

# 距離画像を利用した 惑星ローバの自律誘導手法

伊藤 政宏<sup>†</sup> 中谷 一郎<sup>†</sup> 久保田 孝<sup>†</sup> 飯島 恭彦<sup>‡</sup>  
<sup>†</sup>宇宙科学研究所 <sup>‡</sup>日産自動車

## 1 本研究の意義付け

惑星ローバによる惑星表面の探査を想定する。ローバが惑星上を探査する際、外部環境を認識し、障害物を抽出・経路計画をする必要がある。従来の手法 [Iwata93] では、センサ情報から3次元の高度地図 (Digital Elevation Map、以下 DEM) を作成して障害物を抽出し、経路計画を行っている。地形の複雑さは環境依存性を持つため、どんな地形にも対応できるアルゴリズムは、常時膨大な計算量を必要とする。そのため、ある程度平坦な地形を走行する場合はしばしば冗長となる。そこで我々は、レーザ距離計 (Laser Range Finder、以下 LRF) から得られる距離データを直接誘導に使用することで推論時間の短縮を狙う手法を提案する。障害物が数個となるような比較的平坦な地形を走行する場合に本手法を適用し、従来法と組み合わせることで、全体の走行性能の格段の向上を実現した。

本発表では、直方体を2つおいた場面を想定し、実際に評価した結果を報告する。

## 2 距離画像を直接用いた誘導手法

### 2.1 距離画像について

各々のデータは Azimuth 角  $\theta$ ・Elevation 角  $\varphi$  に対する距離  $l(\theta, \varphi)$  という情報を持つ。今回は画角  $80^\circ \times 40^\circ$  をそれぞれ  $256 \cdot 64$  等分してデータを取得する (図1)

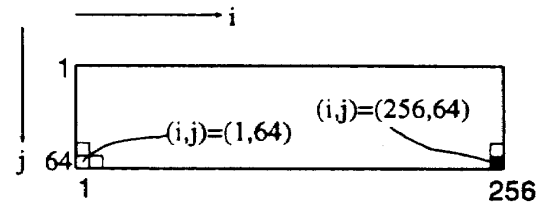


図1: 距離画像データ

### 2.2 ローバの大きさを考慮した障害物マップ (2値) の作成

ローバには走破できる障害物・地形の「高さ」「傾斜角」に限界があるが、今回は高さに関値を設定し、距離画像上で安全領域と障害物領域に分ける。

$$\text{if } l(\theta, \varphi) > \frac{\text{threshold}}{\cos(\varphi)} : \text{障害物} \quad (1)$$

$$\text{else} : \text{安全領域} \quad (2)$$

こうして「障害物」「安全領域」を考えた2値マップができる (図2左)。

距離画像の性質上、ローバをその外接円によって近似すると、あらかじめ障害物領域をローバの半径分多くとって、ローバの中心点に関して経路計画を行うようにすると分かり易い。同一半径の円の写像は  $\varphi$  によって異なるのでそれを考慮すると、図2右のような新たな障害物マップができる。



図2: 左: 障害物マップ 右: ローバの半径考慮

A Method to Navigate Planetary Rover Autonomously Based on Range Image Data

Masahiro ITOH, Ichiro NAKATANI, Takashi KUBOTA, Takahiko IJIMA

Institute of Space and Astronautical Science,  
Nissan Motor Co.,Ltd.

### 2.3 候補経路

ここでは、ローバは直進する場合のみを考える。安全領域を $\omega_{ij} = 1$ 、障害物領域を0とすると、

$$\text{if } \beta_i = \prod_{j=0}^{j_{max}} \omega_{ij} = 1 \text{ then 直進可能} \quad (3)$$

$$= 0 \text{ then 直進不可} \quad (4)$$

となる(但し、 $i, j$ は図1に準ずる)。

直進経路は $i_{max}$ 個あるので、それぞれを候補経路として評価すればよい。

## 3 候補経路の評価

### 3.1 評価手法

経路評価には、安全性・時間的最適性・エネルギー最適性など、相反する指標を取り込んで評価する必要があるため、ファジィ推論によって評価することとする。ここでは簡単のため、「障害物間隔」「操舵角」「ゴール方向とのずれ」の3つを評価指標とする。

それぞれの指標について、2つの自然言語を用意する。それらを結んだルールと結論を、図3に示す。

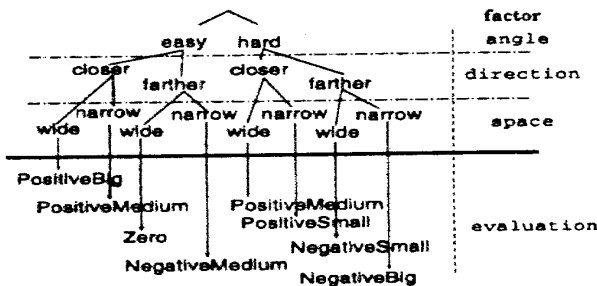


図3: それぞれの指標を利用したルール

ルールの結論は、図3のように7つ用意している。それぞれが持つメンバシップ関数を図4に示す。こ

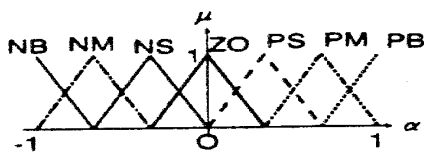


図4: 結果に関するメンバシップ関数

れらに沿ってデファジィして得られる評価値を $\alpha_i$ とする。

### 3.2 評価の例

図2の距離画像を基にして、上記の手順でファジィ推論を行った結果を図5に示す(横軸: $i$ 、縦軸: $\alpha_i$ )。ゴール方向は、ローバの正面から見て右に120度であると設定してある。 $\alpha_i$ の最大値を選び、得られた

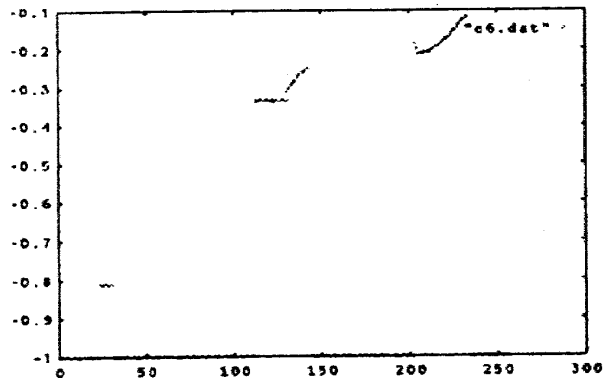


図5: ファジィ推論の結果の例

$i$ の方向に進むと「最良」であるという結論となる。図5では、 $i_{max} = 256$ として、 $i = 233$ の時最大値 $-0.116667$ を取ることが分かる。よって、 $\theta(i)$ の向きに操舵すれば最良だが、その度合はそれほど良くない。これは、120度だとゴール方向から遠ざかる方向にしか進めないことから起こる結果である。

## 4 おわりに

今回、1度のスキャンにおける、直進経路の選択に関しての結果が得られた。この手法を連続的に利用することで、地形走行が可能となると予想される。

今後、「実験的評価」「直進でない候補経路の作成と評価」「他アルゴリズムとの協調メカニズム」における発展を予定している。

## 参考文献

[Iwata93] T.Iwata et al., "Lunar Mobile Explorer, 450KG Concept and Demonstrations", 44th Congress of International Astronautical Federation, 1993.