

Abstract

Highly automated agricultural machinery is no longer fiction and will be available in the market in the next years. Such agricultural machinery does not depend on humans during operation and will make decisions independently. Looking at the range of tasks a machine operator must carry out during field work, the overall work task can be divided into the subtasks "driving" and "controlling and monitoring the work process". In this thesis, an approach for the automation of the subtask "controlling and monitoring the work process" is developed using the selected agronomic process cultivating as an example. Its relevance is demonstrated by field tests. Agronomic job quality plays a major role in the automation of this subtask. First, job quality is systematically examined for the selected agronomic process cultivating. Based on this, job quality gets defined for this thesis as a desired degree of coverage of crop residues or other biomass in the field. The target value for this residue coverage degree must be defined by humans. Based on a systematic analysis of the overall work task of the person operating the agricultural machine during field work, a generic model is developed describing the overall work task of the operator. Based on this generic model, a generic technical framework for the automation of the subtask "control and monitoring the work process" is developed. The implementation of the developed generic technical framework requires a sensor system to be developed and a control concept to be developed. For the sensor system measuring the residue coverage, a monocular camera is selected. Computer Vision and Machine Learning methods are investigated and compared. As a result, a Deep Learning approach turns out to be the best approach. Additionally, a simple classification approach for detecting significant airborne dust concentrations in the image is developed based on Deep Learning. In the control engineering part of this thesis, the generic technical framework for the automation of the subtask "controlling and monitoring the work process" is further refined, and a cascaded control structure is developed. Based on field tests to characterize the control plant, a Split-Range approach is developed. Furthermore, this approach is investigated for stability and then implemented as a final step. For the implementation of the generic technical framework more functions are required than just the pure control loop, for example a logic for handling significant concentrations of airborne dust. Thus, a holistic concept for "behavior generation" is developed. Finally, the developed Deep Learning models and the concept for behavior generation are successfully tested and verified in extensive field tests on different fields with different plant species.

Kurzfassung

Kurzfassung Hochautomatisierte Landmaschinen sind keine Fiktion mehr und werden in den nächsten Jahren marktreif verfügbar sein. Solche Landmaschinen sind im Betrieb nicht mehr auf den Menschen angewiesen und werden eigenständig Entscheidungen treffen und umsetzen. Betrachtet man das Aufgabenspektrum einer maschinenführenden Person bei der Ausführung der Feldarbeit, so lässt sich die Gesamtaufgabe in die Teilaufgaben „Fahren“ und „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ unterteilen. In der vorliegenden Arbeit wird exemplarisch am ausgewählten Verfahren Grubbern ein Ansatz für die Automatisierung der angesprochenen Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ erarbeitet. Durch Feldtests wird dessen Relevanz nachgewiesen. Der zentrale Punkt der Automatisierung der angesprochenen Teilaufgabe ist die agronomische Arbeitsqualität. Diese wird für das ausgewählte Verfahren zuerst systematisch untersucht. Auf dieser Grundlage wird eine für die vorliegende Arbeit gültige Definition des Begriffs „Arbeitsqualität“ vorgenommen. Hierbei handelt es sich um einen vom Menschen zu definierenden Bodenbedeckungsgrad von Ernteresten oder sonstiger Biomasse auf dem Feld. Ausgehend von einer systematischen Analyse der Aufgaben der maschinenführenden Person bei der Feldarbeit wird ein Modell zur Beschreibung der Gesamtarbeitsaufgabe erarbeitet. Darauf basierend wird ein technisches Grundgerüst für die Automatisierung der Teilaufgabe „Steuern und Überwachen des Arbeitsprozesses“ erarbeitet. Das technische Grundgerüst lässt sich weitergehend in eine zu erarbeitende Sensorik und ein zu erarbeitendes Regelungskonzept unterteilen. Für die zu erarbeitende Sensorik zur Messung des Bedeckungsgrades wird ein bildgebendes Verfahren mit einer monokularen Kamera ausgewählt. Hierbei werden Methoden des maschinellen Sehens und des maschinellen Lernens untersucht und miteinander verglichen. Ein Deep Learning Ansatz erweist sich in Tests als der geeignetste Ansatz. Zusätzlich wird noch ein einfaches Klassifizierungsverfahren zur Erkennung signifikanter Luftstaubkonzentrationen im Bild entwickelt, basierend auf Deep Learning. Im regelungstechnischen Teil wird das erarbeitete technische Grundgerüst weiter verfeinert und ein kaskadiertes Regelungskonstrukt entwickelt. Hierbei wird auf der Grundlage von Feldversuchen zur Charakterisierung der Regelstrecke ein Split-Range- Ansatz erarbeitet. Der Ansatz wird auf Stabilität untersucht und implementiert. Da zur Umsetzung des erarbeiteten technischen Grundgerüsts mehr Funktionen notwendig sind als nur der reine Regelkreis, beispielsweise für den Umgang mit signifikanten Konzentrationen von Luftstaub, wird ein gesamtheitliches Konzept zur „Verhaltensgenerierung“ entwickelt. Die entwickelten Deep Learning Modelle und das Konzept zur Verhaltensgenerierung werden abschließend in umfangreichen Feldversuchen auf verschiedenen Feldern mit unterschiedlichen Pflanzenarten erfolgreich getestet und verifiziert.