

令和 6 年 5 月 26 日現在

機関番号：82636

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04420

研究課題名（和文）SAR画像中で自動認識された建物・樹木等のフットプリントに関する応用研究

研究課題名（英文）Application of automatic identified footprints of vertical structures in a SAR image

研究代表者

上本 純平（Uemoto, Jyunpei）

国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所電磁波伝搬研究センター・主任研究員

研究者番号：70536177

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、合成開口レーダーにより得られる観測画像の解析手法に関する応用研究である。具体的には、観測画像中において自動抽出した建物・樹木等の地面との接地点（フットプリント）を応用し、観測画像及びその解析結果を地図投影する際のマッピング精度の改善、並びに建築物に対する偏波の立地方位角依存性の解明に取り組んだ。その結果、フットプリントの利用とその選別手法を新たに開発することにより、数メートル相当の高さ観測精度の向上を介してマッピング精度の改善を達成し、また、偏波の立地方位角依存性がフットプリントと建物本体でそれぞれ異なる様相を示すこと等を新たに突き止めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

マッピング精度はSAR観測画像から抽出された情報と他データを共通地図座標系上で比較する際のキーファクターであるため、ここで達成した成果は、SAR観測データからの情報抽出及びその利活用において今後重要な役割を果たすと期待できる。偏波の立地方位角依存性に関して新たに得た知見については、理論的な解釈がまだできていないため更なる研究が必要であるが、将来的には偏波による対象の自動分類精度向上等への貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）：This study is applied research for synthetic aperture radar (SAR) image data by utilizing footprints of automatically derived vertical structures such as buildings and trees on SAR images. The first research objective is to improve the geocoding accuracy of SAR images and analysis results. The second one is to clarify the polarimetric characteristics of SAR scattering depending on a building orientation angle with respect to a range direction. During the research period, I developed a novel iterative method to identify the suitable footprints for the ground control points to mitigate the error of height estimation that results in improving the geocoding accuracy. In addition, I found that the polarimetric characteristics at the building footprints differ from those at the building main body.

研究分野：計測工学

キーワード：SAR InSAR リモートセンシング フットプリント 偏波

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar; SAR) は、衛星や航空機等からの電波の送受信を介し地表を画像化する装置である。SAR データは昼夜間・天候問わず得られるため、被災地の迅速な状況把握等が期待されている。SAR 画像から抽出された情報は最終的には地図上にマッピングされる必要があるが、建築物単位で比較を行う場合、少なくとも 1 m オーダのマッピング精度が必要である。観測の原理上、電波照射方向の水平位置精度に高さが影響するため、高さ計測精度が重要となる。一般に干渉高度計測機能を有する SAR では干渉位相縞から相対高度を算出し、数値標高モデル (Digital Elevation Model; DEM) 等を参照して絶対高度へ変換・マッピングする。この参照に用いる SAR 画像中の点を Ground Control Point (GCP) と呼び、いかに正確に GCP を選択するかが高さ計測精度に影響を及ぼす。DEM は地表面の高さなので、屋上等ではなく地表面付近の点が GCP として適している (図 1)。このような点を観測範囲全域にわたり手動選択することは現実的では無く、従って SAR 画像からの情報抽出に際し、適切な GCP 群を自動選択する手法の研究開発が求められていた。

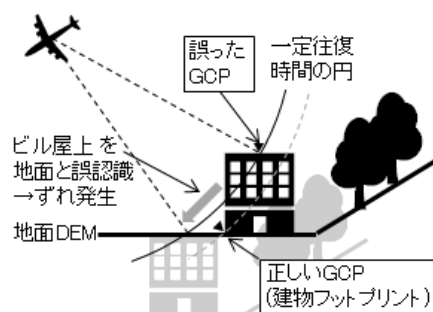


図 1. ずれ発生のイメージ。DEM 用の GCP として誤ってビル屋上を選択すると、灰色図のように高さや水平位置にずれを生じる。建物フットプリントを選べばこのずれは生じない。

2. 研究の目的

上述の背景を受け、本研究では SAR 画像からの情報抽出に不可欠なマッピング精度の改善を第一の目的とした。この目的を達成するため、建物・樹木の自動検出アルゴリズム (引用文献) の副産物として内包されている建物・樹木のフットプリントを利用する。フットプリントは、その定義から当然地表面の高さに一致すべきであるから、DEM に対する最適な GCP 群と言える (図 1 参照)。従ってフットプリントを自動同定し利用できれば、迅速性という要望をクリアしつつ、上記目的を達成することができる。一方、抽出したフットプリントを建物に沿って接続すれば、建物立地方位角を算出できる。偏波 SAR 画像の解析研究において偏波の建物立地方位角依存性が課題として指摘されており、この課題の解決により、偏波による対象物の自動分類精度向上への貢献が期待できる。そこで偏波の建物方位角依存性解明を第二の目的に設定した。

3. 研究の方法

本研究の目的である「マッピング精度の改善」及び「偏波の建物方位角依存性の解明」に取り組むに当たり、まず共通課題である「フットプリントの自動同定」を達成する。この課題については、既に予備実験済みの状況であるため、同定結果の検証が主な取り組みである。

次に「マッピング精度の改善」に着手する。まず干渉 SAR 位相差と DEM の比較による絶対高度推定について、先行研究の手法を参考にしながら取り組む。その一方で、同定されたフットプリント位置における干渉位相差値の取得と補正を行う。その後、フットプリントを GCP に用いた場合の改善効果について、定量的な評価を実施する。

上記に続いて「偏波の建物方位角依存性の解明」に着手する。まずフットプリントの接続を介し、建物の立地方位角を算出する必要がある。その後、様々な方位角に対し十分なサンプル数を用意できるように、地図上で観測方向とその範囲内におけるおおよその建物立地方位角を目視確認しながら解析シーンを選択する。最後に、抽出した建物について立地方位角算出アルゴリズムを適用し、各偏波の立地方位角依存性を経験式へ落とし込むこと等について検討を行う。

4. 研究成果

(1) マッピング精度の改善

フットプリントを GCP 群として利用し、マッピング精度を改善するアルゴリズムを開発した。なお、研究開始当初は自動同定したフットプリントを単純に用いるだけで良いと見込んでいたが、それだけでは不十分であること等が判明した。そこで、自動同定した GCP 候補群を更に選別する手法を追加する等して改良を進めた。図 2 に当該アルゴリズムの航空機 SAR データへの適用例を示す。この図は、レーザー測量 (左図、真値) 及び航空機 SAR により計測された Digital Surface Model (DSM) と、DEM の差分高度マップを示している。従って、地面部分は高さの差分が 0 m (白色) となり、建物や樹木の存在する場所においては正の値 (赤色) となるのが正解である。従来技術では画像下ほど青色部分が目立っている (右図)。青い部分は DEM の方が DSM より高い

ことを示していることから、全体的に青くなることは有り得ない。つまり、算出された高さの誤りを示唆している。一方、当該アルゴリズムの適用例ではそのような青色の領域は見られない(中央図)。評価の結果、このシーンにおいては、高さ誤差の中央値は1 m未満であった。SARの観測原理に基づく、高さの誤差と水平位置の誤差は等価的であるため(図1参照)、少なくともこのシーンに対しては、定量的に研究目的を達成していると言える。その後、更に改良を進め、都心部のような建物密集地帯でなければ、フットプリントを用いずとも、上述のGCP候補群自動選別手法のみで同等の精度が見込めることを突き止めた。更に衛星SARへの適用範囲拡張を試みた結果、建物フットプリント抽出は可能であるものの、マッピング精度改善までは至らなかった。ただし、原因の目星は付いている状態である。マッピング精度はSAR観測画像から抽出された情報と他データを共通地図座標系上で比較する際のキーファクターである。従ってここで達成した成果は、SAR観測データからの情報抽出及びその利活用において今後重要な役割を果たすと期待できる。

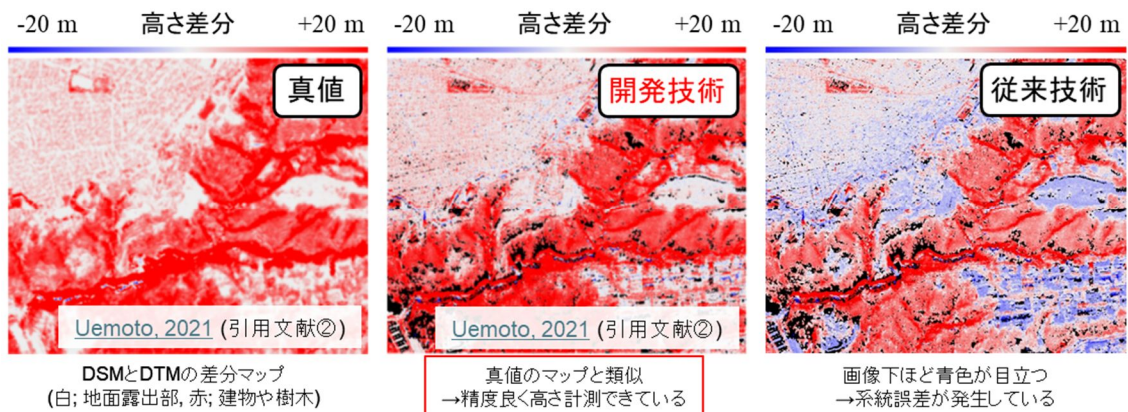


図2. 開発技術の適用例(中央図)。従来技術(右図)と比べ、誤差中央値で約4 m高さ計測精度向上を達成している。

(2) 偏波の建物方位角依存性の解明

偏波校正に関する検討、及びインタラクティブな可視化環境の構築等を実施した上で、解析対象シーンを選定し、偏波の建物方位角依存性(図3参照)の解明に取り組んだ。その結果、形状が単純なアパートのみを自動抽出して解析したにも関わらず、反射強度のバラつきが大きいこと、また建物のフットプリントとその他の部分で異なる偏波依存性を示すことを新たに突き止めた。これらの事象については当初想定できておらず、また理論的な解釈もまだできていない。このこともあり残念ながら当初想定していた建物方位角依存性の経験式への落とし込みは達成できていない。しかしながらここで見いだされた事象は、偏波に基づく対象の自動分類精度向上への貢献に際し考慮されるべき事象であるため、今後も検討を続けていきたいと考えている。



図3. 偏波の建物方位角依存性が見られる典型例。同じような建物であるにも関わらず、電波照射方向に対する立地方位角によって、偏波の応答が変化している様子が見取れる。

引用文献

- Uemoto, J., A. Nadai, S. Kojima, T. Kobayashi, T. Umehara, T. Matsuoka, S. Uratsuka, and M. Satake (2018), Extraction and height estimation of artificial vertical structures based on the wrapped interferometric phase difference within their layovers, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 139, 14-29, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.02.018>.
- Uemoto, J. (2021), Refinement of interferometric SAR parameters using digital terrain model as an external reference, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 175, 34-43, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.02.017>.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Uemoto Jyunpei	4. 巻 175
2. 論文標題 Refinement of interferometric SAR parameters using digital terrain model as an external reference	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 34 ~ 43
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.isprsjprs.2021.02.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 上本純平
2. 発表標題 DTMを用いた干渉SARパラメータ推定手法の衛星SARへの適用
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第75回（令和5年度秋季）学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上本純平
2. 発表標題 建物フットプリントにおけるSAR偏波の立地方位角依存性について
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第73回（令和4年度秋季）学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上本純平
2. 発表標題 DTMを用いたクロストラック干渉SARパラメータ自動推定手法の検証
3. 学会等名 日本写真測量学会 令和3年度秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上本純平, 梅原広明
2. 発表標題 MRFモデルを用いたSARインターフェログラム上のフットプリント同定に関する検討
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第69回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上本純平, 森山敏文
2. 発表標題 航空機搭載SARにより取得されたシングルパス干渉データの処理ツールの作成
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第67回学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 計測パラメータ推定装置及びそのプログラム	発明者 上本 純平	権利者 国立研究開発法人 情報通信研究機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-026542	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------