

**Untersuchung neuer Bildverarbeitungs-
und Sensorkonzepte als Basis
autonomer Automatisierungssysteme**

Vom Fachbereich für Physik und Elektrotechnik
der Universität Bremen

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR-INGENIEUR (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. Ivan Volosyak

Referent:	Professor Dr.-Ing. A. Gräser
Korreferent:	Professor Dr.-Ing. habil. B. Lohmann
Eingereicht am:	31.01.2005
Tag des Promotionskolloquiums:	24.06.2005

Berichte aus der Robotik

Ivan Volosyak

**Untersuchung neuer Bildverarbeitungs- und
Sensorkonzepte als Basis autonomer
Automatisierungssysteme**

D 46 (Diss. Universität Bremen)

Shaker Verlag
Aachen 2005

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2005

Copyright Shaker Verlag 2005

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-4324-0

ISSN 1434-8098

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Kurzfassung

Ein neuartiges Konzept der bildbasierten Umgebungsüberwachung zur visuellen Regelung von Greif- und Ausweichbewegungen im Arbeitsbereich eines Roboterarms an einer mobilen Plattform (Rollstuhl) wird vorgestellt. Ziel ist es, die vom Benutzer ausgewählten Gegenstände mittels Visual Servoing in eine relative Lage bezüglich der Arbeitsumgebung autonom zu überführen. Die automatische Erkennung von Gegenständen ist für den Greifvorgang von größter Bedeutung. Diese Erkennung wird hierbei mittels Farbbildverarbeitung auf Basis der Grundfarbe des Gegenstandes durchgeführt, die ihn genau charakterisiert und eine Zuordnung zu einer Gruppe von Bildobjekten ermöglicht. Eine große Schwierigkeit dabei ist, dass diese Farbe nicht genau, sondern nur vage definiert werden kann. Der Grund dafür sind große Schwankungen in der technisch wahrnehmbaren Farbe eines Objekts, die durch störende Einflüsse wie Schattenwurf, Lichtreflexe usw. hervorgerufen werden; auch bei der Aufnahme einer Bildsequenz treten immer Farbabweichungen von Bild zu Bild auf. Um all diese Probleme zu bewältigen, wurde ein neuartiges Konzept der Farbbildsegmentierung erarbeitet. Dieses Konzept beschreibt eine neue Art der intelligenten Sensorik für autonome Systeme.

In der vorliegenden Arbeit sind Methoden untersucht worden, die entscheidende Probleme des Visual Servoing- Verfahrens bei einem Einsatz in der Robotik überwinden. Durch den Einsatz von Farbkameras und einer Kombination von aktiven farbigen Elementen mit einer adaptiven Bildverarbeitung sind Probleme, die im Bereich der optischen Erfassung und der Bildverarbeitung liegen, zufrieden stellend gelöst worden. Dabei wurden Methoden entwickelt, die einen Anstieg der Rechenzeit und einen Anstieg der Komplexität der Algorithmen verhindern. Methoden für den Einsatz aktiv steuerbarer Kameras in Verbindung mit Visual Servoing wurden erforscht, um die Genauigkeit und das Einsatzfeld des Verfahrens zu erweitern.

Die neu entwickelten Verfahren wurden mit bereits existierenden Ansätzen verglichen und in einem autonomen Automatisierungssystem, dem am Institut für Automatisierungstechnik entwickelten Rehabilitationsroboter FRIEND, erfolgreich implementiert.

Abstract

This PhD thesis introduces an innovative concept of image-based surveillance for visual guidance within the working area of a robotic arm on a mobile platform (wheelchair). The aim is to move objects chosen by the user by using visual servoing. The automatic recognition of objects is essential for the grasping procedure. This recognition is carried out by colour image processing based on the primitive colour of the object, that describes it and allows an allocation to a group of image objects. The main problem is, that this colour can not be defined exactly but only vaguely, because there is a big fluctuation of the technically observable colour of the object. Disturbing influencing factors like shadows, light reflections etc. cause this fluctuation. Image sequences usually also show colour variances between the separate pictures. In order to cope with all these problems, a totally new concept for colour image segmentation was developed. This concept describes a new kind of intelligent sensing for autonomous systems.

This paper analyses the methods, that can solve the essential problems of the visual servoing process when used in robotics. By using colour cameras and a combination of active coloured elements combined with an adaptive image processing, the problems that originate in the field of optical recognition and image processing could be solved. As a result methods have been developed, that prevent an increase of processing time as well as increase of the complexity of algorithms.

Methods for the use of active controllable cameras in combination with visual servoing have been researched in order to improve the accuracy and broaden the field of application of the procedures.

The newly developed procedures were compared with already existing approaches and were already successfully integrated into an autonomous automation system, the rehabilitation robot FRIEND at the Institute of Automation (IAT).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Visual Servoing	4
1.3	Einordnung der Arbeit	5
1.4	Aufgabenstellungen	5
1.5	Inhaltsübersicht	6
2	Entwicklung von Anforderungen	8
2.1	Stand der Technik heutiger Rehabilitationsrobotik	8
2.2	Projekt FRIEND	9
2.2.1	Allgemeine Beschreibung des Systems	9
2.2.2	Sprachverarbeitungssystem	11
2.2.3	Intelligentes Tablett (smart tray)	12
2.3	„Automatisches Einschenken eines Getränks“	13
2.4	Zusammenfassung	20
3	Visuelle Regelung	21
3.1	Warum visuell?	21
3.2	Einführung ins Visual Servoing Verfahren	22
3.3	Verschiedene Kategorien des Visual Servoing	23
3.3.1	Positionsbasiertes Visual Servoing	26
3.3.2	Bildbasiertes Visual Servoing	26
3.3.3	2-1/2-D Visual Servoing	27
3.3.4	Bildbasiertes Visual Servoing mit einstellbaren Kameras	28
3.3.5	Methode der virtuellen Punkte	29
3.3.6	Visual Servoing mit einer greifermontierten Kamera	30
3.4	Zusammenfassung der Anforderungen	32
4	Grundlagen der Farbbildverarbeitung	35
4.1	Physikalische Aspekte der Farbwahrnehmung	36
4.2	Biologische Basis zur Farbwahrnehmung	40
4.2.1	Optisches System des Menschen	40
4.2.2	Theorien der menschlichen Farbwahrnehmung	42
4.3	Technische Farbbeschreibungen	42
4.3.1	Psychophysische Farbräume	43
4.4	Abgeleitete Farbräume	48
4.4.1	HSI/HSV- Farbraum	48
4.4.2	CIE- <i>Lab</i> und CIE- <i>Luv</i> Farbmodelle	50
4.5	Zusammenfassung der Grundlagen	52

5	Theoretische Grundlagen der Verfahren	53
5.1	Objekterkennung mit optischen Sensoren	53
5.2	Stufen eines klassischen Bildverarbeitungssystems	54
5.3	Ansätze zur Objekterkennung	56
5.3.1	Bildmerkmale und Bildverarbeitung	56
5.3.2	Objekt oder Region	56
5.3.3	„What vs. Where“- Problem	57
5.3.4	Geometrische Eigenschaften der Merkmale	58
5.3.5	Momente	61
5.3.6	Äquivalente Ellipse	62
5.4	Auswahl der geeigneten Merkmale	63
5.4.1	Objektdefinition und Wahl der Farbklassen	64
5.4.2	Istwert des bildbasierten Regelkreises	66
5.5	Segmentierung	67
5.5.1	Klassische Bildsegmentierungsverfahren	67
5.5.2	Threshold- Klassifizierung	69
5.6	Probleme in der Farbbildverarbeitung	74
5.6.1	Adaption der Segmentierungsparameter	78
5.7	Farbenbasierte Objekterkennung	78
5.7.1	Fuzzybasierter Einsatz	79
5.7.2	Typische Rückkopplungen in der Bildverarbeitung	83
5.7.3	Beschreibung des neuen Verfahrens	85
5.8	Einschränkungen der Anwendbarkeit des neuen Verfahrens	93
6	Realisiertes System	97
6.1	Beschreibung der Softwareumgebung	97
6.2	Experimentelle Untersuchungen und Ergebnisse	98
6.3	Diskussion	99
7	Zusammenfassung und Ausblick	100
7.1	Zusammenfassung	100
7.2	Schlussbemerkungen	103
Anhang A	Problematik bei der Farbbildaufnahme	105
Anhang B	Klassische Reglerstrukturen in C++	112
Anhang C	Moderne handelsübliche Farbkameras	118
8	Literaturverzeichnis	121