ETH zürich

ETH Library

Monitoring Rice Fields Using Synthetic Aperture Radar

Doctoral Thesis

Author(s):
Yüzügüllü, Onur

Publication date:
2017

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-010881952

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

DISS. ETH Nr. 24118

MONITORING RICE FIELDS USING SYNTHETIC APERTURE RADAR

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

Onur Yüzügüllü

MSc.Eng., Department of Environmental Engineering
Middle East Technical University

born on 12.03.1986
citizen of Turkey

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Irena Hajnsek
Prof. Dr. Esra Erten
Prof. Dr. Juan Manuel López Sánchez
Dr. Ludovic Villard

2017

Abstract

The increase in world population during the last century has led to a higher crop production. Due to limited arable lands and growing demand for crops, agricultural monitoring practices require modern techniques to improve management systems. For an effective monitoring, crop phenology (morphology and growth stage) is an important descriptor for the dynamic assessment of crop vitality and productivity. Precision agriculture is a new crop monitoring concept, which aims to improve agricultural management practices through remotely sensed data. It uses spatially and temporally high-resolution satellite data for inter- and intra-field variability of crop phenology. To this aim, Synthetic Aperture Radar (SAR) data is employed to monitor the phenological changes using the interaction between crops and electromagnetic waves. Even though in recent years a lot of research has been conducted, there is still room for improvement in large-scale precision agriculture applications to improve the management practices.

This thesis presents two physical model based rice crop monitoring approaches to estimate the phenological state of rice plants for large-scale implementations. The first approach employs Polarimetric SAR (PolSAR) to invert an electromagnetic scattering model using parameter search space algorithm. The second approach uses Polarimetric Interferometric SAR (Pol-InSAR) data for the inversion of the random volume over ground model. Both approaches are developed to consider phenological variability in fields for large scale implementations.

The proposed methodologies in this thesis rely on the stochastic inversion of electromagnetic scattering models. The stochastic inversion procedures consider the uncertainties in morphology based dimensional uncertainties. For the validation of the inversion procedures, we used PolSAR data from dual-pol TerraSAR-X in X-band and RADARSAT-2 in C-band. Furthermore, we used Pol-InSAR data from the large baseline bistatic science phase of the dual-pol TanDEM-X mission to improve the overall phenological state estimation accuracy.

The performances of the phenological state estimation algorithms are evaluated with ground measurements conducted in Seville (Spain - 2008) and Ipsala (Turkey - 2013 to 2015). The assessment makes a significant contribution to rice crop monitoring research. The stochastic inversion of the physical models indicates that the estimation of crop height using PolSAR is possible with an error less than 15 cm. The combination of PolSAR and Pol-InSAR based crop height estimation algorithms improved the accuracy and led to errors less than 10 cm. For the first time, the study provides quantitative estimations of stalk and leaf dimensions with a good accuracy ($R^2 \geq 0.6$). Moreover, the proposed phenological stage (BBCH) determination algorithm achieves less than 10% error on the validation data.

This dissertation presents a new precision agriculture approach, which broadens the applicability of physical models using PolSAR data. The proposed approach allows for the detection of sub-field phenological irregularities, which can be used to identify under- or overgrowth conditions.

Zusammenfassung

Das Bevölkerungswachstum während des letzten Jahrhunderts hat zu einer höheren Getreideproduktion insbesondere Reis, Weizen und Mais geführt. Aufgrund der begrenzten Fläche von landwirtschaftlich nutzbarem Land und der wachsenden Nachfrage nach Getreide verlangen landwirtschaftliche Beobachtungspraktiken nach modernen Technologien, die ein besseres landwirtschaftliches Management und eine Genauere und Ertragschätzung bieten. Für eine effiziente Beobachtung ist die Getreidephänologie (Morphologie und Wachstumsphase) ein wichtiger Parameter für die dynamische Beurteilung der Vitalität und Produktivität der Getreidepflanzen. Präzisionslandwirtschaft ist ein neues Konzept, welches die Verbesserung der landwirtschaftlichen Verwaltungspraktiken unter anderem durch Fernerkundungsdaten zum Ziel hat. Sie nutzt räumlich und zeitlich hoch-auflösende Satellitendaten für Inter- und Intrafeld-Variabilität der Getreidephänologie. Dafür werden Synthetische Apertur Radar Daten (SAR) eingesetzt, um die phänologischen Änderungen anhand der Interaktion zwischen den Reispflanzen und elektromagnetischen Wellen zu beobachten. Obwohl in den letzten Jahren viel Forschung in diesem Gebiet durchgeführt wurde, gibt es noch immer Potenzial für Verbesserung in grossflächigen Anwendungen in der Präzisionslandwirtschaft, um das Monitoring zu optimieren.

Diese Dissertation präsentiert zwei auf physischen Modellen beruhende Reis-Beobachtungsansätze zur Einschätzung des phänologischen Standes der Reispflanzen für grossflächige Anwendungen. Der erste Ansatz nutzt Polarimetrische SAR-Daten (PolSAR) um ein elektromagnetisches Rückstreuungsmodel durch einen "parameter search space„ Algorithmus umzudrehen. Der zweite Ansatz nutzt Polarimetrische Interferometrische SAR-Daten (Pol-InSAR) zur Umkehr des "random volume over ground„-Modelles. Beide Ansätze wurden entwickelt um die phänologische Variabilität innerhalb der Felder für grossflächige Anwendungen zu berücksichtigen.

Die in dieser Arbeit vorgeschlagenen Methoden beruhen auf der stochastischen Inversion der elektromagnetischen Rückstreuungsmodelle. Die stochastischen Inversionssverfahren berücksichtigen die Unbestimmtheit der Morphologie basierend auf dimensionalen Unbestimmtheiten. Zur Validierung der Inversionsmodelle benutzten wir PolSAR-Daten vom dual-pol TerraSAR-X Satelliten in X-band und dem RADARSAT-2 Satelliten in C-band. Ausserdem verwendeten wir Pol-InSAR Daten der „large baseline bistatic science phase“ der Satellitenmission TanDEM-X um die Genauigkeit der Einschätzung des phänologischen Zustandes der Pflanzen zu verbessern.

Die Leistung der Algorithmen zur Feststellung der Pflanzenphänologie wurden durch Bodenmessungen in Sevilla (Spanien – 2008) und Ipsala (Türkei – 2013 bis 2015) mit Hilfe der BBCH Skala geprüft. Diese Validierung leistet einen beachtlichen Beitrag zur Forschung der Bestandsbeobachtung der Reispflanzen. Die stochastische Inversion des physikalischen Modells zeigt, dass die Schätzung der Pflanzenhöhe durch PolSAR mit einer Abweichung von weniger als 15 cm möglich ist. Die Kombination auf der PolSAR- und Pol-InSAR-Daten basierenden Pflanzenhöhenschätzung verbesserte die Genauigkeit und führte zu Abweichungen von weniger als 10 cm. Diese Studie bietet zum ersten Mal quantitative Schätzungen von Stengel- und Blatt-Dimensionen mit

guter Genauigkeit ($R^2 \geq 0.6$). Zudem erreicht der vorgeschlagene Algorithmus zur Feststellung der Phänologie (BBCH) weniger als 10% Abweichung zu den Validierungsdaten.

Diese Dissertation präsentiert einen neuen Ansatz zur präzisen Landwirtschaft, welche die Anwendungsmöglichkeiten von physikalischen Modellen durch die Nutzung von PolSAR-Daten erweitert. Dieser Ansatz ermöglicht die Erkennung von phänologischen Unregelmässigkeiten innerhalb der Felder, welche zur Identifizierung von Unter- und Überwachsungszuständen genutzt werden können.