

氏名(本籍)	鳥屋 剛毅				
学位の種類	博士(工学)				
学位記番号	博甲第 9817 号				
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日				
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当				
審査研究科	システム情報工学研究科				
学位論文題目	地理情報システムの時空間分解能向上のための異高度撮影画像間の対応点探索法				
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	北原 格		
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	亀田 能成		
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	森嶋 厚行		
副査	筑波大学 助教	博士(工学)	山口 友之		
副査	秋田大学 教授	博士(工学)	川村 洋平		

論文の要旨

本論文では、地理情報システムの時間・空間分解能の向上を目的とし、高高度で撮影した可視光(EO: Electro-Optical)画像、合成開口レーダ(SAR: Synthetic Aperture Radar)画像、低高度で撮影した可視光画像、地上で撮影した可視光画像という特性の異なる4種類の画像間の幾何的な対応関係を推定する手法について論じている。夜間や曇天時でも地表の観測が可能な SAR 画像の導入により、時間的分解能の向上が可能となるが、観測に用いる電磁波の違いにより EO 画像と SAR 画像の見え方に大きな差異が生じ対応点探索精度が低下することを踏まえ、深層学習を用いて SAR 画像の見え方を EO 画像に類似した見え方に変換し、対応点探索を高精度化する手法を考案している。撮影高度の異なる EO 画像を統合することにより空間的分解能の向上が可能となるが、解像度が大きく異なるため画像間の対応点探索精度が低下することを踏まえ、適切な拡大縮小率での超解像度処理によって対応点探索を高精度化する手法を考案している。地上撮影画像の導入により時間および空間的分解能を飛躍的に向上させることが可能だが、被写体とカメラの位置関係が大きく異なるため画像間の対応点探索精度が低下することを踏まえ、射影歪の幾何学的補正により対応点探索を高精度化する手法を考案している。

序論となる第1章では、本論文の主題である上述した4種類の画像間の撮影特性の違いについて述べた後、対応点探索処理に及ぼす影響や課題を示し、それらを深層学習による画像変換と射影幾何に基づいた形状変換によって解消する方向性について論じている。

第2章では、画像間の対応点探索およびモーダル変換に関する従来研究を、4種類の画像間の対応点探索に適用することを念頭に置いて整理し、各種画像間の対応点を高精度に探索可能な手法がこれまで存在していないことを指摘し、提案する手法の優位性について論じている。

第3章では、EO 画像と SAR 画像間の高精度対応付を目的として、条件付き敵対的生成ネットワークにより訓練した深層学習ネットワークを用いて、両画像の見え方を揃えた後に、対応点探索を行う手法について述べている。訓練データにエッジ強調フィルタを適用し局所特徴の学習強度を高める工夫を加え、高精度な対応点探索を実現している。

第4章では、衛星(高高度)とドローン(低高度)で撮影した空間分解能が大きく異なる画像に対し、アーティファクト発生を抑えつつ超解像処理を施すことで衛星画像の空間分解能を高め、両画像

間の対応点探索精度を向上する手法について述べている。空間分解能が12倍異なる画像に対し、4～6倍程度の超解像を適用することで高精度な対応点探索処理が実現できることを確認している。

第5章では、低高度空撮影画像と地上撮影画像の間の対応点探索手法について述べている。撮影方向に違いによって見え方が異なる問題に対し、地上撮影に用いたカメラの内部パラメータと加速度データを用いて地上撮影画像の射影歪みを補正し、高精度な対応点探索を実現している。

第6章では、実観測画像データに提案手法を適用する実証実験を実施し、実装上の諸問題を解説しつつ、地理情報システムの時空間分解能向上に対する有効性を確認している。

第7章は、結論として論文全体のまとめと、今後検討すべき課題、提案手法を活用した応用の考察が述べられている。対応点探索精度向上を目的とした深層学習とその結果を用いた探索処理によって、撮影形態が大きく異なる画像間の対応付を実現する斬新なアイデアと、それによって実現される、地上観測の超高空間分解能と衛星観測の網羅性を兼ね備えた地理情報システムは、過去に例を見ない優れたものであり、自然災害対応やスマートシティなどへの応用が大いに期待される。

審 査 の 要 旨

【批評】

観測特性が大きく異なる4種類の画像間の幾何的な対応関係を高精度に推定する手法は、これまでに実現例を見ない挑戦的な課題であるが、対応点探索処理に特化した深層ニューラルネットワークを構築、学習することにより、カメラ間の射影変換行列を高精度に推定する優れた成果をあげている。空間分解能の異なる画像間の対応点探索では、対応点探索精度を手がかりとして、超解像度処理と解像度低下処理の拡大縮小率を適応的に設定する手法を提案することにより、探索精度を飛躍的に向上させた点も高く評価できる。地上撮影画像を空撮画像の対応点探索では、撮影時に計測したモバイルカメラの姿勢情報を用いて疑似的な俯瞰画像を生成することにより、対応点探索精度を大幅に向上させる実用的な手法を考案している。撮影から提示までに要する処理コストや、撮影対象の3次元形状の複雑さが対応点探索精度に与える影響の検討など、実用化に向けてはさらなる議論が必要である印象は否めないが、博士論文として十分な水準にあると認められる。

【最終試験の結果】

令和3年1月28日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。