

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：82645

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630396

研究課題名(和文) 心理的な因子を利用したマルチドメインのコストマップ生成方法の提案

研究課題名(英文) Proposal for building costmap with multiple domain attributes and psychological factor

研究代表者

大槻 真嗣 (Masatsugu, Otsuki)

独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号：50348827

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究期間において、コストマップの作成の手順化について注力をした。まず、マルチドメインの環境認識をするにあたり、環境認識をする母体となるテストベッドローバと環境認識用の計測システムを準備し、フィールド試験を通じて移動と共に多くの情報取得が行えることを確認した。結果として、順方向に重ね合わせが可能な要素データの作成ができるようになったが、空間ならびに時間の同時性、コストマップ製作者の任意性を組み入れることで、マルチドメインのコストマップを製作することはさらなる検討課題と認識された。

研究成果の概要(英文)：This study mainly focused on building the procedure to make the costmap with multiple domain. First, the test bed rover was manufactured and it has the multiple sensors for recognition of environments, which are employed to take optical images, to measure contact force of each moving mechanism and to observe external thermal condition. The field test using it to acquire simultaneously the environmental states was performed; as the result, the elementary environmental data, which can sequentially be superpositioned, was obtained; however, it was recognized that the adequate superposition method for the costmap with considering the intention of a designer and the identity of time and space is one of agendas.

研究分野：制御工学

キーワード：コストマップ 環境認識

## 1. 研究開始当初の背景

国内外問わず多くの自律移動の研究が試みられ、経路計画問題ではサンプリングベースの方法が近年主流となり、効率のかつ適切な経路探索が可能になってきている。しかし、経路計画における計算処理の基本となる「コストマップ」の構築、言い換えれば環境のモデル化では、幾何情報のみを用いるのが大半であり、それ以外の情報、たとえば、力学情報や熱的な情報を併せて考慮するという考え方は少ない。これは、過酷な環境下では、そこに存在するローバの生存率を下げることに繋がる。一方、現在の惑星探査のための探査機設計では、結果的に自律技術あるいは状況に動的に対応する人工知能技術が要らないようなシステムだけが設計解として採用されている現状がある。また、惑星の表面探査にかかる時間のほとんどは「人による判断時間」と「通信時間」であり、移動速度の向上や処理を高速化することは実質的な効果が少ない。

## 2. 研究の目的

そこで、本研究ではまず通信時間の低減ここでは通信量を削減するために、ローバの自律移動の機会を多くする、つまり自律移動の信頼性を高めることを解決すべき課題に設定する。自律移動の機会が増えればそれに伴って人の判断時間も削減できる。そこで、従来考慮していない図1に示されるような幾何情報以外の環境情報を考慮することが自律移動の信頼性を高める手段として考えられる。

ローバでの自律移動において評価すべき項目(例えば、インシデント/アクシデントや機器の設計への反映、移動効率、要求リソース等)の洗い出し、これら評価に必要な情報の分類(例えば、1:直接的に計測できる情報(環境地図、相対位置、温度情報など)、2:間接的に計算さ

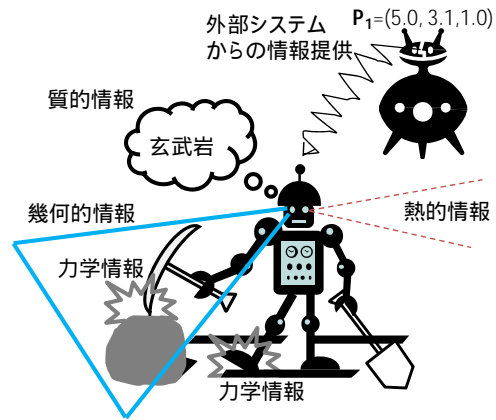


図1 惑星表面等の環境情報

れる情報(質的情報、消費/発電情報、力学情報など)も本研究で体系的に実施する。これらすべてを考慮した環境情報地図を作り上げ、幾何情報(地形)以外の危険性を合わせて認識・排除することで自律移動の信頼性をより向上させることが本研究の目的となる。

## 3. 研究の方法

本研究計画は2点の議論に集約される。ひとつは、マルチドメインの環境情報に基づく評価値によるコストマップの作成の手順、もうひとつは、コストマップの重合方法である。前者では、自然環境の移動で評価すべき項目を明らかにし、直接的な計測センサの選定と間接的に計算する値の導出方法を手順化する。一方、それらの環境情報から重合されたコストマップを生成するために、部分的な情報の抜き出しと、心理的な要因に基づく重み付けに関する手順を、テストベッドを利用して獲得した実データを基本として明らかにする。また、人工的な地形での移動では正当な評価ができないと判断し、積極的にテストベッドを利用した屋外での試験結果を基本とする。

ここでは、環境情報をローバ内部に地図の形式で保持し、この情報を基に経路計画を行う方式の自律移動を想定している。したがって、移動で評価すべき項目の選定と評価値導出のための環境情報の取得が極めて重要で

ある。

自然地形で評価すべき項目は多数あるが、主にインシデント（アクシデント）評価、効率評価、リソース利用評価を本研究では想定する。例えば、インシデント評価では、静的/動的な転倒、落下、スタック（過剰なスリップ）、通信途絶、ダストに巻き込まれる、電源容量の低下、データストレージ容量の低下、スリップ率の増加等が項目として考えられる。また、効率の評価では、走行効率、運用の連続性、さらに、リソース利用の評価では、発電量の最大化、通信経路利得などが評価すべき項目として考えられる。こういった項目のさらなる洗練と、計測/推定すべき状態量、評価値の計算式の導出を実施する。

ここで、評価値導出のための計測または推定すべき環境情報を2種類に分類する。第一に、直接的に計測可能な環境情報として、「幾何情報」、「温度情報」、「他のオブジェクトとの相対位置」を想定し、次に、間接的に計算（推定）される環境情報として、「質的情報」、「消費/発電情報」、「力学情報」を想定する。ここで、「力学情報」は、マニピュレータなどを用いない限り、移動後に取得される情報であるため、間接的に計算される環境情報としているが、計測直後の短い時間でも、十分に危険回避の評価に利用できると考えている。また、「質的情報」とは、例えば、走行する予定の地面が滑りやすい岩盤なのか沈みやすい砂地なのか等、環境が持つテクスチャと実際に影響を受ける事象（力学、温度問わず）を1対1対応させた情報である。評価値の算出を行うために、このような計測する環境情報、計算する環境情報、これらに必要なセンサや処理系の準備から始める。

そして、進捗に応じて複数の環境情報を重ねてコストマップを得るために、重み付け方法を考案し、評価する。ただし、この検討は実機ベースで進めなければならない。なぜなら、自然環境をシミュレーション上で作り上げることは、一般

的な計算機では至難の技である。

#### 4. 研究成果

本研究期間において、コストマップの作成の手順化について注力をした。

まず、マルチドメインの環境認識をするにあたり、環境認識をする母体となるテストベッドローバの製作と環境認識用のカメラやレーザ距離計が搭載可能なジンバルならびにマストを作成した。そして、これらを用いてフィールド試験を通じて移動と共に多くの画像取得が行えることを確認した。高感度のカメラを搭載し、屋外の太陽光下での良好な画像取得、特に影内や高照度域での観測が良好にできることを確認した。しかしながら、洞窟内での計測を実施したところ、低照度環境であることに起因した画像ノイズが大量に発生し、認識に不具合が生じることもわかった。一方で、レーザ測距計による取得画像と比較したところレーザ距離計による計測結果は洞窟内では良好であることが確認できた。これらの知見より高感度カメラとレーザ距離計を同時搭載した、幾何情報を確実に口バストに計測できるシステムの構成案を得ることができた。また、太陽センサを利用して太陽の方向を測定することで、ローバテストベッドを利用した長距離走行試験結果で、太陽位置の推移を観測することができた。また、モアレ干渉縞を利用した力の可視化研究に関して調査し、カメラにより力を計測できることがわかった。しかしながら、搭載性が現状では伴わず、通常のカセンサ等での情報取得が妥当と判断した。上記より、接地荷重、内部温度、負荷電流等のローバ内部情報に基づく後処理用の環境情報ならびに地形の幾何情報、影、太陽といった事前に認識可能な環境情報、これらの情報をどのような手段で獲得すべきかに関して、ある一定の知見を得ることができた。したがって、こ

これらの情報を同時取得し、その位置情報も一致させることで、コストマップの要素データ作成ができることがわかった。

要素データの重合方法について検討を行うために、テストベッドローバを用いたフィールド試験で、走行中の画像カメラによる幾何情報、力センサによる接地力情報、電源系による電力情報の同時取得を行うことを試みるための準備を整えた。また、Resistive Force Theory に基づく移動機構の新しいけん引力推定モデル式を構築し、コストマップの任意の点における走行効率を順方向に導出できるようになった。さらに、フィールドの植生を除去した詳細な地図を入手し、実環境におけるコストマップの評価をするためのデータを整えた。しかしながら、フィールド上でテストベッドが正常に動作せず、地図作成に必要なデータを取得することができなかった。地形傾斜毎にかかる走行電力の一部は計測し、近似式で置き換えることができるようになったが、コストマップの重合方法について深く検討するには不十分であった。

結果として、順方向に重ね合わせが可能な要素データの作成ができるようになったが、空間ならびに時間の同時性、コストマップ製作者の任意性を組み入れることで、マルチドメインのコストマップを製作することはさらなる検討課題と認識された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

1. Masatsugu Otsuki , Kyohei Otsu , Sayuri Sugimura , Tomohiro Oya , Takuma Honda , Ryo Murakami , Takashi Kubota , Development of Planetary Exploration Rover with Advanced Mobility and Intelligence , Proceedings of the

International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space , Montreal , (2014-6)

2. Tomohiro Oya , Kyohei Otsu , Masatsugu Otsuki , Takashi Kubota , Tatsuaki Hashimoto , Development and Evaluation of Novel Pulley Suspension Mechanism for Lunar or Planetary Exploration Rover , Proceedings of the International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space , Montreal , (2014-6)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等なし

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者 大槻 真嗣 (Masatsugu Otsuki) 独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

研究者番号: 50348827

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし