

学位論文題名

Knowledge-Based Enhancement of Low Spatial Resolution
Images in Remote Sensing

(知識ベースによる衛星画像の高解像度化に関する研究)

学位論文内容の要旨

衛星リモートセンシングによる地表面の観測は、一般には、同じ地域のリモートセンシング画像を短い周期で得ることと、高解像度な画像を得ることの二つを要求する。しかし、現在、この二つの要求を同時に満足する衛星リモートセンシングシステムは存在しない。すなわち、短い周期で得られるリモートセンシング画像の解像度は低く、反対に、高解像度画像は長い周期でしか得られない。この問題に対して、研究者は衛星リモートセンシングシステムの改良と高度な画像処理技術の開発の両面から研究を展開している。本論文では、画像処理技術によりこの問題を解決する方法を検討する。従来、Gerchberg-Papoulis の反復法などに代表される超解像手法は一つの画像の情報だけを使用しており、解像度を上げるには限界がある。そのため、衛星画像に対する高解像度法の多くは多数の波長によるマルチバンドイメージを基にしている。例えば、衛星のマルチバンドイメージデータをイメージ間に多変量正規分布による相関を仮定して、多変量統計手法を適用する方法が提案されている。また、衛星のマルチバンドイメージの空間情報を利用して高解像度衛星画像を得る方法も提案されている。しかし、リモートセンシング画像は単一の情報だけでなく、空間情報および濃淡値情報、スペクトル情報を含んでいる。異なる物質は異なるスペクトル特徴を持ち、同じ地域に対応する各波長のイメージにおける空間構造は異なると考えべきであるにもかかわらず、これらの問題を考慮に入れた提案法はまだ無いのが現状である。

本研究は、画像の空間情報および画素の濃淡値情報、地表物質のスペクトル情報の三つの情報を用いて、衛星のマルチバンドイメージの中に存在するであろう不変な特徴量を究明し、幾つかの波長における高解像度画像から抽出した不変な特徴量を用いて、他の波長の低解像度画像を高解像度化する新しい方法を模索したものであり、衛星 Landsat TM と NOAA AVHRR への応用を通して、提案方法の安定性と有効性を検討した結果をまとめたものである。論文は5章より成り、以下にその概略を示す。

第1章は本研究の背景、目的、課題について論じ、スペクトル情報を用いた画像処理技術によって、衛星のマルチバンドイメージの中から不変な特徴量を抽出し、その結果を利用して高解像度画像を推定する原理を導いている。そこでは、まず、例を挙げて高解像度リモートセンシング画像の実用性と重要性を示す。次に、高解像度のリモートセンシング画像の推定に対して、従来の三つの方法を分析し、従来法の基礎とする仮定、つまりマルチバンドイメージの正規分布性の仮定と各イメージの空間構造が一致しているとみなす仮定の問題点を示す。続いて、衛星リモートセンシング画像のスペクトル情報を用いた画像処理技術によって、この問題点を解決する新しい方法を提案する。

第2章はマルチバンドイメージの特徴量とその画素値の物理的な意味をまとめ、提案法のため

の知識ベースを導出する。本章は以下に示す3節から成る。第1節では、現在の衛星リモートセンシングシステムにおけるセンサの走査方式、マルチバンドイメージの形成原理と意味、画像の解像度の幾何学および物理的な意味、画像の取得周期と解像度の関係を示す。第2節では、放射理論によって地表面の放射バランスモデルを構築し、マルチバンドイメージにおける各イメージに対応する放射成分を解明し、各イメージの表現している情報を論じる。この結果によって、単純に画像の空間構造あるいは濃淡値の観点からマルチバンドイメージ中の相関関係を求める方式の限界を指摘した上で、衛星画像を高解像度化するためにスペクトル特徴を用いることの有効性を示す。第3節では、過去の現地調査結果に基づいて、地表面の物質のスペクトル特徴を特に農業地域に関連する水、土、植物のスペクトル特徴を解明し、これを提案法の知識ベースとする方法を述べる。

第3章では、構築した知識ベースによる高解像画像の推定技術を論じる。本章は以下の6節から成る。第1節では、知識ベースによる階層型分類器を設計して、高解像度画像を推定する新しいモデルを構成する。モデルの安定性のため、信頼度の高い知識を階層型分類器の高位層に適用する方針とモデルを画像の全域に適用する方法の妥当性を論じる。続いて、モデル中の具体的な手法を第2~5節で述べる。第2節から第4節までは、画素ごとに地表面の物質を識別する手法を構成し、地表面利用分布の精密構造を求める。第2章第3節にまとめた植物、水、土のスペクトル特徴を用いて、水域および植物地域、町と道路を画素ごとに識別する。幅の狭い川のスペクトル特徴の不安定性を線形追跡処理手法により解消する方法を述べる。また、スペクトル特徴が似ている地表面物質、例えば町と道路あるいは耕地と荒地、に対して周波帯におけるヒストグラムのピークを検出する目的に、クラスタリングの非階層手法の一つであるk-means法を応用する。第5節では、解像度の低い画像に対して一つの画素を構成する各類の面積を求め、最小二乗法により各類の平均値を推定し、画素の分類に従ってその類の平均値をあてはめることで、高解像度画像を生成する方法を述べる。第6節では、解像度の低い画像におけるウェーブレット係数を推定し、逆ウェーブレット変換によって高解像度画像を生成する方法を述べる。

第4章は提案法を衛星Landsat TMと衛星NOAA AVHRRに適用し、提案法の有効性を検証する。本章は以下の3節から成る。第1節では、一つ衛星におけるマルチバンドイメージに提案法を適用することを考えて、衛星Landsat TMセンサのマルチバンドイメージを用いて実験を行った。衛星Landsat TMセンサが七つのバンド(バンド1~バンド7)を持ち、その内、バンド1~バンド5、バンド7は30m×30mの解像度であるのに対し、バンド6は機械の精度より120m×120mに近い解像度しかない。このマルチバンドイメージに提案法を適用することより、バンド6に対して従来の試みと比べ、より精度の高い高解像画像が得られることを明らかにした。第2節では、二つの衛星の補償によって擬似的に短い周期の高解像度衛星画像を入手する方法を検討する。衛星Landsat TMと衛星NOAA AVHRRを用いて、提案法をこの二つの衛星におけるマルチバンドイメージに適用し、実験を行った。衛星NOAA AVHRRにおける画像は解像度が1.1km×1.1kmと低いものの、一日2回取得することができる。それに対して、衛星Landsat TMにおける画像は解像度が30m×30m~120m×120mと高いものの、16日に1回しか取得することができない。従って、周波帯が近いこの二つセンサ(TM, AVHRR)の情報を統合して、一日2回取得できる高解像度画像を得るこの手法は注目に値する。実験結果によって、地表利用の安定している地域、特に農業地域に対して提案法の有効性を明らかにした。第3節では、衛星Landsat TMに対して、提案法と従来法を適用し、それらの得失を明らかにする。

第5章は結論を述べたものである。すなわち、本論文は、地表面の物質のスペクトル特徴に基づき、画像処理技術により低解像度画像を高解像度化する方法を提案し、その方法を衛星Landsat TMと衛星NOAA AVHRRセンサにおけるマルチバンドイメージに適用することで、衛星画像の高解像度化が可能であること、さらに、他の問題領域にそのような知識に基づく高解像度化手法が適用可能であることを指摘する。

学位論文審査の要旨

主査 教授 新保 勝
副査 教授 伊達 惇
副査 教授 宮腰 政明
副査 教授 佐藤 義治

学位論文題名

Knowledge-Based Enhancement of Low Spatial Resolution Images in Remote Sensing

(知識ベースによる衛星画像の高解像度化に関する研究)

衛星リモートセンシングによる地表面の観測は、一般に、同じ地域のリモートセンシング画像を短い周期で得ることと、高解像度の画像を得ることを要求する。しかし、この二つの要求を同時に満足する衛星リモートセンシングシステムは存在せず、短い周期で得られるリモートセンシング画像の解像度は低く、高解像度の画像は長い周期でしか得られないのが現状である。

本論文は、多数の波長による衛星マルチバンド画像に対して、空間情報および画素の濃淡値情報、地表面物質のスペクトル情報を用いて、衛星マルチバンドデータ間の関連を明らかにするとともに、低解像度衛星画像を高解像度化する方法を提案し、その適用性と有用性を示したものであり、主要な成果は次の点に要約される。

(1) 衛星画像における地表面物質のスペクトル特徴はバンド間の相関関係が波長帯によって大きく変化することを Landsat 衛星データによって検証した。その結果、多くの地域に対して、従来試みられてきたような画素間や画像のテクスチャ間に単純な相関関係を仮定できないことを明らかにした。

(2) 衛星システムの分析から、画像の形成原理や取得周期、解像度、画像値などの特徴量をまとめた地表利用分類と名付ける特徴量の有効性を認め、衛星のマルチバンド画像中の低解像度画像を高解像度化するための知識ベースを導入した。

(3) 地表利用分類情報を抽出するため、知識ベースによる階層型分類規則を作成し、信頼度の高い知識を階層型分類規則の高位層に適用する方針と高解像度化モデルを画像の全域に適用する方法によって、高解像度画像を推定する安定性の高いシステムを構成した。

(4) 高解像度画像を生成するため、水域や植物地域、道路、町などの地表面物質の抽出に際して、最小二乗法により高解像度画像を生成する方法、およびウェーブレット変換により高解像度画像を生成する方法を提案し、Landsat および NOAA 衛星データにより、その有用性を確認した。

これを要するに、著者は衛星マルチバンド画像のデータ関係を明らかにするとともに、衛星画像の各種情報に基づく知識ベースを導入し、低解像度画像を高解像度画像化する新しい方法を提案したものであり、画像情報処理工学の発展に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。