結 言

本研究では、不整地を含む環境地図に対してUGVの経路計画を行うための手法を提案した。提案手法では、OctoMapにより表現された3次元環境地図に対してランダムサンプリングに基づく経路探索を実行することで最終的なUGVの経路を生成した。

実証実験では、既知の3次元環境地図に対して提案手法を適用し、UGVの車両特性を考慮した6自由度での経路が生成可能であることを確認した。

今後の課題としては、さらに多様な環境中での提案手法の有効性検証や、生成された経路に沿ってUGVの行動制御を行うための方法論についても検討を進めることが重要である。

謝 辞

本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された革新的研究開発促進プログラム (ImPACT) 「タフ・ロボティクス・チャレンジ」の援助を受けた。

参 考 文 献

- (1) S. Karaman and E. Frazzoli, "Sampling-based Algorithms for Optimal Motion Planning", *The International Journal of Robotics*, Vol. 30, No. 7, (2011), pp. 1–76.
- (2) M. Ono, T. J. Fuchs, A. Steffy, M. Mainone, and J. Yen, "Risk-aware Planetary Rover Operation: Autonomous Terrain Classification and Path Planning", *Proceedings of the 2015 IEEE Aerospace Conference*, (2015), pp. 1–10.
- (3) J. Lee, C. Pippin, and T. Balch, "Cost Based Planning with RRT in Outdoor Environments", *Proceedings of the 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, (2008), pp. 684–689.