

京都大学	博士（工学）	氏名	Kamolratn Chureesampant
論文題目	AUTOMATIC CO-REGISTRATION OF SAR IMAGES FOR LAND COVER CLASSIFICATION AND CHANGE DETECTION APPLICATIONS （土地被覆分類・変化抽出のための SAR 画像の自動位置合わせ）		
（論文内容の要旨） This thesis presents a method for automatic extraction of Ground Control Points (GCPs) of fully polarimetric Synthetic Aperture Radar (SAR) images obtained from various satellites with different viewing angles. As applications of polarimetric SAR, land cover classification and change detection methods are discussed using the result of GCP extraction. This thesis consists of six chapters. Chapter 1 presents the research context and research objective. Chapter 2 reviews SAR data acquisition, system and properties. In Chapter 3, introduces the subject of the co-registration of multi-temporal and fully polarimetric images acquired using various satellites at different viewing angles. The Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) algorithm is applied to extract candidate GCPs, where two-way keypoint matching eliminates improbable correspondence keypoints. Minimizing the Root Mean Squared Error (RMSE) also removes matching points with large RMSE through a pseudo-affine transformation. In addition, information entropy and spatial dispersion quality constraints enable quantification of the spatial distribution of the GCPs. In accordance with full polarization, applying the SIFT-OCT algorithm (the SIFT algorithm with the first scale-space octave skipped) to polarimetric SAR data is examined. The Total Power (TP) image represents a combination of the characteristic of all four polarization images (HH, HV, VH, and VV). Therefore, GCP extraction using TP image rather than each polarization image is proposed in order to maximize the accuracy of GCP extraction for all of the polarization data, as the TP image generates the highest Signal-to-Noise Ratio (SNR) value. The SNR in conjunction with the Matching Correlation Surface (MCS) is used as an indicator of the reliability and accuracy of GCP extraction. After successfully applying the method to Advanced Land Observing Satellite (ALOS)/Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) and Japanese Earth Resources Satellite-1 (JERS-1) SAR images, the GCP matching accuracy is further improved by using geometric calibration. Chapter 4 investigates the quantitative comparison of unsupervised change detection capabilities based on a closed-loop process using the double thresholding KI algorithm in multiple polarimetric SAR data. Nine signal polarizations were examined in a variety of different topographies (i.e., highly urbanized area (Osaka dataset), vegetated area (Chiba dataset), and mixed topographic area (Kyoto dataset)). The investigation of unsupervised change detection in the viewpoint of nine signal polarizations at different topographies was summed up that the combined cross-polarized (HV+VH) data was the most suitable for various topographic features. In addition, this provided technique can be applied to optical remotely sensed imagery to perform automatic unsupervised change detection with a high accuracy. The research improvement can be carried out to apply other probability density function estimation such as Log normal, Weibull ratio to fit the histogram for the double-changed class in different topographies. Chapter 5 presents the classification framework based on the Bayesian theory with the single polarization multi-temporal synthetic aperture radar (SAR) and an optical data, and			

京都大学	博士（工学）	氏名	Kamolratn Chureesampant
incorporates the proposed training sample selection (SS) methods. Within this framework, the combination with gray level co-occurrence matrix (GLCM)-based mean textural measure is investigated. The two procedures of the classification and proposed SS are united, where SS generates accurate and dispersed training samples. Extracted features from multi-temporal SAR data—namely, the average backscattering coefficient, backscatter temporal variability, and long-term coherence and reflectance values from optical data, are integrated with GLCM mean textural data in the framework. Classification results were generated by taking Osaka City, Japan, as the study area. The selected major classes were built-up areas, fields, woodlands, and water bodies. The most suitable data used for classification is the multi-temporal SAR and an optical data combination with the mean textural, because of the supplement of different data and the smoothing effect of the texture. The higher quality training samples obtained by using the combined Support Vector Machine (SVM) and Neural Network (NN)-based SS method for training the Bayesian classifier generated the highest classification accuracies in all of tested cases. Finally, Chapter 6 concludes the research.			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、近年、衛星搭載型多偏波 SAR（合成開口レーダ）画像が利用可能になってきた背景を踏まえて、多偏波 SAR 画像の自動位置合わせ手法の開発を中心に、SAR 画像と光学センサ画像を融合した土地被覆分類手法の開発、及び 2 時期の多偏波 SAR 画像を用いた土地被覆変化抽出手法の開発を研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 多偏波 SAR 画像の自動位置合わせ手法の開発においては、誤りなくかつ適切な数の GCP (Ground Control Point)抽出を可能にする手法を提案している。従来画像処理の分野で普及してきた SIFT アルゴリズムを基礎に、誤った対応点の組合せを除去しつつ、投影変換時の RMSE (Root Mean Square Error)を最小にするように空間的な散らばりを確保するような GCP 群の組合せを決定する。また HH, HV, VH, VV の各偏波画像に加えて、全電力(Total Power: TP) 画像も比較対象にし、同一センサでレーダの入射角度がほぼ同じ場合、同一センサで入射角度が大きく異なる場合、入射角度が大きく異なる別種のセンサを対象とする場合に分けて GCP の抽出精度を評価した。その結果、提案手法はどのような場合においても良好に GCP を抽出可能であることが判明した。
2. SAR 画像と光学センサ画像を融合した土地被覆分類手法の開発では、時系列の SAR 画像と光学センサ画像を融合する際に有効なテクスチャ指標を検討し、ベイズ推定の枠組みを用いて分類精度を評価した。教師つき土地被覆分類においてはトレーニングデータの抽出が必要になるが、初期のトレーニングデータを自動的に更新し最良のトレーニングデータを決定する仕組みも含めた。
3. 2 時期の多偏波 SAR 画像を用いた土地被覆変化抽出手法の開発では、多偏波 SAR 画像を用いて、建物や植生の地物が消滅した地域、及び新たに発生した地域を推定するために、両者の閾値を自動的に決定する枠組みを整理した。大阪府を含む HH, HV, VH, VV の各偏波画像と TP 画像に対し、都市域や農地等の種々の土地被覆における最適な検出窓の大きさを検討し、手法の有効性を検討した。

本論文は、衛星搭載型多偏波 SAR 画像の普及に伴い生じる課題に関して有用な手法を提唱しており、リモートセンシング工学の分野において、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 24 年 10 月 22 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。