

Nikolaus Schneider

**KANTENHERVORHEBUNG  
UND  
KANTENVERFOLGUNG  
IN DER INDUSTRIELLEN  
BILDVERARBEITUNG**

# FORTSCHRITTE DER ROBOTIK

Herausgegeben von Walter Ameling

---

- Band 1: Hermann Henrichfreise  
**Aktive Schwingungsdämpfung an einem elastischen Knickarmroboter**
- Band 2: Winfried Rehr (Hrsg.)  
**Automatisierung mit Industrierobotern**
- Band 3: Peter Rojek  
**Bahnführung eines Industrieroboters mit Multiprozessorsystem**
- Band 4: Jürgen Olomski  
**Bahnplanung und Bahnführung von Industrierobotern**
- Band 5: George Holling  
**Fehlerabschätzung von Robotersystemen**
- Band 6: Nikolaus Schneider  
**Kantenhervorhebung und Kantenverfolgung in der industriellen Bildverarbeitung**

Exposés oder Manuskripte zur Beratung erbeten unter der Adresse:  
Prof. Dr.-Ing. Walter Ameling, Rogowski-Institut für Elektrotechnik  
der RWTH Aachen, Schinkelstr. 2, 51 Aachen oder an den Verlag  
Vieweg, Postfach 5829, 6200 Wiesbaden.

Nikolaus Schneider

# KANTENHERVORHEBUNG UND KANTENVERFOLGUNG IN DER INDUSTRIELLEN BILDVERARBEITUNG

Schnelle Überführung von Graubildszenen  
in eine zur Szenenanalyse geeignete Datenstruktur



Autor:

Dr.-Ing. Nikolaus Schneider promovierte am Institut für Allgemeine Elektrotechnik und Datenverarbeitungssysteme (Rogowski-Institut) der RWTH Aachen. Sein derzeitiges Arbeitsgebiet ist die Implementierung von Kommunikationsprotokollen für teilnehmer-nahe Systeme sowie die Softwaregenerierung und -verwaltung bei der Firma PHILIPS Kommunikations-Industrie AG, Nürnberg

Der Verlag Vieweg ist ein Unternehmen der Verlagsgruppe Bertelsmann International.

Alle Rechte vorbehalten

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1990

Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1990.



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: Wolfgang Nieger, Wiesbaden

ISBN 978-3-528-06386-3      ISBN 978-3-663-06841-9 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-663-06841-9

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschungsgruppe ‚Industrielle Sensorsignalverarbeitung‘ des Lehrstuhls für Allgemeine Elektrotechnik und Datenverarbeitungssysteme der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Walter Ameling danke ich herzlich für die Möglichkeit, diese Arbeit an seinem Institut durchführen zu können, und für die Übernahme des Referates.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr.-Ing. D. Meyer-Ebrecht, dem Leiter des Lehrstuhles für Meßtechnik der RWTH Aachen, für die Übernahme des Korreferates und für das Interesse, das er dieser Arbeit entgegenbrachte.

Danken möchte ich auch meinen Kollegen für viele anregende Diskussionen und die kritische Durchsicht des Manuskripts, sowie den von mir betreuten Studenten, die als Diplom- und Studienarbeiter oder als studentische Hilfskraft tatkräftig bei der Durchführung der praktischen Arbeiten halfen.

Ein besonderer Dank gilt meiner lieben Frau, die die orthographische und syntaktische Durchsicht der Arbeit übernahm und mir viele private Arbeiten abnahm, sowie meiner gesamten Familie, die während der Arbeit oft auf mich verzichten mußte.

Aachen, im Februar 1990

*Nikolaus Schneider*

# Inhaltsübersicht

<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Thematische Einordnung der Arbeit	3
1.2 Motivation und Zielsetzung der Arbeit	6
1.3 Vorgehensweise und Überblick	7
<b>2 Randbedingungen der Bildaufnahme und -verarbeitung sowie   Blockschaltbild des Gesamtsystems</b>	<b>10</b>
2.1 Die digitale Graubildfunktion	10
2.2 Bildaufnehmer	11
2.3 Beleuchtung, Blendeneinstellung und Randbedingungen der Szene	15
2.4 Ein System zur schnellen Vorverarbeitung	17
2.4.1 Randbedingungen, Datenvolumen und Verarbeitungszeit	17
2.4.2 Rechnerarchitekturen für die Bildverarbeitung	19
2.4.3 Rechnerarchitektur des Systems	24
<b>3 Schnelle Filterverfahren zur Kanten hervorhebung</b>	<b>28</b>
3.1 Punktoperatoren	30
3.2 Lokale Operatoren	31
3.2.1 Die zweidimensionale Faltung	31
3.2.2 Gradientenoperatoren	32
3.2.2.1 Mathematische Grundlagen	32
3.2.2.2 Einfache Differenzenoperatoren	34
3.2.2.3 Näherungsverfahren zur Abschätzung des Gradienten	35
3.2.2.4 Abschätzung des Gradienten durch Kompaßmasken (Template matching)	37
3.2.3 Differentialoperatoren höherer Ordnung	38
3.2.4 Operatoren im mehrdimensionalen Vektorraum	39
3.2.5 Weitere Verfahren	40
<b>4 Bewertung der Kanten hervorhebungs- und Kantenextraktions-   verfahren</b>	<b>42</b>
4.1 Verfahren zur Bewertung der Kantenerkennung	43
4.1.1 Verfahren nach Fram und Deutsch	43
4.1.2 Verfahren nach Abdou und Pratt	47
4.1.3 Verfahren nach Bryant und Bouldin	50
4.1.4 Verfahren nach Kitchen und Rosenfeld	53
4.1.5 Verfahren nach Geuen und Preuth	56
4.2 Ein eigenes Verfahren zur Bewertung mittels idealer Kanten	58
4.2.1 Generierung idealer Kanten	58
4.2.2 Bewertungsverfahren für Filterergebnisse	63
4.2.3 Ergebnisse der Bewertung idealer Kanten	65

4.3	Eigenes Verfahren zur Bewertung realer Kanten	77
4.3.1	Erzeugung eines Referenzbildes	78
4.3.2	Bewertungsverfahren	80
4.3.3	Ergebnisse der Bewertung realer Kanten	84
<b>5</b>	<b>Methoden zur Kantenverdünnung, Kantenextraktion und Überführung in eine Datenstruktur</b>	<b>90</b>
5.1	Methoden zur Verarbeitung von Gradientenbildern	90
5.2	Ein neues Verfahren zur Kantenverdünnung im Datenstrom	93
5.2.1	Algorithmus zur Kantenverdünnung	93
5.2.2	Vorschlag einer Hardware-Realisierung	97
5.3	Extraktion der dominierenden Kanten	99
5.3.1	Bestimmung der dominierenden Kanten	100
5.3.2	Umcodierung des Bildes und Erzeugung einer Datenstruktur	103
5.4	Aufbau einer Datenstruktur für die symbolische Weiterverarbeitung der Szene	108
5.4.1	Beschreibung der Datenstruktur	109
5.4.2	Operationen auf der Datenstruktur	112
<b>6</b>	<b>Verfahren zur Kantenverfolgung</b>	<b>120</b>
6.1	Graphentheoretische Grundlagen	123
6.2	Ein schnelles Verfahren zur Suche von Startpunkten für die Kantenverfolgung	125
6.3	Einschränkung der möglichen Wege	129
6.3.1	Definition eines Weges	129
6.3.2	Einschränkung der Zahl der zu betrachtenden Wege	131
6.3.3	Einschränkung der Länge des betrachteten Weges	134
6.4	Die Kostenfunktion zur Bewertung des Weges	136
6.4.1	Die boolesche Kostenfunktion	137
6.4.2	Die globale Kostenfunktion	138
6.4.3	Die bildabhängige Kostenfunktion	139
6.5	Algorithmen zur Bestwertsuche	141
6.5.1	Bestwertsuche in einem Baum	142
6.5.1.1	Rekursive Suche	144
6.5.1.2	Iterative Suche	148
6.5.2	Bestwertsuche in Graphen	152
6.5.2.1	Verfahren zur Bestwertsuche in Graphen	157
6.5.2.2	Algorithmus nach Dijkstra	161
6.5.2.3	Algorithmus nach Ford	164
6.5.3	Diskussion der Ergebnisse	166
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>176</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>179</b>

<b>A Anhang</b>	<b>208</b>
A.1 Liste der verwendeten Symbole und Abkürzungen . . . . .	208
A.2 Übersicht über die untersuchten Kanten hervorhebungsverfahren . . . . .	210
A.3 Untersuchte Filtermasken für das Modul $tm$ . . . . .	218
A.4 Ergebnisse der Kanten hervorhebung bei idealen Kanten . . . . .	225
A.5 Polardiagramme . . . . .	230