Fortschritt-Berichte VDI

VDI

Reihe 14

Landtechnik/
Lebensmittel-
technik

Nr. 145

Dipl.-Ing. Matthias Müter,
Schapen

Kameragesteuerte mechanische Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

Institut für Landtechnik

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Kameragesteuerte mechanische Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Grades:

Doktor der Ingenieurwissenschaften

(Dr.-Ing.)

der Landwirtschaftlichen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt im Januar 2017

von

Dipl.-Ing. Matthias Müter

aus

Schapen

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

Referent:	Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Jan-Welm Biermann
Fachnahes Mitglied:	Prof. Dr. Ralf Pude
Prüfungsvorsitz:	Prof. Dr. Heinrich W. Scherer
Tag der mündlichen Prüfung:	18.05.2017
Erscheinungsjahr:	© 2017

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 14

Landtechnik/
Lebensmitteltechnik

Dipl.-Ing. Matthias Müter,
Schapen

Nr. 145

Kameragesteuerte mechanische Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen

VDI verlag

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

Müter, Matthias
Kameragesteuerte mechanische Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen
Fortschr.-Ber. VDI Reihe 14 Nr. 145. Düsseldorf: VDI Verlag 2017.
182 Seiten, 128 Bilder, 17 Tabellen.
ISBN 978-3-18-314514-0, ISSN 0178-9570,
€ 67,00/VDI-Mitgliederpreis € 60,30.

Für die Dokumentation: Zuckerrübe – Pflanzenerkennung – Mechanische Unkrautregulierung – intra-row – Bildverarbeitung – Multispektralkamera – Nahinfrarotbild – 3-D-Stereokamera – 3-D-Lichtschnittverfahren – Echtzeitsystem

Die mechanische Unkrautregulierung innerhalb von Pflanzenreihen ist eine technische Herausforderung, deren Schwerpunkte die Online-Erkennung der einzelnen Pflanzenpositionen und die Differenzierung zwischen Unkraut und Nutzpflanze sind. In der vorliegenden Arbeit werden verschiedene kamerabasierte Methoden der Pflanzenerkennung und die dazugehörigen Ergebnisse vorgestellt. Neben einer Farbkamera werden eine Multispektralkamera, ein Stereokameraaufbau und ein Laser-Lichtschnittverfahren in Verbindung mit einer Bilderkennungssoftware untersucht. Für die experimentelle Unkrautregulierung wird eine durch einen elektrischen Servomotor angetriebene Rotationshacke eingesetzt. Die Regelung erlaubt durch die Verwendung eines echtzeitfähigen FPGA eine positionsgenaue Werkzeugführung zwischen den Nutzpflanzen in der Pflanzenreihe. Die Ergebnisse stellen den Behandlungserfolg in unterschiedlichen Wachstumsstadien dar.

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter http://dnb.ddb.de abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek
(German National Library)
The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at http://dnb.ddb.de.

D 98

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2017

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.
ISSN 0178-9570
ISBN 978-3-18-314514-0

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

Danksagung

Während meiner gesamten Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik wurde ich von vielen Menschen sowohl bei der Lehrtätigkeit als auch bei der Durchführung der mit dieser Dissertation verbundenen Versuche unterstützt. Mein Dank gilt insbesondere:

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Peter Schulze Lammers für das in mich gesetzte Vertrauen, die stetige wissenschaftliche und methodische Unterstützung sowie die mir gebotene Gelegenheit, meine Dissertation über dieses zukunftsweisende Thema zu schreiben.

Herrn Prof. Dr. Jan-Welm Biermann vom Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen für die Übernahme des Korreferats und Herrn Prof. Dr. Heinrich W. Scherer für den Vorsitz bei meiner mündlichen Prüfung.

Herrn Prof. Dr. Ralf Pude für die Unterstützung als fachnahes Mitglied bei meiner mündlichen Prüfung und die Möglichkeit, meine Versuche auf dem Campus Klein-Altendorf durchzuführen.

Den Mitarbeitern des Instituts für Landtechnik für die hervorragende Arbeitsatmosphäre, vor allem Herrn Dr. Lutz Damerow und Frau Monika Förster für die anhaltende Unterstützung in der Sektion „Systemtechnik in der Pflanzenproduktion“ sowie dem gesamten Werkstattteam (Toni Berg, Roland Lutz, Walter Petriwski und Willi Berchtold) für die Herstellung jeder erdenklichen Konstruktion.

Herrn Bernd Bünten und dem gesamten Versuchs- und Werkstattteam vom Campus Klein-Altendorf für das Anlegen und Pflegen meiner Versuchsflächen und die technische Hilfe.

Frau Dr. Christa Lankes und ihrem Team der Abteilung Gartenbauwissenschaften des INRES für die Anzucht und Pflege der Topf-Versuchspflanzen.

Dem Lehr- und Forschungsschwerpunkt "Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft" (USL) für die finanzielle Unterstützung meines Forschungsprojektes.

Den Firmen Fendt und Kverneland für die Bereitstellung von Maschinen.

Herrn Dr. Tobias Meinhold für die Anregungen, fachlichen Gespräche, die Durchsicht dieser Arbeit und besonders die freundschaftliche Unterstützung.

Anne und meiner Familie, ohne deren Rückhalt, Unterstützung und Motivierung diese Arbeit nicht hätte verwirklicht werden können.

Allen Nichtgenannten, Freunden und Studenten, die mich während meiner Arbeit begleitet und moralisch sowie auch durch nicht-wissenschaftliche Gespräche unterstützt haben.

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

Meinen Eltern

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... **V**

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis ..... **IX**

Kurzfassung ..... **XVIII**

Abstract ..... **XIX**

1. Einleitung **1**

1.1 Schäden und Ertragsverluste durch Unkräuter 1

1.2 Chemische Pflanzenschutzverfahren 3

1.2.1 Unerwünschte Wirkung von Pflanzenschutzmitteln 4

1.2.1.1 Gefährdung des Menschen 4

1.2.1.2 Kontamination von Grund- und Oberflächenwasser 5

1.2.1.3 Entstehung herbizidresistenter Unkräuter 6

1.2.2 Entwicklung und Zulassung von Pflanzenschutzmitteln 6

1.3 Nicht-chemische Pflanzenschutzverfahren 8

1.3.1 Thermische Unkrautbekämpfung 8

1.3.2 Manuelle Unkrautbekämpfung 9

1.3.3 Mechanische, reihenunabhängige Unkrautbekämpfung 10

1.3.4 Mechanische Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen (inter-row) 11

2. Stand des Wissens **18**

2.1 Hacken innerhalb der Reihe (intra-row) 18

2.1.1 Passive Werkzeugführung 19

2.1.2 Aktive Werkzeugführung 22

2.2 Pflanzenerkennung 29

2.2.1 Tastsensoren 30

2.2.2 Georeferenzierung 30

2.2.3 Lichtschranken 31

2.2.4 Abstandssensoren 32

2.2.5 Bildverarbeitung 33

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

3. Problemstellung ... 39

4. Material und Methoden ... 43

4.1 Aufbau der Versuchsträger ... 43

4.1.1 Versuchsträger für Laborversuche ... 46

4.1.2 Versuchsträger für Feldversuche ... 48

4.1.2.1 Stromversorgung des Gesamtsystems ... 49

4.1.2.2 Systemkommunikation und Informationsverarbeitung ... 49

4.1.2.3 Antrieb und Regelung der Rotationshacke ... 51

4.1.2.4 Beleuchtung ... 55

4.2 Kameratechnik, Bildverarbeitung und Datenauswertung ... 57

4.2.1 Bildaufnahme ... 60

4.2.2 Farbkamera ... 60

4.2.3 Infrarotkamera ... 65

4.2.4 Multispektralkamera ... 67

4.2.4.1 Erkennung der Pflanzen unabhängig von ihrer Gattung ... 69

4.2.4.2 Pflanzenunterscheidung anhand der Farbe ... 74

4.2.4.3 Pflanzenerkennung anhand der Form, Größe und Lage ... 75

4.2.5 Stereo-Kamera ... 77

4.2.6 Laser-Lichtschnittverfahren ... 83

4.3 Computersimulation ... 86

4.3.1 CAD-Modell der Bodenrinne für Laborversuche ... 87

4.3.2 CAD-Modell des Versuchsträgers für Feldversuche ... 88

4.4 Versuche ... 88

4.4.1 Gewächshausversuche ... 89

4.4.2 Versuche auf der Bodenrinne ... 90

4.4.3 Feldversuche ... 90

5. Ergebnisse und Diskussion ... 94

5.1 Simulation ... 94

5.1.1 Einfluss der Motorausrichtung auf die Kinematik ... 94

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

5.1.2 Einfluss der Werkzeuganzahl auf die Kinematik ... 101
5.2 Bildverarbeitung und Pflanzenerkennung ... 103
5.2.1 Analyse der zweidimensionalen, kamerabasierten Pflanzenerkennung ... 103
5.2.1.1 Versuche mit Pflanzendummys ... 103
5.2.1.2 Versuche mit Zuckerrüben im Zweiblattstadium ... 105
5.2.1.3 Versuche mit Zuckerrüben im Vierblattstadium ... 109
5.2.1.4 Versuche mit Zuckerrüben im Sechsblattstadium ... 110
5.2.1.5 Versuche mit Zuckerrüben kurz vor Pflanzenschluss in der Reihe ... 112
5.2.1.6 Versuche mit Durchwachsener Silphie ... 115
5.2.1.7 Ergebnisübersicht der Pflanzenerkennung ... 116
5.2.1.8 Herausforderungen bei der Pflanzenerkennung ... 118
5.2.2 Analyse der Pflanzenerkennung mit einer Stereo-Kamera ... 119
5.2.3 Analyse der Pflanzenerkennung mit dem Laser-Lichtschnittverfahren ... 123
5.3 Ergebnisse zu den Feldversuchen mit der Rotationshacke ... 129
5.3.1 Genauigkeit der Bildverarbeitungs-Servomotor-Kette ... 129
5.3.2 Versuche mit unkrautregulierenden Werkzeugen ... 131
5.3.2.1 Unkrautregulierung bei Zuckerrüben im Vierblattstadium ... 131
5.3.2.2 Unkrautregulierung bei Zuckerrüben im Sechsblattstadium ... 132
6. Schlussfolgerungen und abschließende Diskussion ... 135
7. Ausblick ... 139
8. Anhang ... 140
8.1 EC Entwicklungsstadien der Zuckerrübe ... 140
8.2 Morphologischer Kasten zur Lösungsfindung ... 141
8.3 Technische Daten ... 142
8.3.1 Beleuchtung ... 142
8.3.1.1 Halogenscheinwerfer ... 142
8.3.1.2 LED-Modul Neutral-Weiß ... 142
8.3.1.3 LED-Modul IR ... 143
8.3.1.4 LED Strobe Controller ... 143

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

8.3.1.5 Laser ... 144
8.3.2 Kameras ... 144
8.3.2.1 Farbkamera ... 144
8.3.2.2 Farbkameras für 3D-Stereo-Vision ... 145
8.3.2.3 Multispektralkamera ... 146
8.3.3 Inkrementeller Drehgeber ... 147
8.3.4 Echtzeit-Controller ... 147
8.3.5 Notstromaggregat ... 149
8.3.6 Antriebsmotor ... 149
8.4 Einstellungen ... 150
8.4.1 Motorregelung ... 150
8.4.2 Laser-Lichtschnittverfahren ... 151
9. Literaturverzeichnis ... 152

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung/ Symbol	Physikalische Einheit	Bedeutung
%		Prozent
‘‘		Zoll
°		Grad
°C		Grad Celsius
µg	$= 10^{-6}$ g	Mikrogramm
µm	$= 10^{-6}$ m	Mikrometer
µs	$= 10^{-3}$ s	Mikrosekunde
µW	$= 10^{-6}$ W	Mikrowatt
2D		zweidimensional
3D		dreidimensional
a		Jahre
A		Menge aller Pixel der Bildmatrix; Ampere (Einheit)
$a'_{m,n}$		Pixel der m-ten Zeile und n-ten Spalte im Ergebnisbild
AC		alternating current (dt.: Wechselstrom)
AKh		Arbeitskraftstunden
$a_{m,n}$		Pixel der m-ten Zeile und n-ten Spalte im Ursprungsbild
$a_{m+m`,n+n'}$		Pixel der m+m`-ten Zeile und n+n`-ten Spalte im Ursprungsbild, wobei m sowie n Koordinaten des Ergebnisbildes und m` sowie n`Koordinaten des Strukturelementes darstellen
B		Intensität der Farbe Blau; Byte (Einheit)
b		Stereoskopische Basis eines Stereoskopie-Aufbaus

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

BfR		Bundesinstitut für Risikobewertung
BiSS		Bidirektional/Seriell/Synchron
bit		binary digit (dt.: Binärziffer)
BMEL		Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BVL		Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
CAD		computer aided design (dt.: rechnerunterstütztes Konstruieren)
CAE		computer aided engineering (dt.: rechnergestützte Entwicklung)
CAM		computer aided manufacturing (dt.: rechnerunterstützte Fertigung)
CCD		charge-coupled device (dt.: ladungsgekoppeltes Bauteil)
cd · sr		Steradiantcandela
CL		Camera Link
close-to-crop		Bereich direkt um die Kulturpflanze
cm^2	$= 10^{-2}$ m	Quadratzentimeter
cm^3	$= 10^6$ mm^3	Kubikzentimeter
CMOS		complementary metal-oxide-semiconductor (dt.: sich ergänzender Metalloxid-Halbleiter)
CO_2		Kohlenstoffdioxid
CPU		central processing unit (dt.: Prozessor)
d		Disparität (Verschiebung zwischen korrespondierenden Bildpunkten)
dB		Dezibel
DC		direct current (dt.: Gleichstrom)
dt.		deutsch

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

EC		European Association for Research on Plant Breeding (EUCARPIA) Code (Entwicklungsstadien von Pflanzen, benannt nach der Europäischen Gesellschaft für Züchtungsforschung)
ECNC		European Cenre for nature Conservation (dt.: Europäisches Zentrum für Naturschutz)
EU		Europäische Union
EUREAU		Europäische Vereinigung der nationalen Verbände in der Wasserver- und Abwasserentsorgung
EWG		Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
f		Brennweite einer Kamera
FCI		Fonds der Chemischen Industrie
f_{Ersatz}	mm	Ersatzbrennweite (Abstand zwischen Kameragehäuse und Boden)
FFT		fast fourier transform (dt.: schnelle Fourier-Transformation)
FPGA		field programmable gate array (dt.: im Anwendungsfeld programmierbarer integrierter Schaltkreis)
FPS		frames per second (dt.: Bilder pro Sekunde)
g		Gramm
G		Intensität der Farbe Grün
G^*_{HSL}		Ergebniswert eines Pixels von HSL-Farbbildern nach einem Schwellwertverfahren
G^*_{NIR}		Ergebniswert eines Pixels von Nahinfrarotbildern nach einem Schwellwertverfahren
GB	$= 10^9$ byte	Gigabyte
GigE		Gigabit-Ethernet
Gl		Gleichung
G_{NIR}		Grauwert eines Pixels von Nahinfrarotbildern

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

GNSS		Global Navigation Satellite System (dt.: Globales Satellitennavigationssystem)
H		hue (dt.: Farbwert)
h	= 3600 s	Stunde
ha		Hektar
HSI		hue, saturation, intensity (dt.: Farbwert, Farbsättigung, Lichtintensität) (Farbraum)
HSL		hue, saturation, lightness (dt.: Farbwert, Farbsättigung, relative Helligkeit) (Farbraum)
HSV		hue, saturation, value (dt.: Farbwert, Farbsättigung, Helligkeitswert) (Farbraum)
Hz	s^{-1}	Hertz
I		intensity (dt.: Lichtintensität)
I	A	Stromstärke
ILT		Institut für Landtechnik
inter-row		Bereich zwischen den Pflanzenreihen
intra-row		Bereich zwischen den Kulturpflanzen in der Pflanzenreihe
IP		International Protection (dt.: internationaler Schutz) (gibt mit nachfolgender Nummer eine Schutzklasse an)
$i_{Pixel/mm}$	mm^{-1}	Verhältnis (Anzahl der Pixel pro mm)
IR		Infrarot
I_{RMS}	A	Effektivstrom
IUCN		International Union for Conservation of Nature (dt.: Weltnaturschutzunion)
IVA		Industrieverband Agrar e. V.
JKI		Julius Kühn-Institut
JPEG		Joint Photographic Experts Group (dt.: Verbindung der Fotografieexperten)
K		Kelvin

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

kbit	$= 10^3$ bit	Kilobit
kHz	$= 10^3$ Hz	Kilohertz
kSa	$= 10^3$ Sa	Kilosample
kV	$= 10^3$ V	Kilovolt
kW	$= 10^3$ W	Kilowatt
l	$= 10^{-3}$ m^3	Liter
L		lightness (dt.: relative Helligkeit)
lm	cd · sr	Lumen
LUT		Lookup-Tabelle
lx	lm · m^2	Lux
m		Zeilenkoordinate in Bildmatrix; Meter (Einheit)
M		Anzahl der horizontalen Pixel (parallel zur Fahrtrichtung)
m´		Zeilenkoordinate in Strukturelementmatrix
mA	$= 10^{-3}$ A	Milliampere
max.		maximal
MB	$= 10^6$ byte	Megabyte
Mbit	$= 10^6$ bit	Megabit
MHz	$= 10^6$ Hz	Megahertz
min	= 60 s	Minute
Mio.		Million
mm	$= 10^{-3}$ m	Millimeter
mm^3		Kubikmillimeter
MOD		Minimale Objektdistanz
mrad	$= 10^{-3}$ rad	Milliradiant
mV	$= 10^{-3}$ V	Millivolt
mW	$= 10^{-3}$ W	Milliwatt
N		Anzahl der vertikalen Pixel (orthogonal zur Fahrtrichtung)

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

n		Spaltenkoordinate in Bildmatrix; Anzahl der Zuckerrüben; Stichprobenumfang
n´		Spaltenkoordinate in Strukturelementmatrix
NIR		Nahes Infrarot
NIRS		Nahinfrarotspektrum
nm	$= 10^{-9}$ m	Nanometer
Nm	$= kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$	Newtonmeter
p		Bildpunkt
P	W	Leistung
P(X,Y,Z)		Objektpunkt im dreidimensionalen Raum mit den Koordianten X, Y und Z
R		Intensität der Farbe Rot
R_S		äußerste Koordinate (Rand) eines Strukturelementes relativ zum Ankerpunkt
rad		Radiant
RAM		Random-Access Memory (dt.: Direktzugriffsspeicher)
RGB		Rot, Grün, Blau (Farbraum)
RMS		Root Mean Square (dt.: Quadratisches Mittel)
ROI		region of interest (dt.: Bereich von Interesse)
rpm	$= 60^{-1} \cdot s^{-1}$	revolutions per minute (dt.: Umdrehungen pro Minute)
RTK		Real Time Kinematic (dt.: Echtzeitkinematik)
S		saturation (dt.: Farbsättigung)
S_M		Menge der Maskenpixel einer binären Faltung oder Mengenoperation
s		Sekunde
Sa		Sample
$s_{m`,n'}$		Pixel der m`-ten Zeile und n´-ten Spalte des Strukturelementes

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

S_p		Maske/Strukturelement mit zum Bildpunkt p verschobenem Referenzpunkt
sr		Steradiant
SW		Schwarzweiß
$t_{Belichtung}$	s	Belichtungszeit
$t_{H\ max}$		Max. Hue Threshold (dt.: maximaler Farbschwellwert)
$t_{H\ min}$		Min. Hue Threshold (dt.: minimaler Farbschwellwert)
T_{HSL}		Punktoperator des Schwellwertverfahrens eines HSL-Farbbildes
$t_{L\ max}$		Max. Lightness Threshold (dt.: max. Schwellwert der relativen Helligkeit)
$t_{L\ min}$		Min. Lightness Threshold (dt.: min. Schwellwert der relativen Helligkeit)
t_{NIR}		Threshold (dt.: Schwellenwert eines Nahinfrarotbildes)
T_{NIR}		Punktoperator des Schwellwertverfahrens eines Nahinfrarotbildes
$t_{S\ max}$		Max. Saturation Threshold (dt.: maximaler Farbsättigungsschwellwert)
$t_{S\ min}$		Min. Saturation Threshold (dt.: minimaler Farbsättigungsschwellwert)
TTL		Transistor-Transistor-Logik
U	V	Spannung
UBA		Umweltbundesamt
u. a.		unter anderem
USB		Universal Serial Bus (dt.: universelles serielles Bussystem)
USV		unterbrechungsfreie Stromversorgung
UV		Ultraviolett

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

V		Value (dt.: Helligkeitswert); Volt (Einheit)
v	$mm \cdot s^{-1}$	Vorfahrtgeschwindigkeit
VA		Volt Ampere
VCI		Verband der Chemischen Industrie
VIS		Visible light (dt.: sichtbares Licht)
v_{max}	$mm \cdot s^{-1}$	maximale Vorfahrtgeschwindigkeit
W		Watt
x		Position in Richtung der Pflanzenreihe
x_{image}	Pixel	Position im Bild in Richtung der Pflanzenreihe
X_L		x-Achse der linken Kamera eines Stereokamera-Aufbaus
x'_L	Pixel	x-Koordinate einer Projektion des realen Punkts P auf dem linken Bild
X_R		x-Achse der rechten Kamera eines Stereokamera-Aufbaus
x'_R	Pixel	x-Koordinate einer Projektion des realen Punkts P auf dem rechten Bild
y		Position orthogonal und waagerecht zur Pflanzenreihe
y_{image}	Pixel	Position im Bild orthogonal zur Pflanzenreihe
Y_L		y-Achse der linken Kamera eines Stereokamera-Aufbaus
y_I	Pixel	Lichtschnitt-Profilkoordinate senkrecht zur Höhe des Profils
y'_L	Pixel	y-Koordinate einer Projektion des realen Punkts P auf dem linken Bild
$y_{Lücke}$	Pixel	Lichtschnitt-Profilkoordinate senkrecht zur Höhe des Profils
Y_R		y-Achse der rechten Kamera eines Stereokamera-Aufbaus

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

y_r	Pixel	Lichtschnitt-Profilkoordinate senkrecht zur Höhe des Profils
y'_R	Pixel	y-Koordinate einer Projektion des realen Punkts P auf dem rechten Bild
z	mm	Position (Höhe) über der Bodenoberfläche
Z		Z-Achse eines Stereokamera-Aufbaus
z. B.		zum Beispiel
$z_{Profil}(y_l)$	Pixel	Profilhöhe links von einer Lichtschnitt-Profillücke
$z_{Profil}(y_{Lücke})$	Pixel	zu berechnende Profilhöhe in einer Lichtschnitt-Profillücke
$z_{Profil}(y_r)$	Pixel	Profilhöhe rechts von einer Lichtschnitt-Profillücke
α_{max}	$rad \cdot s^{-2}$	rotatorische Maximalbeschleunigung des Servomotors
β	°	Winkel zwischen Motorachse und Pflanzenreihe
µrad	$= 10^{-6}$ rad	Mikroradiant
σ_d		Disparitätenmessgenauigkeit
σ_y		mittlerer Tiefenmessfehler
φ	rad	allgemeine rotatorische Position des Servomotors
φ_{ist}	rad	rotatorische Ist-Position des Servomotors
φ_{soll}	rad	rotatorische Soll-Position des Servomotors
Φ_v	lm	Lichtstrom
ω	$rad \cdot s^{-1}$	allgemeine, rotatorische Geschwindigkeit des Servomotors
ω_{ist}	$rad \cdot s^{-1}$	rotatorische Ist-Geschwindigkeit des Servomotors
ω_{max}	$rad \cdot s^{-1}$	rotatorische Maximalgeschwindigkeit des Servomotors
ω_{soll}	$rad \cdot s^{-1}$	rotatorische Soll-Geschwindigkeit des Servomotors
ς_{max}	$rad \cdot s^{-3}$	rotatorischer Maximalruck des Servomotors

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

Kurzfassung

Das Institut für Landtechnik der Universität Bonn beschäftigt sich seit einigen Jahren mit der Entwicklung der mechanischen Unkrautbekämpfung für den Bereich innerhalb der Pflanzenreihe. Die Online-Erkennung der einzelnen Pflanzenpositionen und die Differenzierung zwischen Unkraut und Nutzpflanze sind die größten Herausforderungen einer mechanischen Unkrautbekämpfung in der Reihe.

Das Ziel des Forschungsprojektes war die Entwicklung und Felderprobung eines Systems zur mechanischen Unkrautbekämpfung. Um dieses System auf dem Feld anwenden zu können, wurde ein am Traktor angebauter Versuchsträger mit einem kamerabasierten Pflanzenerkennungssystem und zwei Hackaggregaten für die mechanische Unkrautbehandlung aufgebaut. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Entwicklung eines echtzeitfähigen Algorithmus für die Pflanzenerkennung und die Ansteuerung der Motoren.

Auf dem Feld hat sich gezeigt, dass eine zuverlässige Bilderkennung sowie Ansteuerung der Servomotoren bis 7 km/h möglich ist. Die Grenzen werden hier vor allem durch die Hackwerkzeuge gesetzt, da mit erhöhter Vorfahrtgeschwindigkeit die Drehzahl proportional ansteigt und damit der Erdaufwurf zunimmt. Wird die Erkennung von Zuckerrüben in unterschiedlichen Entwicklungsstadien untersucht, zeigt sich, dass 82 % der Rüben im Zweiblattstadium erkannt wurden. Im Vierblattstadium stieg der Anteil der erkannten Nutzpflanzen auf 91 % und erreichte im Sechsblattstadium mit 100 % den Höchstwert. Somit lässt sich ein linearer Zusammenhang zwischen dem Entwicklungsstadium und der Erkennung der Nutzpflanzen herleiten. Dies belegt, dass die erfolgreiche Erkennung der Nutzpflanzen mit dem Pflanzenwachstum steigt. Die Grenzen des Bilderkennungssystems liegen derzeit bei zu dicht nebeneinander stehenden Pflanzen. Als Lösungsansatz hierfür wurden zwei kamerabasierte 3D-Erkennungsverfahren untersucht.

Bei den Hackversuchen im Sechsblattstadium wurden durchschnittlich 92 % der Unkräuter beseitigt. Im Rahmen dieser Versuche kam es auch zu Verlusten bei den Zuckerrüben. So wurden 2 % der Zuckerrüben von den Hackwerkzeugen entfernt. Die auf dem Feld verbliebenen Unkräuter stehen vor allem in der Nähe der Zuckerrüben. Der vorher festgelegte Schutzbereich rund um die Zuckerrüben schont somit auch die Unkräuter in direkter Umgebung, ist aber notwendig, um die Zuckerrüben nicht zu beschädigen.

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

Abstract

The Institute of Agricultural Engineering has been working several years to develop a mechanical weed control system for the area within the plant row. The online detection of plant positions and the determination between weed and crop are the main problems of mechanical weed control in the row.

The aim of the research project was the development and field testing of the mechanical weed control system. To be able to use this system in the field, a tractor mounted test rig was developed. For detecting the plants, a camera-based plant recognition system was installed on the test device. As actuators for hoeing the weed, two servo motors with hoeing tools were mounted on the frame. The focus was on the development of a real-time algorithm for plant identification and motor control.

The field tests have shown that the current algorithms allow a reliable image recognition and motor control up to 7.2 km/h forward speed. The limits are set primarily by the hoeing tools, since the rotational speed rises proportionally to the increased forward speed and thus the mound of earth grows. The investigation for recognizing sugar beet at different growth stages shows, that 82 % of the beet in the two-leaf stage were recognized. In the four-leaf stage the proportion of detected crops increased up to 91 % and closed at 100 % in the six-leaf stage. However, looking at the crop recognition in different stages of growth, a linear relationship between the growth stage and the detection of the crops can be derived. It can be said that the successful detection of the crops increases with the growth stage of plants. The boundaries of the image detection system are currently at plants that are too close together. Two camera-based 3D recognition methods were evaluated as a solution to this problem.

In the experiments with sugar beet plants in the six leaf stage 92 % of the weeds were removed. It also came to losses of sugar beet plants. Thus, 2 % of the sugar beet plants were chopped by the hoeing tools. The remaining weed plants on the field are especially close to the sugar beet plants. In this way the predetermined safety area around the sugar beet plants also protects the weeds in the immediate vicinity, but is necessary to prevent damage to the beet.

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.

https://doi.org/10.51202/9783186145147-I
Generiert durch IP '3.134.100.31', am 21.05.2024, 16:54:58.
Das Erstellen und Weitergeben von Kopien dieses PDFs ist nicht zulässig.