

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 三川 祥典

修士（工学）三川 祥典 提出の論文は「合成開口レーダ手法を GPS 測位信号の地表散乱波へ適用した画像化アルゴリズムに関する研究」と題し、9章からなっている。

GPS に代表されるような全地球型衛星測位システム（GNSS）の信号電波をリモートセンシングの媒介電波に利用する技術は、1993年頃に初めて提唱されて以来、電波の送信側と受信側が異なる、いわゆるバイスタティック・レーダの一つとして有望視されてきた。GNSS 信号を用いる利点は、多くの測位衛星コンステレーションがもたらす高いアベイラビリティや観測機が簡易化できる点などであり、UAV や衛星からの新たな観測手法として海洋状態やバイオマスなど様々な観測対象に対する適用が試みられている。しかし、従来は GNSS-R と呼ばれる、散乱信号の相関波形の変化から散乱源の物性情報を推定するリフレクトメトリに基づく観測が中心であり、大域的な観測に制限され、分解能の高い精密な観測には不向きであった。

さらに、この問題を解決するために 2000 年頃から合成開口レーダ (SAR) の技術を GNSS 散乱信号に適用した GNSS-SAR に関する研究が進められてきたが、画像化のために複雑なアルゴリズムの構築が必要となり、特に、送信側である高速飛行する GNSS 衛星と受信機の間が存在する大きな幾何的非対称性のため、従来のバイスタティック SAR の画像化アルゴリズムが適用できず、この特殊な観測ジオメトリに対応した独自の画像化アルゴリズムの開発が求められていた。

そこで、本論文では、GPS を題材に、GNSS 衛星の運動効果を解析的に除去する事で、観測簡易性を維持しつつ衛星軌道まで包含した幅広い受信プラットフォームに対して適用可能な汎用的な GPS-SAR 画像化アルゴリズムである「準モノスタティック手法」を提案している。本手法の最大の特徴は、GPS 衛星の運動が開口合成へ与える幾何的非対称性による影響をモデル化し、その補正処理を導入することにより、従来のモノスタティック SAR に対する様々な画像化アプローチを採用する事を可能にした点にある。この手法に加え、GPS-SAR 独自の特徴である航法メッセージの影響の除去手法や軌道上利用への拡張手法等を組み込み、かつ実ハードウェアに起因する影響の推定手法まで含めて、総合的かつ実用的な画像化アルゴリズムに発展させ、その有効性を数値シミュレーション、GPS シミュレータを利用したハードウェア実験および UAV を使ったフィールド試験で検証している。

第 1 章は序論であり、GNSS 測位信号をリモートセンシングに利用する利点と欠点や、GNSS 散乱波を合成開口レーダに用いる際の技術課題を明確にし、本論文の目的を明らかにしている。

第 2 章では、合成開口レーダの数学的な基礎を整理し、合成開口レーダの入力となる散乱波受信信号を記述する SAR 信号空間の概念や、その上に構築される代表的な画像化アルゴリズムであるレンジ・ドップラ法の定式化が行われている。

第3章では、本論文で提案する準モノスタティック手法の理論構築を行っている。まず、GNSSの代表例であるGPSを題材に、その測位信号の特性を巧みに記述できる新しいSAR信号空間を導入し、それに則り、従来のレンジ・ドップラ法をGPS測位信号に適用するための信号処理手法を組み立てている。その中の重要な要素は、観測ジオメトリにおける送受信側の幾何学的非対称性の問題に対し、合成開口時間中のGPS衛星の運動を線形近似することで複雑なバイスタティック・ジオメトリを簡便なモノスタティック・ジオメトリに落とし込む手法であり、その結果、従来のモノスタティックSARに関する画像化アルゴリズムが適用可能になることを示している。また、その手法をコンピュータシミュレーションで検証したのち、さらに、第4章では、GPSレシーバーの実ハードウェアを導入し、軌道上のGPS衛星の信号を正確に模擬するGPSシミュレータにより実証している。

第5章では、GPS測位信号に含まれる航法メッセージのSARに対する影響を解析し、それを除去する手法を提案し、GPSシミュレータによる実験で、その有効性を検証している。

第6章、第7章はフィールド試験の方法と成果を述べている。まず第6章では、事前実験により全観測システムの動作確認とGPS散乱波の特性把握を行った結果を述べ、第7章では、UAVを用いたフィールド試験により、本論文で提案した準モノスタティック手法によりGPS-SAR画像の生成までが可能であることを実証している。

第8章は、受信側が軌道上の衛星である場合に、提案した準モノスタティック手法を如何に拡張できるかについて検討を加え、数値シミュレーションによりその適用可能性を示している。

第9章は結論であり、本論文の結論と今後の課題をまとめている。

以上、要するに、本論文は、GNSSの測位信号の地上散乱波を媒介としたバイスタティックな合成開口レーダの構築に必要な、ジオメトリの非対称性の補正をはじめとするいくつかの問題への解決方法を明らかにし、それをシミュレーションと実際のフィールド試験で検証したものであり、宇宙工学上貢献するところが大きい。

よって、本論文は、博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。