



Doctoral Thesis

Multicircular Holographic SAR Tomography Over Forested Areas

Author(s):

Ponce Madrigal, Octavio

Publication Date:

2017

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010871462> →

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 NO. 23988

*MULTICIRCULAR HOLOGRAPHIC SAR TOMOGRAPHY
OVER FORESTED AREAS*

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

OCTAVIO PONCE MADRIGAL

Ingeniero en Telemática, Instituto Tecnológico Autónomo de México

born on 15.02.1985

Mexican citizen

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Irena Hajnsek, examiner
Prof. Dr. Alberto Moreira, co-examiner
Prof. Dr. Lars M. H. Ulander, co-examiner
Prof. Dr. Laurent Ferro-Famil, co-examiner

2017

Abstract

The research of this PhD thesis is devoted to investigate the 3-D backscattering signature of vegetation, particularly forests, by using L- and P-band fully polarimetric data in the circular synthetic aperture radar (CSAR) and the holographic SAR tomography (HoloSAR) modes. The understanding of the radar backscattering of vegetation is of significant interest to retrieve physical parameters in the biosphere, such as height, ground topography and extinction factor, and consequently to estimate biomass. Several experiments have been performed to study the vertical structure of vegetation with conventional linear SAR modes, such as polarimetric SAR interferometry (PolinSAR) and SAR tomography (TomoSAR). However, an inherent limitation of these techniques is the narrow angular azimuth measurements. In order to increase the range of aspect angle measurements, a wide angular synthetic aperture, such as circular, should be formed. Sensing with CSAR and HoloSAR modes allows the measurement of the volumetric scattering over 360° , thereby being able to fully characterise the objects of interest. In this context, the contribution of this thesis aims to investigate the full acquisition and processing chain of both modes, and consequently to obtain fully polarimetric 3-D images of forested areas. These goals can be summarised in five points. The first proposes a computational efficient implementation of the time-domain fast factorised back-projection (FFBP) algorithm for circular tracks. The second contribution of this research encompasses the first experimental CSAR airborne data collection at L-band, where the validation of volumetric reconstructions by coherent and incoherent imaging is accomplished. The third is the introduction and characterisation of the HoloSAR mode through the study of the 3-D impulse response function in time and frequency domains. The fourth is the development of a phase calibration algorithm based on the singular-value decomposition and a phase sensitivity study for mismatches in the navigation data. The last part of the thesis contains the first experimental demonstration of HoloSAR over forested areas with an airborne SAR platform at P- and L-band. Additionally, non-linear approaches such as compressive sensing (CS) and the generalised likelihood ratio test (GLRT) are investigated for distributed backscattering.

Kurzfassung

Die Forschung dieser Dissertation widmet sich der Untersuchung der dreidimensionalen Rückstreuung der Vegetation, insbesondere der Wälder, durch die Verwendung von L- und P-band polarimetrischen Daten im zirkularen synthetischen Aperturradar (circular synthetic aperture radar - CSAR) und der holographischen SAR-Tomographie (holographic SAR tomography - HoloSAR) Modi. Das Verständnis der Radarrückstreuung von Vegetation ist von erheblichem Interesse, um physikalische Parameter in der Biosphäre, wie Höhe, Boden-Topographie und Extinktionskoeffizient, zu erfassen und somit Biomasse abzuschätzen. Mehrere Experimente wurden durchgeführt, um die vertikale Struktur der Vegetation mit konventionellen linearen SAR-Modi, wie polarimetrische SAR-Interferometrie (PolinSAR) und SAR-Tomographie (TomoSAR), zu untersuchen. Eine inhärente Grenze dieser Techniken ist jedoch die schmalen Winkelazimutmessungen. Um den Bereich von Aspektwinkelmessungen zu erhöhen, sollte eine breite winkelförmige synthetische Apertur, wie z. B. kreisförmig gebildet werden. Die Datenerfassung mit CSAR- und HoloSAR-Modi ermöglicht die Messung der volumetrischen Streuung über 360° , wodurch bestimmten Zielen vollständig charakterisiert werden können. In diesem Zusammenhang zielt der Beitrag dieser Arbeit darauf ab, die vollständige Aufnahme- und Verarbeitungskette beider Modi zu untersuchen und somit vollständig polarimetrische 3D-Bilder von bewaldeten Gebieten zu erhalten. Diese Ziele lassen sich in fünf Punkte zusammenfassen. Der Erste schlägt eine rechnereffiziente Implementierung des Zeitbereiches schnell-faktorisierter Rückprojektion (fast factorised back-projection - FBP) -Algorithmus für zirkulare Flugstrecken vor. Der zweite Beitrag dieser Forschung umfasst die erste experimentelle CSAR-flugzeuggestützte Datenaufnahme im L-Band, bei der die Validierung volumetrischer Rekonstruktionen durch kohärente und inkohärente Abbildung erreicht wird. Die Dritte ist die Einführung und Charakterisierung des HoloSAR-Modus durch die Untersuchung der 3-D-Impulsantwortfunktion in Zeit- und Frequenzbereichen. Der Vierte ist die Entwicklung eines Phasenkalibrierungsalgorithmus auf der Grundlage der Singulärwertzerlegung und einer Phasenempfindlichkeitsstudie für Fehlanpassungen in den Navigationsdaten. Der letzte Teil der Arbeit enthält die erste experimentelle Demonstration von HoloSAR über bewaldeten Gebieten mit einem flugzeuggestützten SAR-System im P- und L-Band. Darüber hinaus werden nicht-lineare Verfahren, wie der komprimierte Abtasten (compressive sensing - CS) -Algorithmus und das Likelihood-Quotienten-Test (generalised likelihood ratio test - GLRT) -Verfahren für verteilte Rückstreuung untersucht.