

審査の結果の要旨

氏名 横矢 直人

修士（工学）横矢直人提出の論文は「Hyperspectral Data Fusion Based on Unmixing（和文題目：ミクセル分解に基づくハイパースペクトルデータ融合）」と題し、本文6章から成っている。

スペクトル分解能の高いハイパースペクトルカメラは観測対象の物性を詳細に把握することが可能であり、次世代地球観測衛星センサとして各国で開発が進められている。日本でもハイパースペクトルカメラとマルチスペクトルカメラで構成される Hyperspectral Imager Suite (HISUI)が現在開発されている。光学カメラ設計におけるスペクトル分解能と空間分解能のトレードオフから、ハイパースペクトルカメラはマルチスペクトルカメラよりも空間分解能が低く、利用範囲が制限されるという問題がある。両センサの長所を併せ持つ高スペクトル分解能かつ高空間分解能な光学画像データが得られれば、リモートセンシングの利用拡大に貢献することができる。

本論文では、ハイパースペクトル画像とマルチスペクトル画像を融合させることで、高空間分解能なハイパースペクトル画像を求める新規手法を提案している。教師無しミクセル分解に基づく本手法は、既存手法よりもスペクトル歪みの極めて小さい融合画像を生成することができる。ハイパースペクトルデータ融合はデータ利用の範囲を拡大するだけでなく、データ融合を見据えたセンサ設計の指針となるものである。

第1章は序論であり、リモートセンシングにおけるハイパースペクトル画像利用への期待が高まっていることを説明するとともに、シグナルノイズ比の制限により空間分解能が低いという問題点について述べている。パンクロマティック画像を使ってマルチスペクトル画像の空間分解能を上げるパンシャープン技術や、ハイパースペクトル画像とマルチスペクトル画像の融合技術について先行研究を纏めている。そして本研究の基礎となるミクセル分解と、そのデータ融合への応用可能性について説明した上で、本研究の位置づけを行っている。

第2章では、観測範囲に含まれる端成分のスペクトルとその含有率を求めるミクセル分解について整理している。線形スペクトル混合モデルに基づくミクセル分解への利用が盛んな非負値行列分解について述べるとともに、非線形スペクトル混合モデルを解く最適化手法として準非負値行列分解を導入している。合成データを用いたシミュレーションで提案手法の有効性を確認し、航空機ハイパースペクトルデータへの適用によりその実用性を示している。

第3章は本論文の中心的部分であり、第1節では線形ミクセル分解に基づくハイパースペクトルデータ融合について提案手法を示している。ハイパースペクトル画像とマルチスペクトル画像に対して、非負値行列分解を用いたミクセル分解を交互に適用し、スペクトル分解能の高い端成分スペクトルと空間分解能の高い含有率分布図を組み合わせることで高スペクトル分解能かつ高空間分解能な融合画像を推定することが可能となる。航空機ハイパースペクトルデータを用いたシミュレーションで、提案手法は既存手法よりもスペクトル歪みが小さいことを確認している。従来型カメラの空間分解能で詳

細かつ正確な物性の推定が可能になるため、ハイパースペクトル画像の応用分野に大きなブレークスルーをもたらすことが期待できる。第2節ではパンクロマティック画像との融合で更なる空間分解能向上が可能であることを述べている。第3節では、ミクセル分解過程に非線形スペクトル混合モデルを導入することで、より複雑な反射モデルに対応したデータ融合手法に拡張できることを示している。

第4章では、本データ融合に必要な相対装置関数を観測画像から推定する手法を解説している。打ち上げ前の波長応答関数を拘束条件とし、軌道上の相対波長応答関数を推定する手法を提案している。EO-1/Hyperion と Terra/ASTER への適用例を示し、相対装置関数の推定が高性能なデータ融合生成に必須であることを確認している。

第5章では、本論文で提案するハイパースペクトルデータ融合の応用について述べている。データ融合の利用における影響を調べるために、牧草の品種分類を行っている。融合画像は高スペクトル分解能かつ高空間分解能で観測した画像と同程度の分類精度を示し、融合画像が高度な品種分類に耐えるスペクトル性能を有していることを明らかにしている。最後に、データ融合を見据えたセンサ設計について考察している。理想的には、スペクトル分解能も空間分解能もできるだけ高い画像を得たいというニーズがあるが、センサ設計におけるハードウェア上の困難から、これを1つのセンサで達成することは難しい。ハイパースペクトルカメラとマルチスペクトルカメラの2つのセンサと本論文で考案したデータ融合手法を活用することで理想的な画像を得ることが可能となる。航空機ハイパースペクトル画像を用いたシミュレーションで、融合画像の性能を最大化するセンサ設計点が存在することを明らかにしている。これによって、データ融合を見据えたセンサ設計の提示が可能となる。

第6章は結論であり、本研究で得られた結果を総括している。

以上要するに、本論文は、ハイパースペクトルカメラの長所であるスペクトル情報と従来型カメラの空間情報をソフトウェアによってうまく組み合わせることで、ハードウェアの限界を越える高スペクトル分解能かつ高空間分解能な画像を生成するデータ融合手法を提案している。実証実験を通じてその有効性を検証するとともに、新しい衛星センサ設計の可能性を示しており、航空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。