

グリッドマップを用いた探査ローバのロバストな自己位置推定

Robust Localization of a Space Rover Using Grid Map

○小柳里穂¹, 内山賢治², 増田開²*Riho Koyanagi¹, Kenji Uchiyama², Kai Masuda²

This paper describes the design method of the control system of a space rover. SLAM has been treated to construct or update a map of an unknown environment without the use of GPS. The primary disadvantage of the method is the need to recover a state estimate in the update step that requires inversion of the information matrix. This means that it is difficult to realize guidance and control of a space rover in real time. To overcome this problem, we propose the method that consists of the potential function method and the grid mapping approach that estimates the posterior probability over a map given the data of obstacles. We carry out the numerical simulation to verify the validity of the proposed method for a space rover.

1. 諸言

惑星探査ローバは、非 GPS 環境下でミッションを遂行する必要があるため、自己位置推定及び地図構築を同時に行う SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) は有効な手段の一つと考えられている。そこで、SLAM とポテンシャル関数誘導法を併用し、探査環境に柔軟に対応可能な手法を提案してきた。しかし、この手法は障害物の判別を前提条件としており、障害物の判別が不可能であった場合、正確に自己位置推定を推定することは難しい。また、時間と共に障害物のデータ量が増加し、誘導制御を行う際に計算負荷が大きくなり、リアルタイム処理も困難となる。これに対して、自己位置推定に用いる環境地図に占有グリッドマップの利用が提案されている。この手法は、各グリッド点で時系列方向の物体の観測履歴を、セルの占有確率値として保持するもので^[1]、データの蓄積量が少なくリアルタイム処理が可能となる。

本稿では、探査ローバに対して、占有グリッドマップを用いた障害物判別法とポテンシャル関数誘導法を併用し、より正確に、かつ計算負荷の少ない誘導制御系を提案する。最後に、数値シミュレーションにより本手法の有効性を確認する。

2. 探査ローバの誘導

2.1 状態遷移方程式

探査ローバの状態遷移方程式を以下に示す。

$$\mathbf{x}_R(k+1) = \mathbf{f}(\mathbf{x}_R(k), \omega(k), V(k)) \quad (1)$$

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}_R(k), \omega(k), V(k)) = \begin{bmatrix} x_R(k) + TV(k)\cos\theta_R(k) \\ y_R(k) + TV(k)\sin\theta_R(k) \\ \theta_R(k) + T\omega_R(k) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$\mathbf{x}_R(k) = [x_R(k) \ y_R(k) \ \theta_R(k)]^T \in R^3$ は、探査ローバの状態ベクトル、 $\mathbf{x}_R(k)$ の成分 $x_R(k)$, $y_R(k)$, $\theta_R(k)$ は探査ローバの x 座標、 y 座標 及び姿勢角である。また、 $V(k)$ は探査ローバの速度、 $\omega_R(k)$ は角速度、 T はサンプリング周期である。探査ローバの座標系を Figure 1 に示す。

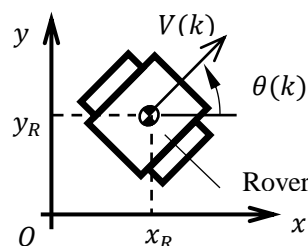


Figure 1. Definition of state variables of space rover

2.2 ポテンシャル関数誘導法^[2]

誘導及び反発ポテンシャルを次式で定義する。

$$U^S(\mathbf{x}_R) = C_S \sqrt{(x_R - x_d)^2 + (y_R - y_d)^2} + L_S \quad (3)$$

$$U_j^R(\mathbf{x}_j) = C_r \sum_{j, j \neq 1} \exp\left(-\frac{|\mathbf{x}_j|}{L_r}\right) \quad (4)$$

上式において、誘導ポテンシャル U^S 、反発ポテンシャル U^R 、各ポテンシャルの勾配の大きさ C_S , C_r 、平衡点付近の勾配変化率 L_S 、反発ポテンシャルの影響範囲を L_r としている。ここで、 x_d , y_d は目標位置、 $\mathbf{x}_j = [x_j \ y_j]^T$ は障害物の位置ベクトルである。

2.3 障害物判別

障害物の判別には、空間を等間隔のグリッドで区切り、グリッドで障害物を構成する地図であるグリッドマップ^[2]を用いる。この手法では、探査対象の領域を図のようにセルに分割し、以下のように障害物を判別する。

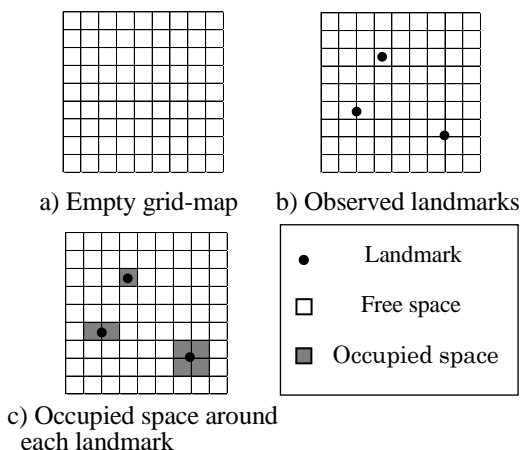


Figure 2. Grid map

障害物を判別するために、障害物の位置情報を座標データとして格納する場合、メモリ使用量が膨大になってしまう。また、ノイズを含んだ観測値に対しては以前観測した値との差異により新たな障害物として認識してしまう。一方、グリッドマップを用いた際は、センサからの距離データをグリッドに保存していく際にその属性だけを保存し、座標値はその都度破棄していくことができるためメモリ使用量が増加しない利点がある⁴⁾。さらに、グリッドインデックスを用いることにより、障害物の判別を行う事ができるというメリットがある。

3. 制御系

探査ローバの制御系のブロック線図を Figure 3 に示す。非 GPS 環境下を模擬するため、ローバは左右の車輪の角速度 $\omega_w = [\omega_{WR} \ \omega_{WL}]^T$ と障害物の位置をセンサから計測し、自己位置の推定を行う。探査ローバの目標位置と推定されたローバの位置 $\hat{\mathbf{X}} = [\hat{x}_R \ \hat{y}_R \ \hat{\theta}]^T$ を用いて、ポテンシャル関数誘導法により障害物を考慮した速度および方位角の指令値 $\mathbf{r} = [v_d \ \theta_d]^T$ が生成される。また、障害物位置 $[x_j \ y_j]$ に対応するセル情報から求めた障害物位置を $[\hat{x}_j \ \hat{y}_j]$ と表し、ポテンシャル場を生成する際は推定された障害物位置を用いる。

4. 数値シミュレーション

障害物の判別を検証するため、2つの障害物を互いに近い距離に設定し、探査ローバを目標位置まで誘導するシミュレーションを行った。以下、シミュレーション条件を Table.1, ローバの軌跡を Figure 4 に示す。

探査ローバの軌跡をみると探査しながら目標位置付近に到達していることが確認できる。その際、2つの障害物それぞれに対し、セルが対応して認識している。したがって、グリッドマップを用いることで、障害物を判別し回避していることがわかる。

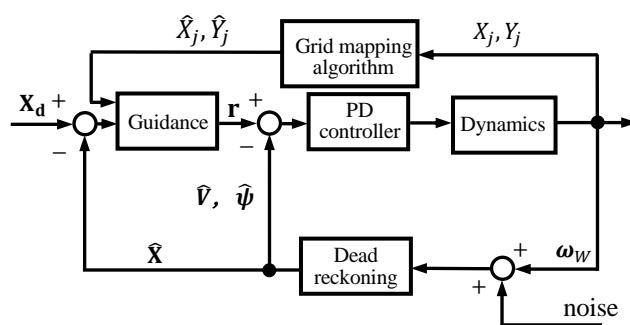


Figure 3. Block diagram

Table 1. Simulation parameters

Sampling time t [s]	0.1
Initial position x_0, y_0 [m]	[0, 0]
Desired position x_d, y_d [m]	[8, 2]
Position of landmark x_j, y_j [m]	[4, 0], [5, 0]
Repulsive potential function C_r, L_r [-]	[0.3, 0.5]
Steering potential function C_s, L_s [-]	[0.08, 0.3]

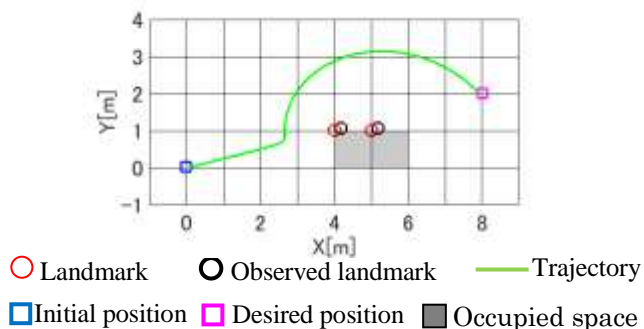


Figure 4. Simulation result

5. 結言

惑星探査ローバの誘導において、グリッドマップを用いた障害物の判別およびポテンシャル関数誘導法を併用した手法を提案し、数値シミュレーションによって有効性を確認した。今後は、滑りを考慮した環境下で、自己位置推定を行い、本手法の有効性を実験により検証する。

参考文献

[1] Trung-Dung Vu, Olivier Aycard, Nils Appenrodt : “ Online Localization and Mapping with Moving Object Tracking in Dynamic Outdoor Environments”, Proceedings of IEEE on Intelligent Vehicles Symposium, pp.190-195,2007

[2] Daiki Koike and Kenji Uchiyama : ”Escaping Local Minima Using Repulsive Particles in FastSLAM for Space Rover”, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol.6, No.6, pp.506-511,2017.

[3] 窪田朋仁, 上撫琢也, 前泰志, 新井健生, 大原賢一 : 「高解像度 NDT グリッドマップを用いた環境地図生成」, 日本機械学会論文集(C 編), 78 巻, 793 号, pp.3186-3201,2012.