

MAS により効率化した Space Rover の誘導制御

Efficient guidance and control of space rover by MAS

○澁谷浩平¹, 内山賢治²○Kohei Shibuya¹, Kenji Uchiyama²

Abstract: We propose a guidance method for a planetary exploration without use of image information of a camera. A rover identifies its position by using the simultaneous localization and mapping (SLAM). We combine a reliable estimation ability of extended Kalman filter (EKF) and SLAM. A guidance law for a planetary exploration is obtained from a gradient field of artificial potential functions. However, sometimes a control objective cannot reach a desired position when using the guidance law because there is a possibility that potential functions have local minima. We employ Adaptive Temperature Parallel Simulated Annealing (ATPSA) to accomplish an exploration rover mission without impairment of real-time property.

1. 諸言

従来の惑星探査ローバでは、惑星を周回する衛星から得られる画像データをもとに経路設計及び自己位置推定を行う。しかし、衛星からのデータが途絶した場合にミッションの遂行は困難となる。この問題に対して、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) という手法が有効である。SLAM は搭載するセンサ情報から自己位置推定と地図構築を同時に行うことが可能である。また、経路設計を必要とせず計算負荷が少ない誘導手法としてポテンシャル関数誘導法がある。

そこで本稿では、SLAM とポテンシャル関数誘導法を併用し、これを惑星探査ローバの誘導に適用する問題を取り扱う。提案手法は画像情報を用いないので CPU への計算負荷が少なく、また経路設計を必要としないため未知領域でも柔軟な対応が可能となる。しかし、ポテンシャル関数から生成されるポテンシャル場には局所解が存在することがあり、その場合、局所解に囚われ目的地に到達できない。局所解から脱する方法として SA (Simulated Annealing) を応用した ATPSA (Adaptive Temperature Parallel Simulated Annealing) を本手法に適用し、探査ローバの誘導を行う。ただし ATPSA は、局所解から脱するために繰り返し計算が必要となり、リアルタイム性を損なう場合がある。そこで、複数の探査ローバで構成する MAS (Multi Agent System) を構築し、情報の共有及び統一化により、解の探索にかかる時間の軽減を図る。最後に数値シミュレーションにより提案する手法の有効性を検証する。

2. 探査ローバの誘導

2.1 SLAM

SLAM は、各種センサから得られた情報を相互に利用することで、より高精度な自己位置推定と地図構築

を可能とした手法である。本システムでは EKF (extended Kalman filter) を併用した SLAM を適用し探査ミッションを遂行する^[1]。

2.2 ポテンシャル関数誘導法

本研究では、誘導則に仮想的なポテンシャル場の勾配を用いて機体を誘導するポテンシャル関数誘導法を適用する。この手法は障害物に高ポテンシャル場を、目的地に低ポテンシャル場を設定することで障害物を回避しながら目的地へ誘導を行う。ここでは、ポテンシャル関数を誘導ポテンシャル U^S と反発ポテンシャル U_j^R の和で定義する。また、 U^S 及び U_j^R は次式とする。

$$U^S(\mathbf{x}) = C_s \sqrt{x^2 + y^2 + L_s} \quad (1)$$

$$U_j^R(\mathbf{x}_j) = C_r \sum_{j,j \neq 1} \exp\left(-\frac{|\mathbf{x}_j|}{L_r}\right) \quad (2)$$

ここで、添字 j を j 番目の障害物、誘導ポテンシャルの勾配の大きさを C_s 、平衡点付近の勾配変化率を L_s 、反発ポテンシャルの勾配の大きさを C_r 、反発ポテンシャルの影響範囲を L_r と定義する。 $\mathbf{x}$ は位置ベクトルを表し、 $\mathbf{x}_j = |\mathbf{x} - \mathbf{x}_j|$ は機体と障害物間の相対距離とする。

探査ローバの誘導則には、ポテンシャル関数から導かれる速度場を利用する。 x 方向と y 方向の速度指令値は、それぞれ次式のように導出される。

$$V_x = -\frac{\partial U^S(\mathbf{x})}{\partial x} - \frac{\partial U_j^R(\mathbf{x}_j)}{\partial x} \quad (3)$$

$$V_y = -\frac{\partial U^S(\mathbf{y})}{\partial y} - \frac{\partial U_j^R(\mathbf{y}_j)}{\partial y} \quad (4)$$

速度 V_d と指令方位角 ψ_d は以下のように導出される。

$$V_d = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (5)$$

$$\psi_d = \tan^{-1} \left(\frac{V_y}{V_x} \right) \quad (6)$$

2.3 ATPSA

ポテンシャル関数誘導法では、障害物と目的地にそれぞれ設定した真逆のポテンシャル場によって局所解を生じることがある。これにより、探査ローバは局所解の地点を目的地と誤認し、探査を終了してしまう。

この問題に対し、最適化手法の一つである SA を応用した ATPSA を適用し局所解からの脱出を試みる。

本研究では、三木らの ATPSA^{[2], [3]} に対し、MAS を構築することでリアルタイム性を損なわない新たな ATPSA を提案する。具体的には、局所解に囚われた機体の位置・姿勢角及び地形情報を全体で共有しそれぞれで最適化計算を行い、その中で最も評価値の高い解を採用することで ATPSA の効率化を図ることが可能となる。

3. 数値シミュレーション結果

数値シミュレーションでは、EKF-SLAM とポテンシャル関数誘導法を併用した手法を、単機あるいはマルチエージェントを構築したシステムに対して適用し探査ミッションを行う。大域的最適解の探索には ATPSA を用い、これにより局所解から脱出することで探査ミッション継続の可能性を示す。本稿では、数値シミュレーションにより、局所解からの脱出の可能性だけでなく、MAS を構築することで情報を全体で共有し、ATPSA による解の探索の効率化がなされているかについても検証する。

Fig.1に探査ローバの軌跡を示す。Fig.1(a)が探査ローバ単機でATPSAを適用しないケース、Fig.1(b)がその逆のケース、Fig.1(c)及び(d)はそれぞれ探査ローバ4台及び5台でATPSAを適用した結果を示す。

Fig.1(a)より、Rover1がランドマークである壁のくぼみ付近で局所解に陥り、目的地へ到達できていないことがわかる。これに対しFig.1(b), (c)及び(d)を見ると、ATPSAを適用することで局所解から脱し目的地へ到達していることが分かる。これより、ポテンシャル関数で生じた局所解に対しATPSAが有効に働いていることが確認できる。また、Fig.1(b), (c)及び(d)のRover1の軌跡より、MASを構築したATPSAの適用台数が増えることで局所解から脱するための探索時間が短くなっていることがわかる。これより、MASで情報を共有及び統一化することで、ATPSAの効率化がなされていることがわかる。

4. 結言

探査ローバの誘導における局所解の問題に対して、MAS で効率化を図った新たな ATPSA を提案し、数値シミュレーションによりその有効性を検証した。単機あるいは複数機で ATPSA を適用した探査ローバが局所解から脱出し、また台数で探索時間に差が生じることを確認できた。このことから、MAS により情報を全体で共有することで、大域的最適解を効率よく探索することができた。今後は、Fig.2 に示した実験機体によって提案手法の有効性を実証する。

参考文献

- [1] 澁谷浩平, 内山賢治:「ATPSA を適用したポテンシャル関数誘導法による惑星探査」, 宇宙科学技術連合講演会講演集, No.58, pp.6, 2014.
- [2] 三木光範, 廣安知之, 笠井誠之, 小野景子:「適応的近傍を持つ温度並列シミュレーテッドアニーリング」, 情報処理学会論文誌, No.44(4), pp.745-753, 2001.
- [3] 三木光範, 廣安知之, 小野景子, 伏見俊彦:「最適な受理確率を目標とする適応的近傍を持つ温度並列シミュレーテッドアニーリング」, 情報処理学会論文誌, No.44(12), pp. 3123-3130, 2003.

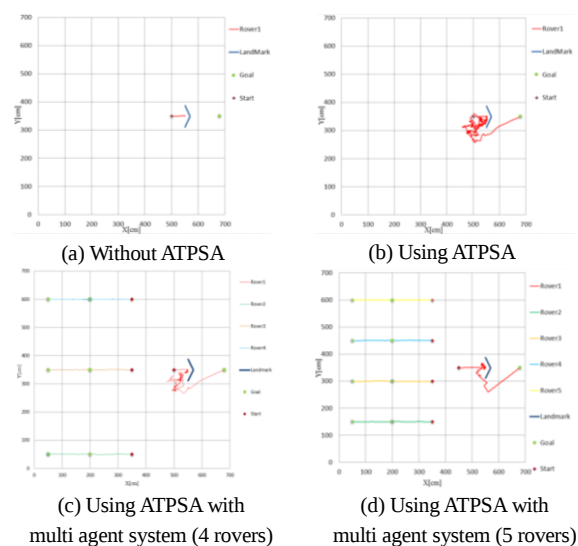


Figure 1. Trajectory of space rover

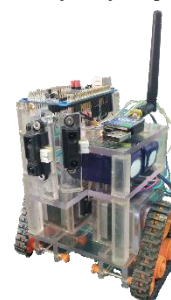


Figure 2. Overview of exploration rover