

Echtzeit Szenenrekonstruktion für Schreitbagger

Robust Real-Time Scene Reconstruction for Mobile Legged Excavators Using Multi-Stereo Camera Systems and ROS

Diplomand



Rjano Ryser

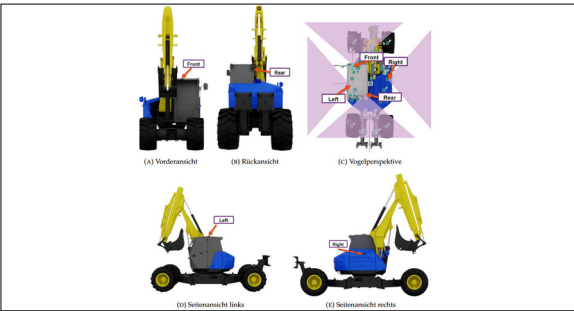
Ausgangslage: Moderne Baustellen stellen zunehmend Anforderungen an autonome Maschinensysteme. Mobile Schreitbagger in extremem Gelände benötigen dafür robuste Echtzeit-Wahrnehmungssysteme für Lokalisierung, Hinderniserkennung und Fortschrittserfassung, wozu eine Echtzeit-3D-Rekonstruktion der Umgebung (z. B. via RGB-D-SLAM) vorausgesetzt wird. Diese Verfahren sind jedoch rechenintensiv sowie anfällig für texturarme und dynamische Umgebungen. Zudem erfordert der Einsatz mehrerer Kameras eine präzise extrinsische Kalibrierung. Beim verwendeten System sind vier ZED-X-Stereokameras am Schreitbagger montiert, deren Sichtfelder sich konstruktionsbedingt kaum überlappen, wodurch klassische, targetbasierte Kalibrierverfahren unbrauchbar werden. Eine weitere Herausforderung ist die Trennung von Umgebung und Maschine: Sich bewegende Teile des Baggers wie Ausleger, Beine oder Fahrwerk verfälschen die Terrain-Rekonstruktion und müssen zuverlässig maskiert werden.

Ziel der Arbeit: Primäres Ziel ist die Entwicklung einer neuartigen extrinsischen Kalibriermethode für Kamerasysteme mit nicht-überlappenden Sichtfeldern. Sie soll eine vergleichbare oder bessere Genauigkeit als bestehende Ansätze erzielen sowie praktisch durchführbar und reproduzierbar sein. Die Validierung erfolgt in der Simulation mit NVIDIA Isaac Sim, auf einem Testaufbau und zuletzt am realen System. Das zweite Ziel ist der Aufbau eines neuronalen Segmentierungsverfahrens zur Maskierung der Baggerstruktur. Dabei werden verschiedene Architekturen für den Echzeiteinsatz auf einem Jetson AGX Orin Edge-Gerät miteinander verglichen und das beste Modell mittels messbarer Evaluationskriterien selektiert. Als übergeordnetes Systemziel verfolgt die Arbeit eine modulare ROS2-Pipeline, die die Punktwolkenfusion in Echtzeit auf der Zielplattform vereint und die Grundlage für den autonomen Betrieb bildet.

Ergebnis: Das Gesamtziel wurde durch die Entwicklung zweier modularer ROS2-Pipelines umgesetzt: einer Pipeline für die präzise Offline-Kalibration sowie einer Online-Pipeline zur Echtzeit-Punktwolkenfusion auf dem Jetson AGX Orin. Für die Kalibrierung ohne überlappende Sichtfelder erwies sich die entwickelte Methode als praktikable Lösung, die mithilfe einer photogrammetrisch erstellten Baseline verifiziert wurde. Größere Schachbrettquadrate stabilisieren dabei die Detektion des ChArUco-Boards auf Distanz, während die Mittelung der Ergebnisse beider Kameraperspektiven die Genauigkeit durch Fehlerausgleich deutlich steigert. Bei der Segmentierung der Baggerstruktur lieferte die zusätzliche Tiefeninformation vor allem bei CNN-basierten Segmentierungsmodellen einen Genauigkeitsgewinn von 4 bis 10 Prozentpunkten (Dice-Score). Bei der Ausführung mittels TensorRT

erwies sich FP16 als optimaler Mittelweg zwischen Performance und Genauigkeit, da INT8 zu Präzisionseinbrüchen führte und kaum Performanceverbesserungen brachte. Den besten Kompromiss aus Latenz, Speicherverbrauch und Genauigkeit erzielt RTMDet-Ins-Nano unter FP16-Quantisierung, welches sich zudem durch seine Open-Source-Lizenz ideal für den ROS2-Segmentierungsknoten eignet.

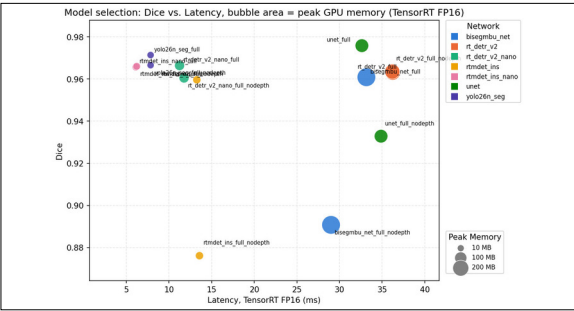
Alle Systemansichten des Baggers mit Kamerapositionen für die möglichst vollständige 360-Grad-Abdeckung der Umgebung.
Eigene Darstellung



Aufnahmen aus dem Kamerakalibrationsprozess des realen Baggers.
Eigene Darstellung



Vergleich der verschiedenen Modelle für die Segmentierung der Baggerkomponenten.
Eigene Darstellung



Referent

Prof. Dr. Christoph Würsch

Korreferent

Prof. Dr. Helmut Grabner, ZHAW

Themengebiet

Data Science, Sensor, Actuator and Communication Systems, Computer Science