

Simulation von Laserscannern in Pflanzenbeständen für die Entwicklung umfeldbasierter Funktionen

Jannik Redenius^{1, 2}, Matthias Dingwerth¹, Joachim Hertzberg^{2, 3} und Arno Ruckelshausen¹

Abstract: Es werden drei Modellierungsansätze zur Simulation von Laserscannern in Pflanzenbeständen für die Entwicklung umfeldbasierter Fahrzeugfunktionen beschrieben. Das Sensorsignal der Distanzmessung wird dabei anhand realer Messwerte oder phänomenologisch und auf der Basis empirisch ermittelter Kennwerte in Abhängigkeit von objekt- und sensorspezifischen Einflussfaktoren abgebildet. Basierend auf den Methoden zur Simulation von Distanzmesssystemen der Open Source Simulationsumgebung Gazebo wurden die Modellierungsansätze als spezifische Sensor- und Umfeldmodelle implementiert. Die Modelle wurden insbesondere für den Einsatz an mobilen landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen und für die Anwendung in der Getreideernte optimiert.

Keywords: Pflanzenmodell, Sensormodell, Umfeldmodell, Lidar, Gazebo, Simulation und Test, Softwareentwicklung, Getreideernte, Fahrerassistenzsysteme (ADAS), Model in the Loop (MIL)

1 Einleitung

Insbesondere in der Phase des Entwurfs kann der Entwicklungsprozess für umfeldbasierte Funktionen bei mobilen landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen durch Modellbildung und Simulation unterstützt werden [Li17]. Das Systemverhalten von Laserscannern lässt sich dabei idealisiert mit Methoden der Computergrafik simulieren. In Pflanzenbeständen sind diese jedoch nur bedingt einsetzbar, da Pflanzenbestands- als auch Sensorkennwerte die Messung beeinflussen können. Bei der Vermessung von Getreidepflanzen werden die durch Laserscanner ermittelten Distanzwerte maßgeblich durch die Höhe und Anzahl der Pflanzen sowie durch die Sensorstrahldivergenz des Laserscanners beeinflusst [Sa09]. Im Folgenden werden Modellierungsansätze vorgestellt, die dazu geeignet sind, Messgrößen von Laserscannern zur Simulation von umfeldbasierten Funktionen auch in komplexen Umweltbedingungen, wie dem Einsatz in der Getreideernte, abzubilden.

¹ Hochschule Osnabrück, Labor für Mikro- und Optoelektronik, Sedanstr. 26, 49076 Osnabrück, { j.redenius; m.dingwerth; a.ruckelshausen }@hs-osnabrueck.de

² Universität Osnabrück, Institut für Informatik, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, joachim.hertzberg@uos.de

³ DFKI Robotics Innovation Center, Außenstelle Osnabrück, Albert-Einstein-Straße 1, 49076 Osnabrück

2 Methoden und Modellierungsansätze

Es werden drei Modellierungsansätze vorgestellt, die das Verhalten von Laserscannern bei der Vermessung von Getreidepflanzen phänomenologisch beschreiben. Dabei wird nicht das physikalische Messprinzip der Laufzeitmessung, sondern das Ergebnis der Messung auf Schnittstellenebene des Sensorsystems modelliert. Die Implementierung der Modelle nutzt dazu Methoden der Open Source Simulationsumgebung Gazebo [KH04]. Aufbauend auf einer Höhentopografiebeschreibung des Geländes bestehen die Modellierungsansätze jeweils aus einer Repräsentation eines Pflanzenbestandes mit variablem Detailgrad und einer angepassten Komponente zur Simulation eines Laserdistanzmesssystems (Abb. 1).

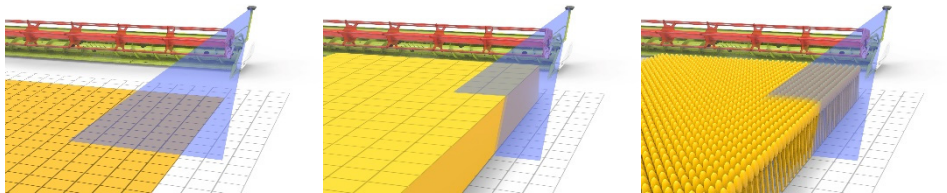


Abb. 1: Schematische Darstellung der drei Modellierungsansätze zur Repräsentation eines Pflanzenbestandes mit variablem Detailgrad und einer Kantendetektion mittels eines Laserscanners am Scheidwerk einer Erntemaschine [Re17]. Erklärungen im Text.

Der erste Ansatz (Abb. 1 links) basiert auf einer positionsabhängigen Wiedergabe von Höhenwerten eines Pflanzenbestandes, die aus einer zuvor durchgeführten Messung durch Koordinatentransformation gewonnen oder anhand einer Funktion generiert wurden. Die Messwerte werden einem festen positionsreferenzierten Raster zugeordnet. Jedes Rasterelement kann mehrere Werte enthalten, die randomisiert durch einen virtuellen Sensor ausgelesen werden. Neben Höhenwerten können auch weitere Daten abgelegt werden, die die Art oder Zustand des Pflanzenbestandes oder Geländes beschreiben. Dieser Ansatz ist insbesondere für die schrittweise Optimierung von Algorithmen und Regelstrecken auf der Basis realer Sensormesswerte geeignet. Durch die positionsabhängige (im Gegensatz zu einer zeitdiskreten) Wiedergabe von Messdaten ermöglicht dieses Modell zusammen mit einer Beschreibung einer Maschinendynamik den Test von Algorithmen in einem geschlossenen Regelkreis. Nachteilig ist, dass durch eine Koordinatentransformation zur Verortung der gemessenen Rohdistanzen und eine fehlende Verdeckungsberechnung eine Verfälschung der Messwerte möglich ist.

Der zweite Ansatz (Abb. 1 Mitte) erweitert den zuvor beschriebenen Ansatz um eine vereinfachte Darstellung des Pflanzenbestandes in der Auflösung des positionsreferenzierten Rasters. Anstelle von Höhenwerten werden jedoch ein oder mehrere Koeffizienten zur Erzeugung realitätsnaher Messwerte hinterlegt. Die Koeffizienten können aus empirischen Untersuchungen abgeleitet oder gezielt gesetzt werden. Dieser Modellierungsansatz zeichnet sich insbesondere dadurch aus, beliebige Sensorcharakteristika über objektabhängige Kennwerte abzubilden. Gleichzeitig ist der Ansatz dazu geeignet, Verdeckungen

an Bestandskanten abzubilden und ist aufgrund einer im Vergleich mit einer Einzelpflanzenendarstellung geringen Anzahl an Polygonen sehr performant. Voraussetzung ist jedoch eine genaue Kenntnis der Sensorcharakteristika im Zielszenario.

Der dritte Ansatz (Abb. 1 rechts) basiert auf einer geometrischen Repräsentation eines Pflanzenbestandes. Um den Einfluss der Strahldivergenz auf die Distanzmessung abzubilden, wird ein Distanzwert aus Einzelmessungen höherer Winkelauflösung gebildet. Dieser Ansatz zeichnet sich durch seine Flexibilität bei der Gestaltung von Testszenarien aus und ist insbesondere dazu geeignet, Grenzfallbetrachtungen für Algorithmen durchzuführen oder neue Funktionen ohne die Notwendigkeit vorheriger Feldversuche zu bewerten. Durch den geometrischen Ansatz lassen sich beliebige Pflanzenkonturen abbilden, wobei ein hoher Detailgrad beziehungsweise die Anzahl an Polygonen die Rechenlast erhöht. Gleichzeitig können damit aber auch Mess- oder Kennwerte für einen der beiden anderen Modellierungsansätze generiert werden, um so mit deutlich geringerer Rechenlast und auch auf Plattformen mit eingeschränkter Grafikerunterstützung zu simulieren.

3 Ergebnisse

Zur Beurteilung der Güte der simulierten Distanzwerte wurden in einem Laborversuch reale Modelle mit Getreidepflanzen in einheitlicher Höhe von 70 cm und jeweils einer definierten Anzahl an Pflanzen aufgebaut und mit Laserscannern vermessen. Simuliert wurde durch die Darstellung von Einzelpflanzenkonturen nach dem zuvor beschriebenen dritten Ansatz. Jede Einzelpflanze wird dabei stark vereinfacht durch ein Geometriemodell mit 53 Knoten und 197 Polygonen dargestellt. Im Fokus der Untersuchungen stehen zwei nahezu baugleiche Laserscanner, die das Pulslaufzeitverfahren nutzen und sich im Wesentlichen durch ihre Strahldivergenz unterscheiden. Sowohl im Laborversuch als auch in der Simulation wurde eine identische Anordnung und Ausrichtung von Sensor und Pflanzenmodell nach dem Vorbild der Montage eines Laserscanners am Schneidwerk einer Erntemaschine realisiert.

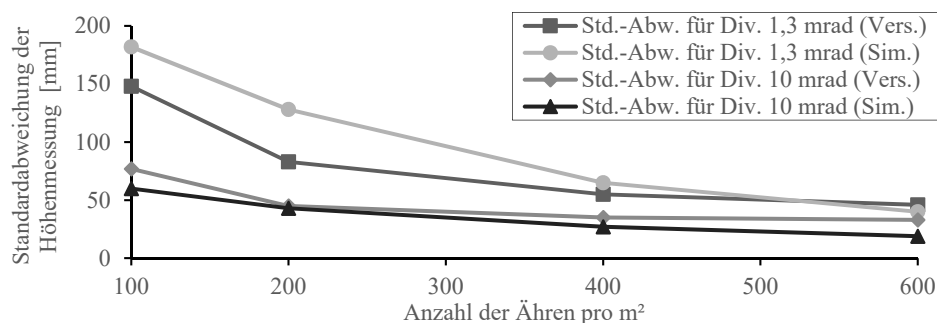


Abb. 2: Standardabweichung der Höhenmessung in experimentellem Aufbau und Einzelpflanzen-simulation für Laserscanner mit der Strahldivergenz 1,3 mrad und 10 mrad

Ausgewertet wurde der Scanabschnitt im Pflanzenbestand ohne umliegende Bereiche. Je geringer die Anzahl an Pflanzen pro Fläche ist, desto größer ist die Standardabweichung der Höhenmessung. Eine größere Strahldivergenz führt zusätzlich zu einer geringeren Standardabweichung. Dies entspricht Ergebnissen früherer Untersuchungen nach [Sa09]. Gleiche Tendenzen sind auch für die simulierten Messungen zu erkennen. Insbesondere für die Sensorstrahldivergenz von 10 mrad liegen die Standardabweichungen der Messungen nah beieinander. Eine leichte Abweichung lässt sich mit der nur in Scanrichtung abgebildeten Strahldivergenz begründen. Durch den Einsatz detaillierterer Pflanzenmodelle ließe sich ein ähnlich gutes Ergebnis mit großer Wahrscheinlichkeit auch für die im Vergleich sehr geringere Sensorstrahldivergenz von 1,3 mrad erreichen.

Die Modellierungskonzepte wurden bereits exemplarisch anhand einer umfeldbasierten Funktion erprobt. So konnte die automatisierte Querführung einer Erntemaschine durch eine Kantendetektion in Getreide unter Verwendung der Modelle simuliert werden [Re17].

4 Zusammenfassung

Die vorgestellten Modellierungsansätze bilden die Basis dafür, umfeldbasierte Funktionen, bei denen ein oder mehrere Laserscanner zur Vermessung von Pflanzenstrukturen eingesetzt werden, mit Methoden der Computergrafik deutlich detaillierter als bisher bei insgesamt vergleichbarer Rechenlast in Realzeit zu simulieren. So können neue Konzepte frühzeitig und ohne die Notwendigkeit vorausgegangener Feldversuche systematisch und reproduzierbar getestet und optimiert werden. Je nach Ansatz steht dabei entweder der Detailgrad, die Flexibilität oder die Performanz im Vordergrund. Insgesamt besteht dadurch ein großes Potential, die Komplexität und den Umfang realer Feldversuche bei der Entwicklung neuer umfeldbasierter Funktionen zu reduzieren.

Literaturverzeichnis

- [Li17] Linz, A. et al.: Modelling environment for an electrical driven selective sprayer robot in orchards. Proc. 11th European Conference on Precision Agriculture (ECPA), Edinburgh 2017. S. 848–853, 2017.
- [Sa09] Saeys, W. et al.: Estimation of the crop density of small grains using LiDAR sensors. Biosystems Engineering, Band 102, Ausgabe 1, Elsevier, London, S. 22-30, 2009.
- [KH04] Koenig, N. & Howard, A.: Design and Use Paradigms for Gazebo, An Open-Source Multi-Robot Simulator. Proc. IEEE/RSJ Int. Conference. IROS, S. 2149-2154, 2004.
- [Re17] Redenius, J. et al.: A multilevel simulation framework for highly automated harvest processes enabled by environmental sensor systems. Proc. 75th Conference LAND.TECHNIK - Agricultural Engineering (AgEng), Hannover 2017. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, S. 157-163, 2017.