

修士学位論文要約（令和4年3月）

合成開口レーダ画像を用いた3次元計測の高精度化に関する研究

インスフラン タニワキ カール ルイス ケンジ

指導教員：青木 孝文

Accuracy Improvement of 3D Measurement

Using Synthetic Aperture Radar Images

Karl Luis Kenji INSFRAN TANIWAKI

Supervisor: Takafumi AOKI

Synthetic Aperture Radar (SAR) is an indispensable technology for effective disaster management, owing to its large observation area, cloud penetrating ability, and its independence from sunlight. SAR allows for quick observation of large disaster affected areas disregarding weather or time of the day. In particular, 3D measurement from SAR images could contribute to better understanding of the affected area and speed up decision making. The conventional method based on the principle of stereo vision has its measurement accuracy degraded due to various factors such as the curvature of the earth and the characteristics of the terrain. In this paper, we propose a novel 3D measurement method from SAR images based on the principle of stereo vision that addresses the above problems. We demonstrate the effectiveness of our method through a set of experiments using airborne SAR images.

1. はじめに

合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) は、航空機等に搭載されたアンテナから電磁波を照射・受信し、地表面を画像化するイメージングレーダである。時間帯や気象条件によらず遠方から広範囲を観測することができるため、現地調査が困難な地震や噴火等の大規模災害時の観測に活用されている。特に、SAR 画像を用いた3次元計測により災害地域の状況を把握できることが期待されている。代表的な3次元計測手法としてレーダグラメトリがある。レーダグラメトリは、2枚のSAR画像間の視差から絶対的な標高値を計測する手法である。高精度な計測のために、人手での現地調査によって取得される地上基準点が必要となるため、現地調査が困難な災害地域での計測には適さない。丸木ら¹⁾は、レーダグラメトリにステレオビジョンの原理を導入することで、地上基準点を用いずにSARの幾何モデルのパラメータを最適化し、計測精度を向上させる手法を提案している。一方で、丸木らの手法は、観測領域の地形の特徴や地球の曲率を考慮していないため、観測領域によって計測精度が低下する問題がある。本論文では、この問題を解決し、2枚のSAR画像から地形の特徴に左右されず高精度に3次元計測を行う手法を提案する²⁾。まず、地形の特徴を考慮して2枚

のSAR画像間の画像対応付けを行う。次に、観測領域内の標高の分布の偏りを考慮してパラメータ最適化を行う。さらに、地球が楕円体であることを考慮したSARの幾何モデルに基づいて3次元計測を行う。情報通信研究機構 (National Institute of Information and Communications: NICT) が開発した航空機搭載 SAR (Pi-SAR2)³⁾ による観測で取得されたSAR画像を用いた精度評価実験を通して、提案手法の有効性を実証する。

2. 画像対応付けに基づく3次元計測アルゴリズム

提案する3次元計測アルゴリズムは、(i) パラメータの設定、(ii) 画像変調の補正、(iii) 画像対応付け、(iv) 外部パラメータの最適化、(v) 3次元座標の算出の5つのステップで構成される。まず、ステップ(i)では、SAR画像と共に提供される観測情報に従って3次元計測に必要なパラメータを設定する。ステップ(ii)では、SAR画像間の類似度が最大になるような標高にSAR画像を投影することで画像間の変形を低減する。ステップ(iii)では、SAR特有のノイズにロバストな位相限定相関法 (Phase-Only Correlation: POC)⁴⁾ に基づく対応点探索手法を用いて、ステップ(ii)で得られた2枚のSAR画像間の密な対応付けを行う。ステップ(iv)では、バンドル調整を用いて各種パラメータを最適化する。画像を分割し、各領域か

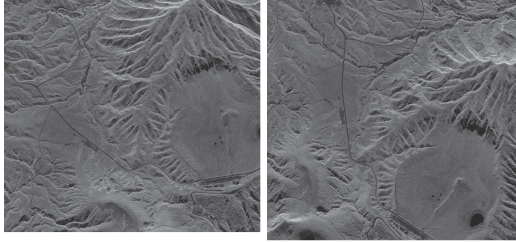


図1 実験に使用した SAR 画像ペア

ら同数の対応点ペアを選択して最適化を行うことで、地形の特徴による影響を低減する。最後に、ステップ (v) では、ステップ (iv) で最適化したパラメータ、ステップ (iii) で得られた画像間の対応関係、SAR の幾何モデルから導出された 3 次元計測の理論式を用いて、各画素の 3 次元座標を算出する。本論文では、地球の曲率を考慮した SAR の幾何モデルを定義し、各画像に対応する 3 次元座標系間の関係を正確に求める。

3. 性能評価実験

NICT が開発した Pi-SAR2 により取得された熊本県阿蘇地方の 2×2 km の観測データ (図 1) を用いて、丸木らの手法と提案手法の計測精度を比較する。使用するデータは、建物や樹木がほとんど写っていない山域であり、大部分が地表面である。観測領域は、1,000m ~ 1,300m の標高であり、勾配が大きい斜面を含む。国土地理院・基盤地図情報サイト¹にて公開されている数値標高モデル (Digital Elevation Model: DEM) を真値とし、真値との間の計測誤差を評価する。図 2 に、DEM の標高マップ、丸木らの手法と提案手法により得られた標高マップ、および DEM の標高マップと両手法により得られた標高マップとの間の残差マップを示す。表 1 に残差マップ全体の平均値と標準偏差を示す。2 つの残差マップを比較すると、提案手法の方が丸木らの手法より計測誤差が全体的に低いことがわかる。パラメータ最適化を行わない場合でも、提案手法は、地球楕円体を考慮しているため、丸木らの手法より高い精度を示している。また、パラメータ最適化を行った場合、丸木らの手法の計測精度が低下する。これは、丸木らの手法が標高の分布の偏りを考慮しておらず、急峻な地形に対応できないためであると考えられる。一方で、提案手法は、地形の特徴を考慮してパラメータ最適化を行うため、計測精度が向上する。

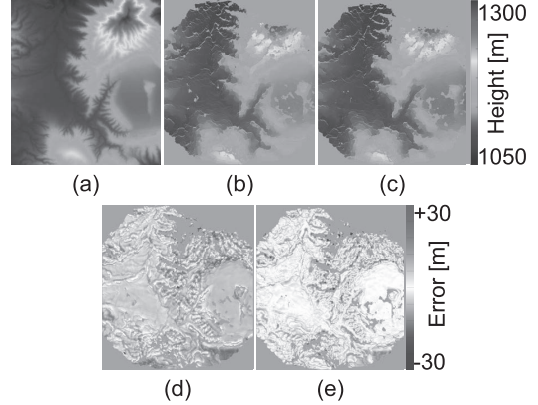


図2 実験結果: (a) 標高マップ (DEM), (b) 標高マップ (丸木らの手法), (c) 標高マップ (提案手法), (d) 残差マップ (丸木らの手法), (e) 残差マップ (提案手法)

表 1 DEM との残差の平均誤差と標準偏差 [m]

手法	パラメータ最適化	計測誤差
丸木らの手法 ¹⁾	無	-3.6 ± 3.2
	有	$+6.1 \pm 4.1$
提案手法	無	-1.9 ± 3.0
	有	-0.4 ± 3.1

4. まとめ

本論文では、2 枚の SAR 画像間の対応関係と地球の曲率を考慮して定義された SAR の幾何モデルを用いて 3 次元計測を行う手法を提案した。航空機 SAR により取得された実データを用いた精度評価実験を通して、提案手法の有効性を実証した。今後の展望として、観測対象の予備知識を必要としない提案手法を利用することによって、災害発生時の迅速な状況把握が可能になると考えられる。

文献

- 1) D. Maruki, S. Sakai, K. Ito, T. Aoki, J. Uemoto, and S. Uratsuka, "Stereo radargrammetry using airborne SAR images without GCP," Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing, pp.3585–3589, 2015.
- 2) K. Insfran, K. Ito, and T. Aoki, "Accurate 3D measurement from two SAR images without prior knowledge of scene," Proc. IEEE Int'l Geoscience and Remote Sensing Symp., pp.4814–4817, 2021.
- 3) A. Nadai, S. Uratsuka, T. Umehara, T. Matsuoka, T. Kobayashi, and M. Satake, "Development of X-band airborne polarimetric and interferometric SAR with sub-meter spatial resolution," Proc. IEEE Int'l Geoscience and Remote Sensing Symp., vol.2, pp.II-913–II-916, July 2009.
- 4) K. Takita, M.A. Muquit, T. Aoki, and T. Higuchi, "A sub-pixel correspondence search technique for computer vision applications," IEICE Trans. Fundamentals, vol.E87-A, no.8, pp.1913–1923, Aug. 2004.

¹<https://www.gsi.go.jp/kiban/>