

審査の結果の要旨

氏 名 尚 方

本論文は、”Stokes Vector Based Polarimetric SAR Land Classification (ストークスペクトルに基づく偏波合成開口レーダ地表分類)”と題し、偏波合成開口レーダ(polarimetric synthetic aperture radar: PolSAR)イメージングによって地表を分類するため、PolSARデータのストークスペクトルおよびそのポアンカレ球表現を解析して平均ストークスペクトルという概念を提案し、これを基盤におくことにより、教師あり学習に基づく四元数ニューラルネットワークによる適応分類方法の提案と実証、いくつかの物理的解釈レイヤーを構築することによる分類・解釈方法の提案と実証、偏波干渉合成開口レーダ(polarimetric – interferometric aperture radar: PolInSAR)で偏波とともに振幅と位相をも扱うことによってさまざまな対象を分類する方法の提案と実証を行ったものであり、英文で執筆され7章からなる。

近年、高分解能・低雑音の PolSAR および PolInSAR システムが人工衛星や航空機に搭載され始めている。それらによって得られる対象物体の偏波散乱情報が、森林をはじめとする植生などの地表情報の取得や山岳氷河などの増減の観測による地球温暖化・水源状況の評価、農産物育成状況の把握など、社会的に重要な分野で具体的に有効活用できると期待されるようになってきた。この期待にこたえるため、PolSAR および PolInSAR によって得られる偏波情報に基づく地表分類の一層の高精度化が求められている。本論文は、その手法を提案し実験によって実証するものである。

第1章は”Introduction”であり、論文の背景と目的を述べている。

第2章は”Preliminaries: Polarization & Stokes vector”と題し、ジョーンズベクトルとストークスペクトルについて考察している。特にストークスペクトルが偏波状態を完全に記述できるだけでなく部分偏波も有効に記述できることに着目し、この点を強調するため平均ストークスペクトルという言葉を導入している。またポアンカレ球上での表現をまとめている。

第3章は”Analysis of averaged Stokes vector for PolSAR data”と題し、PolSARデータの平均ストークスペクトルを解析している。まず平均ストークスペクトルを得るには通常、散乱体への入射波に何らかの偏波を仮定する必要がある。しかしボルン-ウォルフの波動分解を考えて、平均ストークスペクトルを全強度、偏波度、および完全偏波成分の3つの物理的に独立な成分によって表現している。次に、いくつかのサンプルデータを取りながら、完全偏波成分の新しい表現方法を提案し解析している。最後に、従来法でのパラメー

タと平均ストークスペクトルとの対応関係を示し、平均ストークスペクトルが従来の C 行列、T 行列などと比べてより多くの情報を表現していること、特に不完全偏波時に優位であることを示している。

第 4 章は”Supervised Stokes vector based PolSAR land classification”と題し、新しい地表分類法を提案している。まずポアンカレ球でのストークスペクトルの表現から 2 つの解析パラメータ、すなわち位置ベクトルと変動ベクトルを構成し、これらをあわせてポアンカレ球パラメータと名づけている。これらを入力情報とし、四元数フィードフォワード・ニューラルネットワークを構成して適応分類を行い、これに成功している。C 行列による従来法と比べて性能が向上し、特に森林と市街との分類で優れていることを明示している。また分類性能が標高に左右されないことも示しており、複雑な地形でも高い性能が得られることを示している。

第 5 章は”Unsupervised Stokes vector based PolSAR land classification”と題し、平均ストークスペクトルに基づく PolSAR データ解釈の新技术を提案している。まずストークスペクトルから判別特徴量を抽出する方法を提案している。そしてそれら判別特徴量によって 4 つの物理的解釈レイヤーを構成している。すなわち優先度が低いものから、基礎レイヤー、低コヒーレンス対象物レイヤー、人工物レイヤー、そして低後方散乱対象物レイヤーであり、これらを重ねることにより直感的に解釈可能な地表分類を行うことができることを示している。駿河湾、江別市、東京港などのデータでその性能を評価したところ、提案手法が高性能であり、特に斜めあるいはランダムな向きで分布している人工物や孤立人工物などでその性能が高いことが示されている。これは本手法が、ピクセル内の対象物の構造に着目していることに因っている。

第 6 章は”Possible application of Stokes vector for PolInSAR”と題し、PolInSAR におけるストークスペクトルの利用可能性について議論している。まず PolInSAR の原理を説明している。そして、PolInSAR における散乱機構ベクトルについて検討している。そして、地表分類で振幅と位相の両方を利用する手法を提案している。実験により、異なる線形変換によって湖、草原などさまざまな領域が、散乱機構ベクトルとは離れて、抽出されることを示している。最後に、以上の結果を総合し、ストークスペクトルに基づいて地表散乱の位相因子を推定する PolInSAR アルゴリズムを提案している。これは PolInSAR 解析におけるストークスペクトル解析の第一歩になるものである。

第 7 章は、”Conclusion”であり、本研究の成果をまとめている。

以上これを要するに、本論文は PolSAR イメージングによって地表を分類するため、PolSAR データのストークスペクトルおよびそのポアンカレ球表現を解析して平均ストークスペクトルという概念を提案し、これを基盤におくことにより、教師あり学習に基づく四元数ニューラルネットワークによる適応分類方法の提案と実証、いくつかの物理的解釈レイヤーを構築することによる分類・解釈方法の提案と実証、PolInSAR で偏波とともに振幅と位相をも扱うことによってさまざまな対象を分類する方法の提案と実証を行ったものであり、電気電子情報工学、特にレーダ工学および信号処理工学への貢献が少なくない。

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。