

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 牛腸 正則
学位 博士 (工学)
学位記番号 新大院博 (工) 第 514 号
学位授与の日付 令和3年3月23日
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
博士論文名 マルチベースライン航空機 SAR データを用いた地表の高分解能
三次元イメージングに関する研究

論文審査委員 主査 教授・山田 寛喜
副査 教授・村松 正吾
副査 准教授・西森 健太郎
副査 教授・佐々木 重信
副査 教授・中野 敬介
副査 教授・佐藤 亮一

博士論文の要旨

広範囲を迅速かつ高分解能な観測が可能な航空/航空合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar, SAR)は、マイクロ波リモートセンシングにおいて有用な観測手段の一つであり、火山噴火、土砂崩れや洪水などの災害時の緊急観測や地形図の作成、流氷観測などの多岐にわたる分野で活用されている。SARはアクティブセンサであるため昼夜・天候の影響を受けにくいという利点を持ち、また観測で利用する周波数帯を変えることで様々な対象に適した観測が可能となる利点がある。しかしながら、通常は地図のような二次元画像としての観測であり、フォアショートニング (地上のターゲットの倒れこみによる歪み) やレイオーバ (レーダから同一距離の高度の異なるターゲットの重畳) などの問題が存在する。複数のアンテナあるいは繰り返し観測により変位や高度の観測を行う干渉手法 (インターフェロメトリ) も実用化されている。その技術を用いると観測ターゲットの高度情報の取得が可能となるが、市街地などの多数の複雑な構造物が存在している領域では、先に述べたフォアショートニング、レイオーバのため詳細な観測が困難であり、ある領域の大局的な高度情報を得るにとどまっているのが現状である。

このような事柄を背景として、本論文では、SARを用いた高分解能三次元イメージング (可視化) の実現と地表情報の抽出を主目的として研究を行った。プラットフォームが直線軌道を描く一般的なSARでは三次元空間を二次元観測するためフォアショートニングやレイオーバ等の歪みが生じ、これが解析結果に除去不可能な誤差や歪みを生み出す要因となっている。インターフェロメトリで行われている繰り返し観測を拡張した複数のSAR観測データをアレー信号とみなし、医用画像等で実用化されているトモグラフィー手法を導入した TomoSAR (SAR tomography) に拡張し、複数の二次元画像からの三次元イメージングを実現している。特に、三次元イメージング手法として、本論文では複数の二次元画像の対応する各ピクセルをアレーとみなし、アレーアンテナの分野で発展している高分解能到来方向手法を導入した点に特徴がある。

本論文では、この高分解能到来方向手法を適用した TomoSAR 手法を定式化し、さらに実データによる検証を通して、以下のような成果を得た。

(1) 複数の観測を行った際に得られる観測軌道は必ずしも並行ではなく、また、GPS等で得られる観測軌道情報にも観測周波数での波長に比べ大きな誤差が含まれる。本論文では、画像中のグラウンドなどの平面を利用した誤差校正手法を考案し、さらに不平行軌道に対応したアレー信号処理アルゴリズムを定式化した。

(2) 高分解能到来方向手法として、ビームフォーマ(FFT)、Capon法、MUSIC法などの主要な手法を適用した際の特徴を実データにより明らかにした。具体的には、樹木などの植生が分布している領域ではビームフォーマ(FFT)が安定した性能を示すものの、市街地などの人工構造物が分布している領域では、レーダ観測における散乱点が離散的に分布するためCapon法、MUSIC法による高分解能化が可能であることを明らかにした。なお、ビームフォーマは分解能が低いものの、カトリラオ積仮想アレー技術を導入することにより、約2倍の高分解能化、および低サイドローブ化が可能となることを実証した。

(3) 干渉観測を可能とするプラットフォームでは、ペアとなる2つのアンテナを用いた同時観測が可能となる。このプラットフォームの特徴と高分解能到来方向手法の一つであるESPRIT法の類似点に着目し、ESPRIT法によるTomoSAR手法を開発し、実データ解析結果の定量的な評価により、高さにして1m以下の空間分解能で三次元イメージングが可能であることを示した。

審査結果の要旨

本論文において示されたマルチベースライン航空機SARデータを用いた地表の高分解能三次元イメージング手法は、実際の航空機搭載Xバンドレーダに対して高分解能到来方向手法を適用して直接的な立体イメージングを実現した世界的にも数少ない報告例の一つである。その実現のためのデータの校正手法の確立、イメージングアルゴリズムの定式化は言うまでもなく、特にESPRIT法に着目したアルゴリズムは独創的なものであり、空間分解能およびイメージング精度においても他のアルゴリズムを凌駕する性能を実現している。これらは、実際の航空機搭載レーダによる観測データによる検証結果であり、実用的な観点からも高い有効性が認められる。

これらの成果は、今後の合成開口レーダデータの利活用を促進するのみならず、本手法に適した新たな観測方法あるいは新たなプラットフォームなど将来の発展性も極めて高く、三次元イメージングによる新たな応用分野の創出も期待される。これらの成果は4編の参考論文として、学術雑誌に掲載されており、参考論文数も専攻の基準を満たしている。

以上のように、本研究には、独創性、新規性、有効性が認められ、内容として博士論文に値するものである。よって、本論文は博士(工学)の博士論文として十分であると認定した。