

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 3月31日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500176

研究課題名（和文） Dynamic Texture を用いた惑星地表面特徴分類

研究課題名（英文） Planetary Terrain Classification Using Dynamic Texture

研究代表者

藤田 浩輝（FUJITA KOKI）

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：00315110

研究成果の概要（和文）：

“Dynamic Texture”と呼ばれる動画画像解析手法を用いて、走行中の惑星探査ローバー上の視点から得られる地表面動画画像を処理することにより地表面の異なる特徴（土壌の種類、車輪の滑りやすさ等）を推定・分類する手法の提案を行った。最終的に、2輪型のテストベッドローバーを用いた走行・画像取得実験により提案手法の有用性について実証を行った。

研究成果の概要（英文）：

Using a motion image processing technique called “Dynamic Texture”, a classification method for different characteristics included in terrain image sequences (soil types, slippage between terrain surface and the wheels, etc.) captured by an on-board camera of planetary exploration rover was proposed. The effectiveness of the proposed method was finally demonstrated through experiments using a two-wheel test-bed rover.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報処理・知能ロボティクス

キーワード：自律システム、惑星探査、動画画像解析、テラメカニクス

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、世界各国で無人探査機を用いた惑星探査計画が進められているが、今後、ミッションに用いられる探査機には、より長期間・広範囲にわたる探査を実現するための高度な自律機能が必要とされている。

(2) 従来、CCDカメラやレーザーレンジファインダを用いた衝突回避システムが数多く提案されてきたが、これらはサイズが比較

的大きな岩石のように幾何学的特徴が明確な障害物を対象とする一方で、周囲一般に存在する土壌の粗さやそれに起因する車輪の「滑りやすさ」のように幾何学的特徴が明確でない障害を検出することはできない。また、カメラや加速度センサ等を用いて、ローバー車輪と土壌の間の力学的特性を推定することを目的とした研究もあるが、これらは、通常、車輪接地面の土壌の性質を推定すること

を目的としており、将来走行することになる地表面に関する土壌の性質を予測することはできない。

2. 研究の目的

(1) ローバー走行中の地表面動画像から判別可能な地表面特徴（土壌粒子の種類や、土壌の車輪に対する力学的特性等）の究明を行う。

(2) “Dynamic Texture”解析理論に基づき、惑星探査ローバーに搭載されるカメラから得られる動画像を用いて地表面の特徴分類を行う計算アルゴリズムの開発を行う。

(3) 様々な土壌特性を有する地表面上を車両型ローバーで走行する際に得られる実画像に対して上記手法を適用し、自己位置を中心とした広範囲にわたる地表面特徴分類が可能であることを実証する。

3. 研究の方法

(1) 主に粒子サイズによって区別される土壌の種類に着目し、その種類の違いによるローバー本体の走行特性の影響が、車輪の滑りやすさを起因として、搭載カメラから得られる地表面動画像の画像速度に表れると仮定。この仮定の下に後の解析・実験手法の妥当性を検討した。

(2) ローバー固定のカメラから得られる地表面動画像を用いて惑星地表面の特徴分類を行う手法（学習フェーズ+認識フェーズ）の枠組み（図 1）を導出し、各フェーズの実現に必要な計算アルゴリズムの開発を行った。

ここで両フェーズともに必要となる、地表面動画像をある線形動特性モデル (Dynamic Texture Model) に関するモデルパラメータとして推定するために、システム同定手法の 1 つである N4SID アルゴリズムを適用した。ただし、画像データに本アルゴリズムを直接適用する代わりに、2次元離散コサイン変換 (2D-DCT) を用いた画像圧縮手法と組み合わせることで、より効率的な手法に改良を行った。

さらに、学習フェーズで登録されたデータベース上の様々な土壌に対するモデルパラメータに対して、実際に惑星表面上で取得されたモデルパラメータを分類するための複数の距離測度を適用した。

(3) (2) のモデルパラメータ推定手法の有効性を確認するために、まず、複数の土壌表面を撮影した静止画像を用いて、画像処理ライブラリ OpenGL を用いた人工生成動画像を作成し、上記アルゴリズムを適用した。

続いて、図 1 の特徴分類手法の有効性を確認するために、拘束レール上に固定された 1 輪型の走行車両（図 2）を用いて、複数種類の土壌と、異なる土壌に対する車輪の滑りや

すさを模擬する複数の定常走行速度をパラメータとした実験画像を取得し、上記アルゴリズムを適用した。

さらに、最大寸法 50cm（車輪径:30cm）の 2 輪型のテストベッドローバー（図 3）と 3m 四方の実験用砂場を用いた走行試験を行い、図 2 の実験装置の動画像から推定された Dynamic Texture モデルパラメータをデータベースとし、図 3 の実験装置の動画像から得られた実験画像を認識フェーズに適用することで、土壌表面の見かけの種類（静的特性）と土壌と車輪間の滑りの大きさ（動的特性）を個別に分類するための手法改善を試みた。

(4) 特に、前記 2 種類の実験用走行車両を用いた実験画像に対する解析結果を評価するために、2-fold cross validation, Receiver Operating Characteristic (ROC) 曲線解析を行った。

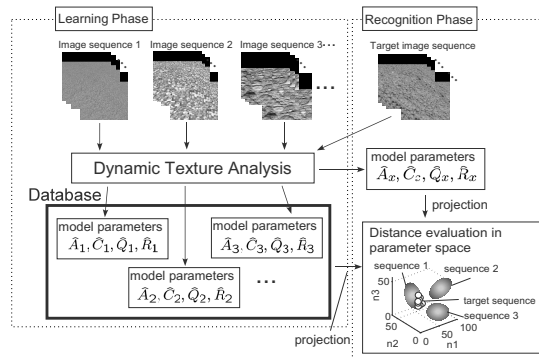


図 1. 惑星地表面特徴分類手法

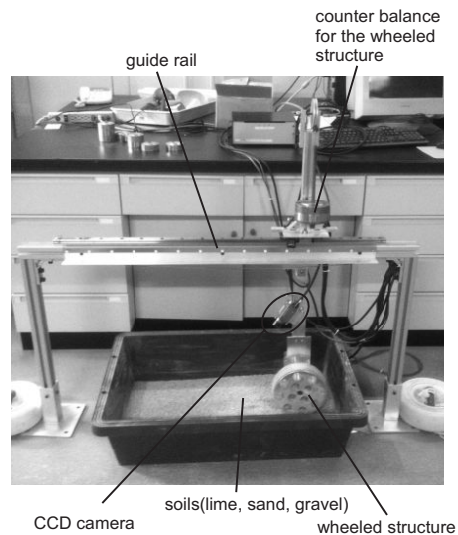


図 2. 1 輪型走行車両実験装置

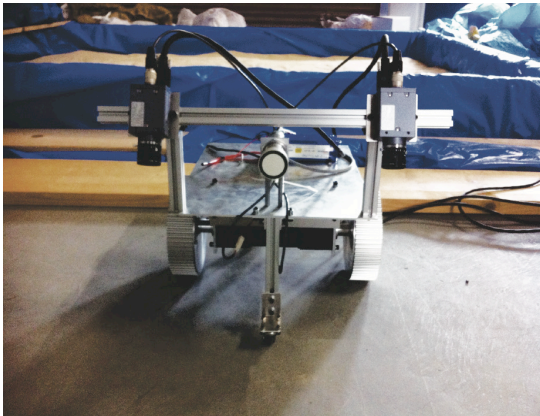


図 3. 2 輪型テストベッドローバー (前) と実験用砂場 (後)

4. 研究成果

(1) 図 2 に示される 1 輪型走行車両実験装置を用いて、4 種類の土壌(苦土石灰, 砂 1(細), 砂 2(粗), 砂利) に対してそれぞれ 3 種類の定常走行速度から、図 4 に示すような合計 12 種類の地表面動画画像を取得した。また、最終的に図 3 の 2 輪型テストベッドローバーを用いた走行実験で、1 種類の土壌(珪砂)と 3 種類の定常走行速度と 2 種類の照明条件から図 5 に示すような合計 6 種類の地表面動画画像を取得した。

なお、図 4, 図 5 には、それぞれ 4 種類、2 種類の土壌の種類と、解析に用いた各種パラメータ(画像サイズ, 画像フレーム数, 学習・認識フェーズで適用した局所画像ブロックの位置)を示している。

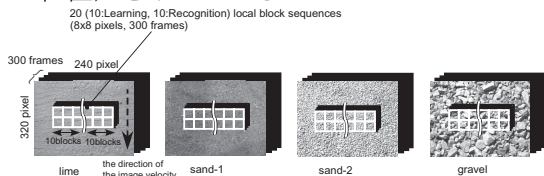


図 4. 地表面動画画像 (学習フェーズ用)
20 (10:Learning, 10:Recognition) local block sequences (8x8 pixels, 300 frames)

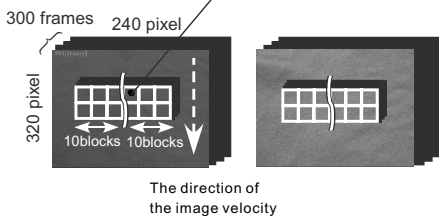


図 5. 地表面動画画像 (認識フェーズ用)

(2) Dynamic Texture を用いて(1)に示した各地表面動画画像同士の識別性能について調べた結果、図 6-図 9 のようになった。図 6 および図 7 は、行方向および列方向にそれぞれ図 4 の地表面画像(合計 12 種類)を並べた場合の各動画画像間のパラメータ空間上にお

ける距離の相関を示したもので、画像輝度値が低い(暗い)ものほど距離が短い(相関が大きい)ことを示している。また、図 8 および図 9 は、Receiver Operating Characteristic (ROC) 解析と呼ばれる手法を用いて、同じ動画画像データを対象とした認識率の性能評価を行った結果で、赤いマーカーが地表面動画画像の静的特徴(土壌の見かけ上の種類)に着目した認識性能、青いマーカーが地表面動画画像の動的特徴(画像速度の違いとして表れる、各土壌の車輪に対する滑りやすさ)に着目した認識性能の解析結果をそれぞれ示している。この解析方法では、認識率の計算に必要な閾値をパラメータとして描かれる曲線が左上方向に歪曲するほど認識性能が高いと評価できる。

これらの図にも示されるように、6 種類の距離測度に関して動画画像間の相関を調べたところ、図 6(a), 図 8(a) の Euclidean distance とよばれる距離測度が静的特徴分類の性能が高いことが、また、図 7(b), 図 9(b) の Cepstral distance とよばれる距離測度が動的特徴分類の性能が高いことが実験的に確認できた。

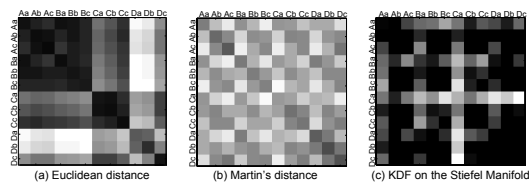


図 6. 地表面動画画像間相関マップ (1)

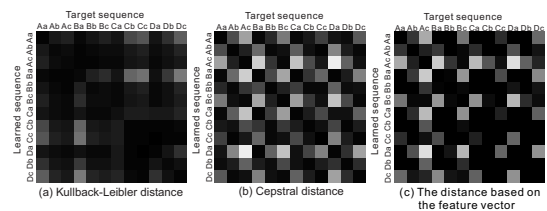


図 7. 地表面動画画像間相関マップ (2)

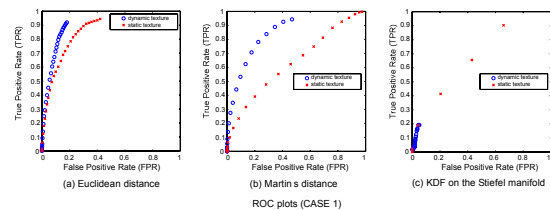


図 8. ROC 解析結果 (1)

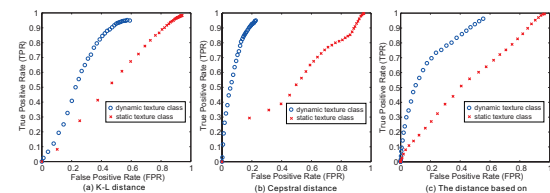


図 9. ROC 解析結果 (2)

(3) (2)の結果から、2種類の距離測度 (Euclidean distance, Cepstral distance) に基づいて、地表面動画画像から得られる2種類の異なる特徴 (静的および動的特徴) を段階的に分類する手法を提案した。図10は、上記2種類の距離測度を静的特徴 (Euclidean distance 適用)、動的特徴 (Cepstral distance 適用) それぞれに対して段階的に用いて分類した場合 (a)、および、2種類の距離測度のうち1種類のみを用いて静的・動的特徴をそれぞれ分類した場合 (b, c) のROC解析の結果である。この結果から、提案手法が1種類の距離測度のみを用いた場合に比べて高い性能を持つことが示された。

また、最終的に、図3の実験装置の動画画像を用いて、上記提案手法によって2種類の地表面特徴分類を行った結果を表1に示す。なお、図5の2輪型ローバーを用いた実験画像 (6種類) は、図4のデータベース画像 (12種類) の中で静的特性 (土壌粒子サイズ)、および、動的特性 (ローバー定常走行速度) が非常に近い画像がそれぞれ1-2種類ずつ含まれており、そのような特徴の相関の高さに基づいた認識率の計算を行った。

表1のような結果から、提案手法の有効性を確認することができた。

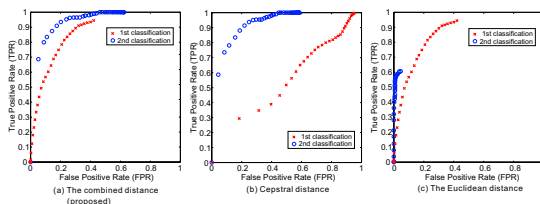


図10. 2種類の地表面動画画像特徴に対する段階的分類手法のROC解析結果

表1. 2輪型ローバーテストベッド走行実験画像を用いた2種類の特徴同時認識率 (%)

	(a) 混合距離測度 (提案手法)	(b) Euclidean distanceのみ	(c) Cepstral distanceのみ
動画像1	100	0	75
動画像2	95	95	5
動画像3	90	65	15
動画像4	100	0	55
動画像5	95	95	0
動画像6	95	90	60

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Koki Fujita, “Vision-Based Terrain

Analysis for Planetary Rover Utilizing Dynamic Texture,” Proceedings of the 12th International Space Conference of Pacific-Basin Societies (ISCOPS), 査読無, 2010, pp.701-712.

② Koki Fujita and Naoyuki Ichimura, “A Terrain Classification Method for Planetary Rover Utilizing Dynamic Texture,” Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2011, 査読有, AIAA2011-6580, 2011, 1-12.

③ Koki Fujita and Naoyuki Ichimura, “Combining Distance Measures to Classify Terrain Image Sequence Based on Dynamic Texture Model,” Proceedings of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, 査読有, AIAA 2012-4702, 2012, 1-10.

[学会発表] (計4件)

① Koki Fujita, “A Discussion about Several Measures to Distinguish Different Terrain Types Utilizing Dynamic Texture Models,” Kyushu University-KAIST Joint Seminar, August 26, 2010, Kyushu University, Fukuoka, JAPAN.

② Koki Fujita and Naoyuki Ichimura, “A Terrain Classification Method for Planetary Rover Utilizing Dynamic Texture,” AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2011, August 10, 2011, Portland, Oregon, USA.

③ Koki Fujita and Naoyuki Ichimura, “Combining Distance Measures to Classify Terrain Image Sequence Based on Dynamic Texture Model,” AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2012, August 14, 2012, Minneapolis, Minnesota, USA.

④ 藤田浩輝, 金城寛, 市村直幸, 「Dynamic Texture による地表面特徴分類手法の実験的検証」, 第56回宇宙科学技術連合講演会, 2012年11月20日, 別府市.

[図書] (計1件)

① Koki Fujita, “Autonomous Terrain Classification for Planetary Rover” in Advances in Spacecraft Systems and Orbit Determination (Chapter 10), InTech (<http://www.intechopen.com>), 2012, 264 (担当頁数16).

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

出願年月日 :

国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :

発明者 :

権利者 :

種類 :

番号 :

取得年月日 :

国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤田 浩輝 (FUJITA KOKI)

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号 : 00315110

(2) 研究分担者

該当なし

研究者番号 :

(3) 連携研究者

該当なし

研究者番号 :