

Ein Beitrag zur Gestaltung einer lernfähigen Klassifikation für die automatische Oberflächeninspektion

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
DOKTOR – INGENIEUR

vorgelegt von
Dipl.-Wirt.-Ing. Olaf Kissing
aus Meinerzhagen

eingereicht dem
Fachbereich Maschinenbau
der Universität Siegen

Referent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Scharf
Korreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Otmar Loffeld

Tag der mündlichen Prüfung: 17. September 2010

ZESS-Forschungsberichte

Nr. 27

Olaf Kissing

Ein Beitrag zur Gestaltung einer lernfähigen Klassifikation für die automatische Oberflächeninspektion

Universität Siegen
Zentrum für Sensorsysteme
Paul-Bonatz-Straße 9-11
57068 Siegen
Tel.: 0271 / 740-3323
Fax: 0271 / 740-2336
e-mail: gs@zess.uni-siegen.de
Internet: <http://www.zess.uni-siegen.de/>

Siegen 2010

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Zugl.: Siegen, Univ., Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2010

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9603-2

ISSN 1433-156X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Zentrum für Sensorsysteme (ZESS) und am Institut für Fertigungstechnik der Universität Siegen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Scharf gilt mein besonderer Dank für die wissenschaftliche Betreuung der Arbeit und die stetige Unterstützung. Die konstruktiven Diskussionen mit ihm sowie die daraus gewonnenen Erkenntnisse reichen weit über die Förderung bei der Anfertigung dieser Dissertation hinaus.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Otmar Löffel bedanke ich mich für die bereitwillige und spontane Übernahme des Korreferats, für die kritische Durchsicht der Arbeit sowie die sich daraus ergebenden Anregungen.

Sehr dankbar bin auch allen Mitarbeitern des ZESS und des Instituts für Fertigungstechnik für die zahlreichen Diskussionen und Anregungen bei der Erstellung der Arbeit. Durch das freundliche und persönliche Klima während meiner Arbeit sowie bei Projekten habe ich stets unterstützenden Rückhalt erfahren. Zudem möchte ich mich bei den studentischen Hilfskräften und Studenten bedanken, die durch ihr Engagement zum Erfolg der Arbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt auch meinen Eltern für die Förderung meines Studiums und dieser Arbeit. Meiner Familie und meinen Freunden danke ich für ihre Geduld und tatkräftige Unterstützung vor allem in der Endphase dieser Arbeit.

Meinerzhagen, im Oktober 2010

Olaf Kissing

INHALTSVERZEICHNIS

Verzeichnis verwendeter Formelzeichen.....	III
1 Einleitung.....	1
1.1 Bedeutung der Bildverarbeitung für die industrielle Qualitätssicherung.....	1
1.2 Aufbau der Arbeit.....	4
2 Problemstellung und Stand der Technik.....	6
2.1 Problemstellung.....	6
2.1.1 Festlegung von Grenzen zur Trennung von Klassen.....	9
2.1.2 Anpassung der Klassengrenzen in der Arbeitsphase.....	13
2.1.3 Erkennung bisher nicht definierter Fehler.....	16
2.1.4 Fazit der bisherigen Überlegungen.....	17
2.2 Zielsetzung.....	17
2.3 Heutiger Einsatz von maschinellen Klassifikationsverfahren in der Oberflächeninspektion.....	18
3 Industrielle Oberflächeninspektion.....	22
3.1 Funktionsstruktur eines Oberflächeninspektionssystems.....	22
3.2 Die Klassifikation als Schlüsselfunktion in der Oberflächeninspektion.....	24
4 Kognitive Repräsentation natürlicher Kategorien.....	32
5 Maschinelles Lernen in der Oberflächeninspektion.....	38
5.1 Grundlagen.....	38
5.2 Klassifikationsverfahren des maschinellen Lernens für die Oberflächeninspektion.....	44
5.2.1 Entscheidungsbaum.....	51
5.2.2 Naiver Bayes-Klassifikator.....	56
5.2.3 Künstliche neuronale Netze.....	61
5.2.4 K-nächster Nachbar.....	64
5.2.5 Support-Vektor-Maschine.....	67
5.2.6 Vergleich der vorgestellten Verfahren und Auswahl geeigneter Verfahren.....	77
5.3 Aufbau und Funktionsstruktur eines industriellen Oberflächeninspektionssystems mit lernfähiger Klassifikation.....	81

6	Praktische Anwendung	95
6.1	Prüfstrategie	95
6.2	Bestimmung der Parameterwerte	104
6.2.1	Parameter des Verfahrens der Support-Vektor-Maschine	104
6.2.2	Parameter der Methode der k-nächsten Nachbarn	108
6.2.3	Parameter zum Verfahrenswechsel innerhalb des kombinierten Klassifikators.....	113
6.3	Anwendung des kombinierten Klassifikators an ausgewählten Beispielen ...	115
6.3.1	Oberflächenfehler auf Spritzgussteilen	116
6.3.2	Prüfung von langen dünnen Objekten	135
6.3.3	Optische Prüfung von Schweißungen	149
6.4	Kritische Einordnung der Ergebnisse.....	167
7	Zusammenfassung und Ausblick	170
8	Literaturverzeichnis	173
Anhang	181

VERZEICHNIS VERWENDETER FORMELZEICHEN

a, b	Halbachsen einer Ellipse
α, β	Lagrange-Multiplikatoren
C	Kapazitätskonstante der Support-Vektor-Maschine
c^{δ}	Co-Occurrence-Matrix
$c(i, j)$	Elemente der Co-Occurrence-Matrix
c_i	Zurückweisungsschwelle
D_I	Interklassenabstand
d	Abstand eines Objekts zum nächsten Nachbarn im Merkmalsraum
$\vec{\delta}$	Verschiebungsvektor der Co-Occurrence-Matrix
G	Grenzwert
g	Grauwert
\bar{g}	Mittlerer Grauwert
$H(N)$	Entropie der Menge N
H^*	Hyperebene der Support-Vektor-Maschine
K	Klassenraum
K_i, K_{i0}, K_{ni0}	Klasse i , Klasse „in Ordnung“, Klasse „nicht in Ordnung“
K_0	Rückweisungsklasse
k	Anzahl der nächsten Nachbarn
\hat{k}	Zurückweisungsschwelle bei der Methode nach der k -nächsten Nachbarn
K_{Φ}	Kernfunktion
M, M_p	Merkmal p
$N_{richtig}$	Anzahl korrekt klassifizierter Objekte der Stichprobe
N_S	Gesamtanzahl der Stichprobe

O	Prüfobjekt
$P(K_i)$	a priori-Wahrscheinlichkeit der Klasse K_i
p_i	relative Häufigkeit der Klasse K_i in der Stichprobe
q	Grad eines Polynoms
R	Radius
ρ	Anzahl der aufeinanderfolgenden Werte der Standardabweichung $s_{i,p}$ zur Ermittlung des Range
S	Kovarianzmatrix
S_i	Summe zur Bewertung der Nachbarn der Klasse K_i
$s_{i,p}$	Standardabweichung der Ausprägungen der Klasse K_i bezüglich des Merkmals M_p
$\bar{s}_{i,p,\tau}$	gleitender Mittelwert der Standardabweichung aus τ Werten der Klasse K_i bezüglich des Merkmals M_p
T	Teilmenge
t	Zeitpunkt
τ	Anzahl der zur Ermittlung des gleitenden Mittelwertes der Standardabweichung $\bar{s}_{i,p,\tau}$ herangezogenen Werte
V	Merkmalsraum
\vec{w}	Normalenvektor
x	Pixel-Koordinate im Grauwertbild
x_i	Merkmalsausprägung
$\vec{x}(O), \vec{x}$	Merkmalsvektor
ξ	Schlupfvariable der Support-Vektor-Maschine
y	Pixel-Koordinate im Grauwertbild
Z	Zuordnungsbereich
Z_{max}, Z_{min}	maximaler bzw. minimaler Wert des Zuordnungsbereichs