

Photogrammetrischer 3D-Bildsensor für die automatisierte Mikromontage

Von der Fakultät für Maschinenbau

der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde

eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte Dissertation

von: Dipl.-Ing. Michael Berndt

aus: Salzwedel

eingereicht am: 14.06.2007

mündliche Prüfung am: 19.10.2007

Referenten: Prof. Dr.-Ing. Rainer Tutsch

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Jürgen Hesselbach

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	1
2.	Problemstellung.....	2
3.	Automatisierte Mikromontage.....	3
3.1.	Fertigungssystem für die automatisierte Mikromontage	7
3.1.1.	Mikromontageroboter	8
3.1.2.	Greif- und Magazintechnik.....	10
3.1.3.	Fügeverfahren.....	13
3.1.4.	Sensoren.....	14
3.1.4.1.	Geometrisches Messen.....	16
3.1.4.2.	Kräfte und Momente	27
3.1.4.3.	Temperatur	28
3.2.	Projekte zur automatisierten Mikromontage	29
3.3.	Diskussion des Standes der Technik	33
3.4.	Zielsetzung der Arbeit.....	34
4.	Objektmerkmale	37
4.1.	Erkennen von Objekten.....	38
4.2.	Objekte für Referenzmarken.....	43
4.3.	Photolithographisch erzeugte Referenzmarken.....	44
4.4.	Schneller Ellipsenfinder – Subpixel-Interpolation.....	49
4.5.	Fazit	52
5.	Photogrammetrischer 3D-Bildsensor	53
5.1.	Grundlagen Stereophotogrammetrie.....	54
5.1.1.	Zentralprojektion	55
5.1.2.	Räumliches Sehen	59
5.1.3.	Epipolargeometrie	61

5.2.	Aufbau des mikrophotogrammetrischen 3D-Bildsensors.....	62
5.3.	Beleuchtung.....	63
5.4.	Strahlteiler	66
5.5.	Kommunikation.....	68
5.6.	Charakterisierung des 3D-Bildsensors	69
5.7.	Fazit	72
6.	Einsatz im Montageprozess	73
6.1.	Abgleich der Koordinatensysteme.....	74
6.2.	Wiederholpräzision im Montageroboter.....	76
6.3.	Pose-Wiederholgenauigkeit des Montageroboters.....	77
6.4.	Beschreibung einer Montageaufgabe	78
6.5.	Montageergebnisse.....	80
6.6.	Fazit	81
7.	Kalibrierung des 3D-Bildsensors.....	82
7.1.	Theorie der Abbildungsfehler in der geometrischen Optik	82
7.1.1.	Monochromatische Aberrationen	83
7.1.2.	Chromatische Aberrationen	87
7.1.3.	Abbildungsfehler und Verzeichnungen.....	88
7.2.	Photogrammetrie und bekannte systematische Einflüsse	88
7.3.	Kalibrierstrategie	93
7.4.	Beispielkalibrierung	97
7.5.	Alternative Ansätze zur Korrektur systematischer Einflüsse	98
7.6.	Fazit	101
8.	Zusammenfassung und Ausblick.....	102
9.	Literaturverzeichnis.....	105
10.	Anhänge.....	114