

審査の結果の要旨

氏名 吉川 岳

修士（工学）吉川岳提出の論文は、「超解像技術によるシャックハルトマン波面センサの精度向上に関する研究」と題し、6章からなっている。

ハッブル宇宙望遠鏡や高解像度のリモートセンシング衛星に代表される宇宙望遠鏡は、軌道上へ打ち上げる際、ロケットによる強い振動や熱ひずみなどの影響で主鏡の歪みや光学系のみスアライメントを引き起こし、波面収差が発生する可能性がある。この波面収差の影響で、焦点面にある画像から得られる情報が失われてしまう懸念があるが、従来はこの問題に対しては光学系を剛に設計することで、歪みやミスアライメントを許容範囲内に収めてきた。しかしこの設計思想では光学系全体の重量やサイズが過大になり、重量・寸法が厳しく制限される小型または超小型衛星への搭載が困難となる。また軌道上での宇宙機の修理は技術的・経済的にはほぼ不可能であるため、予期しない歪みやミスアライメントに対して有効な策がないことも大きな問題であった。これに対する一つの対策として、近年「すばる」などの地上望遠鏡で実用化されている補償光学技術を衛星上に搭載し、予期しない波面収差を軌道上で補正する「補償光学システム」が有望な技術として期待されている。

このような補償光学システムで使用される波面センサの1つにシャックハルトマン波面センサがある。これは、瞳面に多数配列されたマイクロレンズと、マイクロレンズの焦点面に設置された撮像素子で構成され、波面歪みの偏微分すなわち横収差を計測して波面収差を推定することができるものであるが、より高精度に計測するためにマイクロレンズの口径を小さくすると、波面センサのダイナミックレンジや、光エネルギーの減少という課題が存在することがわかっている。これらの課題を克服し、高精度に波面センシングをするために、本論文は超解像技術を適用する手法を提案し、実証することを目的としている。

具体的には、まず、複数画像間の位置合わせ・再構成処理という超解像技術の2つの手続きをシャックハルトマン波面センサに適用するために、空間位相変調器でマイクロレンズを模擬する、もしくはピエゾアクチュエータを使用してマイクロレンズを摺動部なしにサブレンズだけシフトした横収差画像を複数枚取得する方法を提案している。ついで超解像技術を適用するための数学的な検討を実施して再構成処理のアルゴリズムを定式化し、さらに、数値シミュレーションおよび光学実験を通して、提案手法がシャックハルトマン波面センサのセンシング精度向上に有効であることを実証している。

第1章では、宇宙望遠鏡への補償光学システム搭載の必要性を述べ、補償光学に必要な収差推定の一手法として使用されているシャックハルトマン波面センサの計測精度を向上させる際に課題となる点について言及し、研究目的を明確にしている。

第2章では、地上での望遠鏡を対象に現在研究されている補償光学技術について概観し、宇宙望遠鏡に適した補償光学システムとはどうあるべきかを定性的に検討している。

第3章では、超解像技術の原理について述べ、それを適用する際に必要な、衛星上で複数枚の横収差画像を取得する方法、複数枚の横収差画像に再構成処理を適用する方法を検討し、提案手法の特長、定式化について述べている。特に、再構成処理が超解像の性能を決める重要な要素であるものの、高解像画像から低解像画像への変換が、光エネルギーを扱う通常の画像データと異なり、正負が存在し、かつフーリエ変換を介した後の信号を扱うという複雑な変換である点を取り上げ、本研究対象の波面センサに対するモデル化の検討が従来は不十分であったことを課題として挙げている。その課題に対しては、数学的な検討により平均処理で対応可能であることを示し、それをもとに効果的な再構成処理アルゴリズムを定式化している。

第4章では、提案手法の効果を数値シミュレーションで検証している。その結果、ランダムに模擬した大中小いずれの量の波面収差に対しても、従来よりも精度よく推定できることを、誤差のRMS(Root Mean Square)やPSF(Point Spread Function)のストレール比、変調伝達関数等の観点から考察している。

第5章ではシャックハルトマン波面センサおよび空間位相変調器を用いた光学実験を行い、数値シミュレーションでの結果と比較考察している。光学実験においても従来の波面センサよりも高精度にセンシングできるという結果が得られ、数値シミュレーションでの結果に加えて提案手法が有効であることをさらに説得力のあるものとしている。

第6章では本論文の結論と今後の課題について述べている。

以上要するに、本論文は、軌道上で修理することが技術的・経済的に不可能な宇宙望遠鏡に対して有効な手段となる補償光学システムの重要性を主張し、予期しない光学系の歪みやミスアライメントに起因する光波面の歪みを、超解像技術を適用したシャックハルトマン波面センサによって高精度に計測する手法を提案し、その効果を実証したものであり、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。