

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 宮村 典秀

修士（工学）宮村典秀提出の論文は、「空間位相変調器を用いた衛星光学系の軌道上再構成に関する研究」と題し、7章と付録からなっている。

従来、人工衛星によるリモートセンシングにおいては、軌道上での光学性能を保証するために打上げ時の振動環境や軌道上での熱環境によるアラインメントずれや熱歪を防ぐことが必要であり、十分な剛性を持った光学系の支持構造が要求されてきた。その結果、光学系の質量が増大し、それを支える構造も大型化するという悪循環となって、衛星は必然的に大型にならざるをえなかった。近年台頭してきた小型ないし超小型の衛星に搭載できるような小型で高性能な光学系を実現するためには、軌道上での変形を許さないというこれまでの設計思想から、変形が起こってもそれを検出して補正するという新しい設計思想への転換が必要である。

以上の背景に基づき、本論文では、以下の2点を提案することを目的としている。第一に、地上の大口径望遠鏡に用いられている補償光学系を衛星に応用して、光学系のひずみや、ミスアラインメントによって起こる収差を補正する、小型化が可能な補償光学系の提案である。本論文ではシステムの簡略化と軽量化のために、近年開発が進んでいる空間位相変調器を波面補償と光学系へのアプリアリ情報付加に利用し、同一光学系で撮像した観測画像から波面収差を推定して補償するシステムを提案している。第二に、空間位相変調器を用いて衛星上のコンピュータで波面推定と補償を行うために、計算負荷を抑えて波面を推定する信号処理の提案である。観測画像を用いて波面を推定する場合、一般に複雑な逆問題を解く必要がある。従来は、繰り返し計算によって評価関数を最適化する手法が用いられていたため、オンボードで処理する際の計算負荷が課題とされていた。本論文では、主成分分析とニューラルネットワークを組み合わせる手法を提案している。この二つの手法により、小型ないし超小型衛星に搭載するような剛性に劣る光学系においても、軌道上での補償により十分な光学性能を獲得できることを、シミュレーション等により明らかにした。

第1章は序論であり、小型衛星での高精度のリモートセンシングのために軌道上での光学系の再構成が必要とされる背景を述べ、研究の目的を明確にしている。

第2章では、小型衛星光学系に関する動向を概観している。はじめに、従来のリモートセンシング衛星の光学系の設計が、軌道上でのひずみやアラインメントずれを抑えるために大型化していることを述べ、次に、すでに普及している地上の天体望遠鏡の補償光学系を構成する技術を述べている。さらに、地上の補償光学系を衛星に応用するための技術課題を整理し、研究目的を達成するための課題を詳細に述べている。

第3章では、スカラー回折理論に基づいて一般的な光学系の数学モデルを構築し、そのモ

デルに基づいて、観測画像から波面収差を推定する理論的枠組みについて述べている。さらに、従来のフェイズ・ダイバーシティ法の理論を応用して、空間位相変調器により意図的に収差を与えた複数の観測画像から収差が推定できることを示し、それにより小型衛星の光学系に適した補償光学系を構成できると提案している。

観測画像を用いて波面収差を推定するシステムでは、一般的に複雑な逆問題を解く必要がある。小型衛星のリソースでオンボードでの再構成を行うためには、この問題を解くための計算負荷が課題である。第4章ではニューラルネットワークを用いて、軌道上での計算負荷を軽減する手法について述べている。すべてのピクセル情報を入力情報として用いることは情報処理量の爆発を招くため、フェイズ・ダイバーシティ法に基づいて取得した画像に、主成分分析を施すことによって情報を圧縮し、計算量を抑える手法を提案している。

第4章で提案した方法によって、観測画像から収差の情報を抽出し波面収差を補正することができる。しかし、収差パラメータが混在する場合は、観測ノイズや観測対象のコントラストによって、ある収差パラメータの推定精度が低下する場合がある。第5章では、適切なフェイズ・ダイバーシティを与えることによって、従来の方法では推定が困難であった収差パラメータの推定を行うことが可能であることを述べている。

第6章では、超小型リモートセンシング衛星を例に、本論文で提案した補償光学系と信号処理を適用した際のシステム性能を、第3章で述べた数学モデルに基づいた数値シミュレーションで検証し、結果と考察を述べている。

第7章は、結論であり、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題と展望を述べている。

付録では、観測画像から波面収差の推定を行うための、フェイズ・ダイバーシティ法を使わない従来のアルゴリズムと、フェイズ・ダイバーシティ法によって観測画像から波面収差を求める際にニューラルネットワークを用いない従来の方法を述べ、それらの手法における問題点を挙げている。

以上要するに、本論文は、空間位相変調器を用いて、観測画像からの波面収差推定と波面の補償を行う衛星上補償光学系の実現方法を提案し、小型あるいは超小型衛星のリモートセンシング能力を大きく向上させる可能性を示したものであり、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。