

Frank Seidel

Entwicklung und Implementierung eines
Verfahrens zur statischen, kartesischen
Kalibrierung von Robotern unter
Verwendung gemessener räumlicher
Abweichungen

Diplomarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2002 Diplom.de
ISBN: 9783832470883

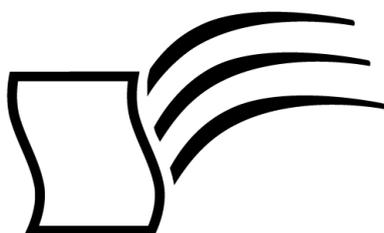
Frank Seidel

**Entwicklung und Implementierung eines Verfahrens
zur statischen, kartesischen Kalibrierung von Robotern
unter Verwendung gemessener räumlicher Abweichun-
gen**

Frank Seidel

Entwicklung und Implementierung eines Verfahrens zur statischen, kartesischen Kalibrierung von Robotern unter Verwen- dung gemessener räumlicher Abweichungen

**Buch
Universität Dortmund
Fachbereich Informatik
Institut für Roboterforschung
Abgabe August 2002**



Diplom.de

Diplomica GmbH _____
Hermannstal 119k _____
22119 Hamburg _____

Fon: 040 / 655 99 20 _____
Fax: 040 / 655 99 222 _____

agentur@diplom.de _____
www.diplom.de _____

ID 7088

Seidel, Frank: Entwicklung und Implementierung eines Verfahrens zur statischen, kartesischen Kalibrierung von Robotern unter Verwendung gemessener räumlicher Abweichungen

Hamburg: Diplomica GmbH, 2003

Zugl.: Universität Dortmund, Universität, Buch, 2002

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Diplomica GmbH

<http://www.diplom.de>, Hamburg 2003

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	i
KAPITEL 1	
EINLEITUNG	1
KAPITEL 2	
STAND DER TECHNIK UND ZIELE	4
2.1 KALIBRIERUNG	4
2.2 ZU LÖSENDE AUFGABENSTELLUNGEN BEI DER KALIBRIERUNG	8
2.3 ZIELE DER ARBEIT	9
KAPITEL 3	
BESCHREIBUNG DES VERFAHRENS	11
3.1 BENÖTIGTE DATEN	11
3.2 GRUNDLAGEN	14
3.2.1 Roll, Pitch und Yaw – Winkel.....	14
3.2.2 Drehvektor – Drehwinkel – Darstellung	16
3.2.3 Frames	16
3.2.4 Quaternionen.....	20
3.2.5 SLERP.....	23
3.2.6 Das ICP-Verfahren	24
3.3 DAS VERFAHREN	24
3.4 ERZEUGTE AUSGABE.....	38
3.5 LAUFZEITBETRACHTUNG	38
KAPITEL 4	
INTEGRATION IN COSIMIR	40
4.1 KONZEPT MIT SOLUTION FINDER	41
4.2 EINBINDUNG MITTELS SOLUTION FINDER	41
4.3 ANWENDERSCHNITTSTELLE	42
KAPITEL 5	
ANWENDUNG AM REALSYSTEM	46
5.1 ANWENDUNGSFALL 1: GERADE	46
5.2 ANWENDUNGSFALL 2: EINFACHE HOMOGENE TRANSFORMATION.....	51
5.3 ANWENDUNGSFALL 3: TESTDATENSATZ	53
5.4 ANWENDUNGSFALL 4: „SCHIEFE ROBOTER“	69
5.5 ANWENDUNGSFALL 5: MITSUBISHI RV-E4NM.....	85

KAPITEL 6	
ERGEBNISSE UND ERFAHRUNGEN	92
KAPITEL 7	
ZUSAMMENFASSUNG	94
ANHANG A	
DER ROBOTERPLOT	97
ANHANG B	
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	100
ANHANG C	
TABELLENVERZEICHNIS	103
ANHANG D	
LITERATURVERZEICHNIS	104

Kapitel 1

Einleitung

Trotz der weiten Verbreitung von Computern und Rechnersystemen werden Roboter heute immer noch sehr häufig mittels Online-Programmierung programmiert. Dabei fährt der Benutzer den **TCP** (Tool Center Point, im Allgemeinen bei einem Greifer der Punkt, an dem dieser ein Werkstück greift) mit Hilfe des zum Roboter gehörenden Handbediengerätes zu allen für das Programm relevanten Punkten und übernimmt an diesen Punkten die sechsdimensionale Positionsangabe. Durch dieses Vorgehen wird die sehr hohe Wiederholgenauigkeit von modernen Industrierobotern genutzt. Diese Eigenschaft kennzeichnet die Fähigkeit von Industrierobotern, bekannte Punkte mit hoher Genauigkeit anzufahren.

Nachteile dieser Methode sind: Da der Roboter während der Programmierung benötigt wird, ergibt sich ein Produktionsstillstand und damit werden Kosten verursacht. Diese sind umso höher, zumal jede relevante Position geteacht

werden muss und so der zeitliche Rahmen sehr umfangreich wird. Wenn sehr präzise Programmabläufe gefordert sind, können die Programme nicht auf Roboter des gleichen Typs übertragen werden, so dass für jeden Roboter die zeit- und kostenintensiven Teachphasen anfallen.

Dem heutigen Stand der Technik wesentlich eher entsprechend ist der Ansatz der Offline-Programmierung des Roboters. Der gesamte Arbeitsablauf des Roboters wird an einem Rechner geplant. Dabei wird mit Hilfe eines Simulationsprogramms die Arbeitszelle des Roboters mit allen relevanten Gegenständen und Werkstücken modelliert. In der Simulation werden die Programme für den Arbeitsablauf erstellt. Wenn diese Erstellung abgeschlossen ist, werden die Programme und alle anderen nötigen Daten an den Roboter übertragen. Dadurch verringert sich die Zeit, in der die Produktion gestoppt werden muss.

Neben dem Vorteil der Kostenersparnis ergibt sich auch eine bessere Bedienbarkeit und ein höherer Komfort bei der Programmierung, da verschiedene im Simulationssystem integrierte Werkzeuge benutzt werden können, um die Programmierung zu erleichtern.

Allerdings hat dieses Verfahren auch Nachteile: Da nun der Roboter nicht mehr mit Hilfe des Handbediengerätes an die relevanten Positionen gefahren wird, spielt die entscheidende Rolle für die Anwendbarkeit des erstellten Programms nicht mehr die Wiederholgenauigkeit des Roboters, sondern die absolute Positioniergenauigkeit. Damit wird die Genauigkeit bezeichnet, mit der der Roboter eine Position im Raum, die nicht vorher geteacht wurde, anfahren kann. Die absolute Positioniergenauigkeit ist für typische Industrieroboter nach [Ghaz 96] um den Faktor 10 bis 70 schlechter als die Wiederholgenauigkeit.

Damit sind prinzipiell die mittels Offline-Programmierung erstellten Programme so ungenau, dass die Aufgaben nicht direkt durchgeführt werden können, sondern die Positionen erst noch „nachgeteacht“ werden müssen.

Mögliche Aufgaben wie Lackieren, Polieren, Entgraten, Schleifen oder Bahnschweißen erfordern sehr hohe Genauigkeiten. Die Wiederholgenauigkeit eines typischen Roboters ist für solche Aufgaben sehr wohl ausreichend. Die größeren Abweichungen beim Einsatz der Offline-Programmierung sind hingegen im Allgemeinen nicht akzeptabel. Der mögliche Ausweg, die Positionen „nachzuteachen“, ist nur in wenigen Anwendungen eine Lösung, da bei den meisten Anwendungen sehr viele Positionen bei derartigen Aufgaben angefahren werden müssen. Der Aufwand des „Nachteachens“ ist bei solchen Anwendungen mit vielen Positionen zu hoch, zumal der Roboter dafür benötigt wird, so dass dieser dann auch nicht mehr für die laufende Produktion benutzt werden kann.

Bei den angesprochenen Aufgaben ist eine große Präzision erforderlich, die Abweichungen von den idealen Positionen sollten deutlich unter einem halben Millimeter liegen. Die Anzahl der Positionen, die bei einer solchen Anwendung relevant werden, liegt weit über tausend.

Diese große Anzahl von Positionen veranschaulicht, dass für das Offline-Programmieren ein sehr hoher Zeitaufwand nötig wird.

Daher wäre es wünschenswert, ein System zur Verfügung zu haben, mit dessen Hilfe es gelingt, mit möglichst wenigen geteachten Positionen eine so deutliche Erhöhung der Genauigkeit des verwendeten Roboters zu erzielen, dass die offline erstellten Programme ohne weitere Änderungen sofort verwendbar sind. Daraus resultiert neben einer Komforterhöhung auch eine Kosteneinsparung, denn der Roboter wird zum einen nur für einen wesentlich kürzeren Zeitraum unmittelbar zur Programmierung benötigt und zum anderen kann das verwendete Simulationssystem mittels spezieller Werkzeuge die Programmierung unterstützen und effizienter machen.

Kapitel 2

Stand der Technik und Ziele

2.1 Kalibrierung

Der Begriff der Kalibrierung wird in der DIN 1319-1 [DIN 95] definiert. Dort heißt es wörtlich:

*„**Kalibrierung:** Ermitteln des Zusammenhangs zwischen Messwert oder Erwartungswert der Ausgangsgröße und dem zugehörigen wahren oder richtigen Wert der als Eingangsgröße vorliegenden Messgröße für eine betrachtete Messeinrichtung bei vorgegebenen Bedingungen.“*