

AIを用いた汎用的な自己位置推定技術に関する研究開発



株式会社NTTデータCCS、JAXA

1. 背景・課題

月面探査機の着陸・周回・ローバ運用では、GPSが利用できないため、撮像画像に基づく自己位置推定技術が不可欠である。

しかし月面環境では、
 ・解像度・撮像条件・太陽高度が異なる画像間のマッチング困難
 ・クレータ以外の特徴が乏しい地形
 ・低消費電力・リアルタイム処理の制約
 といった課題が存在する。

2. 研究目的

本研究は、月面上空から取得される撮像画像を用いて高精度に自己位置を推定する技術を確立し、将来的な着陸ミッション・ローバ探査への適用基盤を構築することを目的とする。

特に、
 ・異なる撮像条件下でも成立する位置推定
 ・太陽高度変化(低コントラスト)への耐性
 ・AIを用いた低消費電力・リアルタイム処理の実現を目指す。

3. 研究アプローチと実施内容

① クレータ検出+点群マッチング+外部標定による位置推定

- ・NAC画像からYOLOによるクレータの自動検出
- ・検出クレータ中心点とクレータDBを点群マッチング
- ・外部標定により撮影カメラ位置を推定
→手法の確立および精度・処理速度評価を実施

② CNNによる直接位置推定

- ・NAC画像を入力し、CNNで直接(X, Y)を回帰推定
- ・クレータ検出に依存しないエンドツーエンド方式

4. 現在の到達点

- ・月面上空撮像画像からの自己位置推定手法を2つの方式で確立
- ・撮像条件変化(特に太陽高度)に対する有効性を評価
- ・次段階として地上ローバ視点画像への展開準備完了

今後の展開(現在実施中)

- ・地上ローバ視点の画像への適用可能性の検討
- ・ボルダー・小クレータを付与した環境での評価
- ・実運用に向けたリアルタイム性・データ容量の検討・評価

5. 実績・成果

①クレータ検出+点群マッチング+外部標定による位置推定

位置推定の処理フローを図1-1に示す。本検証では、自己位置推定精度に最も大きく影響するクレータ検出精度に着目し、評価を行った。YOLOによるクレータ検出結果を表1-1に、検出したクレータ中心位置の精度を表1-2に示す。点群マッチング手法は未検出に対して一定の耐性を有する一方、誤検出の影響を強く受けるが、本結果では誤検出の指標である適合率が1に近く、点群マッチングに適した検出性能が得られている。

一方で、太陽高度が極端に低い場合および高い場合には未検出が増加する傾向が確認された。また、検出時の位置誤差は最大でも2ピクセル以内であり、本条件下では自己位置推定精度への影響は限定的であると判断した。

なお詳細は割愛するが、SLIM相当のカメラ仕様を想定し、外部標定単体の誤差寄与を計算したところ高度100mで約1m、高度500mで約8mであった。高高度では三角測量の幾何条件により低高度より(クレータ検出の誤差が)位置誤差として増幅すると考えられる。

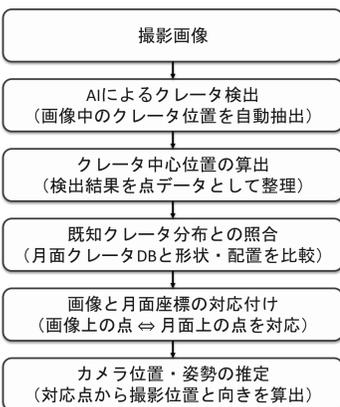


表1-1 クレータサイズごとの検出精度 単位: pixel

クレータサイズ	適合率	再現率	F1値	クレータ数
4	0.78	0.02	0.03	2530
5	0.86	0.09	0.16	2843
6	0.92	0.19	0.31	2853
7	0.93	0.32	0.47	2490
8	0.95	0.43	0.59	1959
9	0.95	0.52	0.68	1396
10	0.93	0.55	0.69	1116
11	0.94	0.52	0.67	833
	0.93	0.26	0.41	16020

表1-2 クレータ検出の位置誤差 単位: pixel

	u	v	$\sqrt{u^2+v^2}$
平均	0.1	0.1	0.1
標準偏差	1.1	1.0	1.5

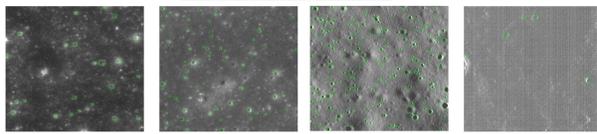


図1-2 太陽高度別クレータ検出結果(NAC画像)
 左から順に太陽高度が、79°、58°、10°、0.4°となる

②CNNによる直接位置推定

図2-1に示すネットワークを構築し、表2-1に示すデータセットを用いて精度検証を実施した。1km×1kmの範囲において、テストデータに対する自己位置推定を実施し、正解位置との差分から誤差を算出した。

位置誤差の平均(バイアス):
 10.0m(X)、-6.2m(Y)
 標準偏差:
 26.2m(X)、25.8m(Y)
 最大誤差(絶対値):
 93.9m(X)、112.3m(Y)

太陽高度が高くクレータ視認性が低い条件でも、安定した推定が可能であることを確認した。

表2-1 使用データセット

項目	内容
使用データ	静の海縦孔周辺 NACオルソ画像(解像度 2m、高太陽高度)
対象範囲	約 3 km × 4 km
切り出し画像	512 × 512 画素 (約 1 km × 1 km)
画像配置	縦横 32 画素(約 64 m)ずつ移動して切り出し(重複あり)
画像枚数	2961 枚
データ分割	訓練/検証/テスト = 8 : 1 : 1
データ拡張	輝度・コントラスト変化(訓練データのみ)

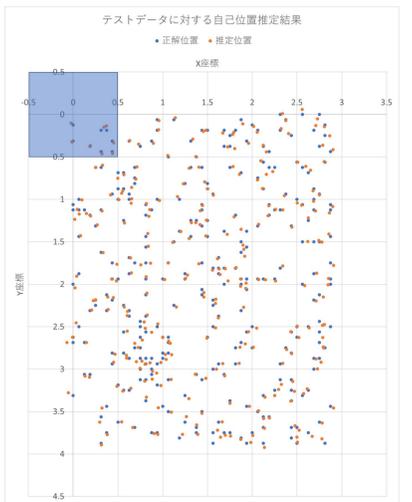


図2-2 テストデータにおける位置誤差のプロット

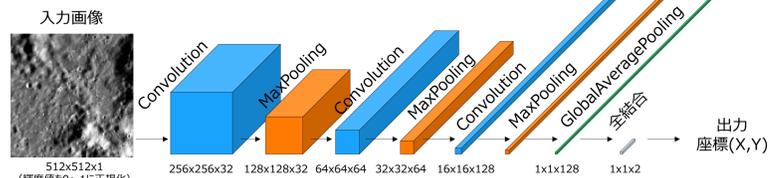


図2-1 画像から地上座標X,Yを回帰推定するネットワーク構成

6. まとめ

- ・AIによるクレータ抽出・点群マッチング・外部標定を組み合わせた、月面上空画像からの自己位置推定手法とCNNによる直接位置推定手法を確立
- ・SLIM相当カメラを想定した模擬撮像画像で精度検証を行い、撮像高度100mで誤差1m、撮像高度500mで誤差8mを達成
- ・CNNによる直接位置推定において高太陽高度における位置推定能力を向上
- ・上空からの位置推定の目標精度(5m)達成に向け、誤差増加要因であるクレータ抽出誤差の改善が課題

7. 参考文献

- 1). 狩谷 和季(2020)、リソース制約環境下における探査機の自律地形相対画像航法に関する研究、博士(工学)論文、総合研究大学院大学 宇宙科学専攻
- 2). 村井 俊治(1999)、『解析写真測量』日本写真測量学会



株式会社NTTデータCCS