

**Of Plants and Pixels:
Leveraging Biological Priors for Ecological Data Analysis
When Generic Methods Fall Short**

Dissertation

submitted for the academic degree of

Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

Faculty of Computer Science and Electrical Engineering
University of Rostock, Germany

Alexander Gillert

2023

Abstract

As ecological research continues to expand across temporal and spatial scales, it generates immense amounts of data. The constantly growing volume and complexity of this data poses a major bottleneck in the scientific process.

The primary objective of this interdisciplinary PhD project was to accelerate several data analysis tasks in ecological research that are too time-consuming to perform manually. In a first step, the feasibility of achieving this goal through the use of existing, generic methods was evaluated. For some specific tasks, such as instance segmentation of tree rings or root turnover estimation, the performance of these generic methods failed to meet the desired level of accuracy because of unique requirements that are not adequately addressed by generic computer vision research.

This led to the development of new algorithms addressing these new challenges which constitute the main part of this thesis. Incorporating domain-specific prior knowledge of the underlying biological systems and processes has shown to be essential in guiding the development of these algorithms.

The presented algorithms are packaged as user-friendly analysis tools that do not require a high level of technical expertise. They have already proven their usability within several ecological studies and led to new follow-up projects.

Zusammenfassung

Da sich die ökologische Forschung weiterhin über zeitliche und räumliche Skalen ausdehnt, erzeugt sie immense Datenmengen. Die ständig wachsende Menge und Komplexität dieser Daten stellt einen großen Engpass im wissenschaftlichen Prozess dar.

Das Hauptziel dieser interdisziplinären Arbeit war es, mehrere Datenanalyseaufgaben in der ökologischen Forschung zu beschleunigen, die zu zeitaufwändig sind, um manuell durchgeführt zu werden. In einem ersten Schritt wurde die Realisierbarkeit dieses Ziels durch den Einsatz bestehender, generischer Methoden evaluiert. Für einige spezifische Aufgaben, wie z. B. die Instanzsegmentierung von Baumringen oder die Schätzung des Wurzelumsatzes, erfüllte die Erkennungsleistung dieser generischen Methoden nicht das gewünschte Genauigkeitsniveau, aufgrund einzigartiger Anforderungen, die in der generischen Bildverarbeitungs-Forschung nicht angemessen adressiert werden.

Dies führte zur Entwicklung neuer Algorithmen zur Bewältigung dieser neuen Herausforderungen, die den Hauptteil dieser Arbeit ausmachen. Die Einbeziehung von domänenspezifischem Vorwissen über die zugrunde liegenden biologischen Systeme und Prozesse hat sich als wesentlich für die Entwicklung dieser Algorithmen erwiesen.

Die vorgestellten Algorithmen sind als benutzerfreundliche Analysewerkzeuge verpackt, die kein hohes Maß an technischem Fachwissen erfordern. Sie haben ihre Verwendbarkeit bereits in mehreren ökologischen Studien bewiesen und zu neuen Folgeprojekten geführt.