

状態量の制約を考慮した惑星探査ローバーの誘導 Guidance of Space Rover in Consideration of Constraints on State Variables

○佐野雄哉¹, 内山賢治², 増田開²

*Yuya Sano¹, Kenji Uchiyama², Kai Masuda²

This paper describes the guidance method of an exploration rover in an unknown planet. Generally, an exploration rover needs to avoid the obstacles in an unknown environment where there are not GPS and map information. At such an environment, the potential function is one of the effective method for avoiding obstacles and steering to the destination. However, it has a problem that does not consider constraints of the input and state variables. To overcome that problem, we apply the DWA(Dynamic Window Approach) that considers such a constraints to an exploration rover. The effectiveness of DWA is confirmed by comparing the potential function method on numerical simulation.

1. 諸言

惑星探査ローバーの探査において、目的地到達と障害物回避を同時に行う誘導は重要な役割を担う技術の一つと考えられている。従来では、この代表的な誘導法としてポテンシャル関数誘導法が有効であるとされてきた。^[1]この手法は計算負荷が少なく、また急激な地形変化が想定される未知環境に対して柔軟に対応する事が可能である。しかし、ポテンシャル関数誘導法は、状態量の制約を考慮せずに経路設計を行うため、実機に適さないという問題が挙げられる。そこで、状態量の制約を考慮する手法として DWA(Dynamic Window Approach)^[2]が考案されてきた。この手法はある評価関数を定義し、状態量の制約の基で最適な軌道を設計するため、実機を想定した誘導法としては有効な手段の一つである。本研究では、DWA を惑星探査ローバーに適用し、数値シミュレーションによりその手法の有効性を確認する。また、ポテンシャル関数誘導法と比較し、両手法の相違点を評価する。

2. 惑星探査ローバーの誘導

2.1 ローバーの運動方程式^[1]

探査ローバーの並進・回転の運動方程式を次式に示す。 x は機体座標系である。

$$\begin{aligned} M\ddot{x} &= G(F_1, R_x, v_1) + G(F_2, R_x, v_2) \\ I\ddot{\psi} &= G(M_f, M_r, \dot{\psi}) \end{aligned} \quad (1)$$

評価関数 G を次のように定める。

$$G(F_i, R_x, v_i) = \begin{cases} F_i - R_x \cdot \text{sign}(v_i) & v_i \neq 0 \\ 0 & v_i = 0, |F_i| \leq R_x \\ F_i - R_x \cdot \text{sign}(v_i) & v_i = 0, |F_i| \geq R_x \end{cases} \quad (2)$$

ここで M はローバーの質量、 F は推進力、 R_x はクローラが受ける摩擦力、 I は慣性モーメント、 ψ は方位角である。下付き添え字の i は、1の時に旋回時の内側を2の

時に旋回時の外側を表す。

2.2 ポテンシャル関数誘導法^[3]

ポテンシャル関数誘導法とは障害に高ポテンシャル場を、目的地に低ポテンシャル場を生成することで、障害物回避と目的地誘導を同時に行う手法である。通常、ポテンシャル場は誘導ポテンシャル U_s と反発ポテンシャル U_j^R の和として表される。 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。

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

$$V_y = -\frac{\partial U^S(\mathbf{x})}{\partial Y} - \frac{\partial U_j^R(\mathbf{x}_{jR})}{\partial Y} \quad (4)$$

ここで \mathbf{x}_R は探査ローバーの位置ベクトルを表し、 \mathbf{x}_j は j 番目の障害物の位置ベクトルを表す。 X, Y は慣性座標系である。また $\mathbf{x}_{Rj} = \mathbf{x}_j - \mathbf{x}_R$ は機体と障害物間の相対距離とする。以上より、速度指令値 V_c と指令方位角 ψ_c は次式で算出できる。

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

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

2.3 Dynamic Window Approach^[2]

DWA(Dynamic Window Approach)はローバーの最大と最小の出せる速度と角速度を Window V_s と設定する。その中から現在のローバーの状態量 R_a から得られる速度と角速度を決定し、その Window を V_a と設定する。その重なり合った Window の中から式(7)に示す評価関数を最大にする速度と角速度を決定するというものである。よってローバーの状態量の制約を考慮した値を決定することができる。評価関数を以下のように決定する。

1 : 日大理工・学部・航宇 2 : 日大理工・教員・航宇

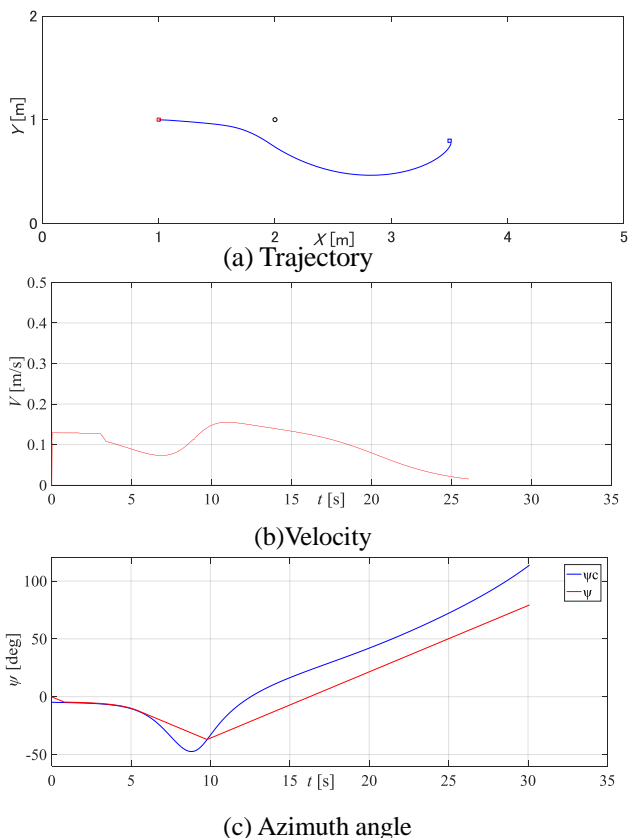


Figure 1 Potential function

$$J(v, \omega) = \alpha \times heading(v, \omega) + \beta \times distance(v, \omega) + \gamma \times velocity(v, \omega) \quad (7)$$

ここで α, β, γ は重み関数である。headingはローバーの方位とゴール方向の角度の差を180度から引いた値である。distanceは最近傍の障害物までの距離である。velocityは単純に制御入力 v を表す。

3. 数値シミュレーション

Figure 1, Figure 2 に従来手法(ポテンシャル関数誘導法), 提案手法(DWA)をそれぞれ用いた場合におけるローバー位置の軌跡, 速度, 方位角の時間履歴を示す。両手法のローバーの軌跡を比較すると, 提案手法は従来手法よりも目的地に到達する距離が短いことがわかる (Fig.1(a), Fig.2(a)). 従来手法で用いた目的地誘導を行うポテンシャル場は, 障害物回避を含む, 経路の最適性を考慮した設計を行うのは一般的に難しい。一方, 提案手法では, 式(7)に示される評価関数に基づいて, ローバーの運動制約内で最適性を保証することができる。また, 従来手法はローバーの方位角が指令値に追従できていない(Fig.1(c)). これは, 従来手法がローバーの運動制約を考慮して指令値を生成していないことが原因である。

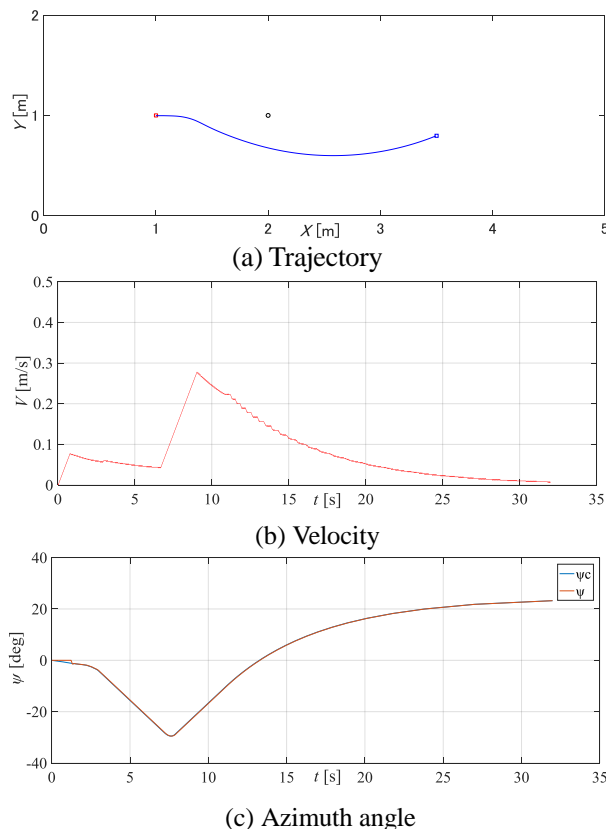


Figure 2 DWA

すなわち, 目的地までの経路最適化及び指令値に対する追従性という点において, 提案手法は従来手法よりも優れていると言え, 数値シミュレーション結果からも有効性を確認できた。

4. 結言

誘導法の一つである DWA を惑星探査ローバーに適用し, 数値シミュレーションにて, 有効性の確認を行った。今後は, 自己位置推定を行う SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)を適用することで, より未知環境を想定したローバーの自律探査を可能とする誘導制御系の設計を行う。

参考文献

- [1] M. Ahmadi, V. Polotski, and R. Hurteau “Path Tracking Control of Tracked Vehicles”, IEEE Robotics & Automation, pp.2938-2943, 2000
- [2] Fox D., Burgard W. and Thrun S., “The Dynamic Window Approach to Collision Avoidance”, IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 3, pp.1280-1287,1977
- [3] 羽鳥龍太, 澁谷浩平, 内山賢治: 走行抵抗を考慮したポテンシャル関数法による惑星探査ローバの誘導, 第59回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1E03, 2015.