

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Voraussetzungen für intelligente Robotik	1
1.2	Brauchen Montageroboter Umweltmodelle?	2
1.2.1	Autonome Roboter	2
1.2.2	Das Umweltmodell in der Telerobotik	4
1.2.3	Bekannte Systeme zur Umwelterfassung	5
1.2.4	Besonderheit der bearbeiteten Problemstellung	7
2	Aufbau eines Umwelterfassungssystems	9
2.1	Robotersensorik zur Umwelterfassung	9
2.1.1	Robotersensorik	9
2.1.2	Maschinelles Sehen	10
2.1.3	Die Sensor-in-Hand Konfiguration	11
2.1.4	Der ROTEX Robotergreifer	12
2.2	Verarbeitung der Daten mehrerer Sensoren	14
2.2.1	Ein gemeinsamer Bezugspunkt	14
2.2.2	Fusion der Daten verschiedener Sensoren	15
2.2.3	Die Rolle der Objektoberfläche für die Sensorik	16
2.3	Der Schritt zur symbolischen Darstellung	18
2.3.1	Objekte als Basiselemente	18
2.3.2	Objekterkennung und Lagebestimmung	18
2.3.3	Das Registrieren unbekannter Objekte	18
2.4	Die Ebenen eines Umwelterfassungssystems	19
3	Die Ausgangslage für Oberflächenrekonstruktion	21
3.1	Anforderungen an einen Rekonstruktionsalgorithmus	21
3.2	Mathematische Grundlagen	23
3.2.1	Verschiedene Darstellungen von Flächen	23
3.2.2	Fundamentalgrößen von Flächen	26
3.3	Bekannte Verfahren zur Oberflächenrekonstruktion	29

3.3.1	Das Verfahren von Grimson und die Erweiterung nach Terzopoulos	29
3.3.2	Das Verfahren von Vemuri	30
3.3.3	Rekonstruktion nach Szeliski	30
3.3.4	Oberflächenrekonstruktion nach Y. Wang und J. Wang	31
4	Ein multisensorieller Rekonstruktionsalgorithmus	33
4.1	Die selbstorganisierende Merkmalskarte	33
4.1.1	Das künstliche Neuron	33
4.1.2	Topologieerhaltende Abbildungen in der Biologie	35
4.1.3	Das Simulationsmodell von Kohonen	37
4.1.4	Ein Simulationsbeispiel	40
4.1.5	Arbeiten zu Kohonens Algorithmus	42
4.2	Mathematische Betrachtung von Kohonens Algorithmus	43
4.2.1	Kohonens Erklärung des Ordnungsprozesses	44
4.2.2	Abschätzung von Parametergrenzen	45
4.3	Oberflächenrekonstruktion mit Kohonens Merkmalskarten	46
4.3.1	Das Rekonstruktionsproblem	46
4.3.2	Vorwärtstraining	48
4.3.3	Rückwärtstraining	48
4.4	Sensorfusion	49
4.4.1	Punktförmige Oberflächeninformation	51
4.4.2	Tangentialebenen	51
4.4.3	Dreidimensionale Liniensegmente	53
4.4.4	Freiformflächeninformation	56
4.5	Oberflächenunstetigkeiten	57
4.5.1	Bekannte Unstetigkeiten	58
4.5.2	Unbekannte Unstetigkeiten	60
4.5.3	Lokale Steuerung der Auflösung	62
4.6	Aspekte einer effizienten Implementierung	63
4.6.1	Konjugierter Gradient zur Korrespondenzsuche	63
4.6.2	Mehrgitterrekonstruktion	64
4.6.3	Initialisierung durch Vorwissen	64
4.6.4	Zufallsauswahl der Trainingsdaten	65
4.7	Experimentelle Ergebnisse	65
4.7.1	Simulierte Daten eines Linienscanners und einer Stereokamera in der Roboterhand	67
4.7.2	Abstandsdaten einzelner Laserentfernungsmesser einer Roboterhand	70
4.7.3	Rekonstruktion aus 3D-Tiefenbildern	70
4.7.4	Punktwolken eines Moiré Meßkopfes	73
4.7.5	Rekonstruktion mit Daten des DLR-Laserscanners	75
4.7.6	Tiefendaten einer bewegten Stereokamera	77

4.7.7	Taktile Daten einer Roboterhand	81
4.8	Bewertung der vorgestellten Oberflächenrekonstruktion	83
4.8.1	Vergleich mit bekannten Verfahren	83
4.8.2	Beurteilung der Integration von Multisensordaten	84
4.8.3	Parameterwahl	85
4.8.4	Einsatz des Verfahrens in der Robotik	86
4.8.5	Anwendung im CAD- und Computergrafikbereich	87
5	Objekterkennung und Lagebestimmung	88
5.1	Welche Eigenschaften beschreiben ein Objekt?	88
5.2	Mögliche Ansätze zur Segmentierung	90
5.2.1	Segmentierung mit bekanntem Hintergrund	90
5.2.2	Verwendung von prinzipieller Hintergrundinformation	92
5.2.3	Versuch einer Vektorquantisierung zur Segmentierung	93
5.3	Die Segmentierung nach Objekten – ein kritischer Prozeß	96
5.3.1	Sinn oder Unsinn der Aufgabenstellung	96
5.3.2	Rolle der Segmentierung in der Hierarchie des Umweltwahrnehmungssystems	98
5.4	Prinzipielle Ansätze zur Objekterkennung	99
5.4.1	Merkmalsbasiertes Objekterkennen	99
5.4.2	Die komplette Objektoberfläche als Ausgangsbasis	101
5.4.3	Verfahren zur Objekterkennung und Lagebestimmung	101
5.5	Das erweiterte Gaußsche Bild	104
5.5.1	Definition des erweiterten Gaußschen Bildes eines Objektes	104
5.5.2	Massenträgheitsachsen	106
5.5.3	Berechnung der Massenträgheitsachsen auf 3D-Polygonbasis	107
5.5.4	Objekterkennung	108
5.6	Bestimmung der Objektposition mit dem ICP-Algorithmus	110
5.6.1	Die Quaternionen Darstellung von Rotationen im 3D-Raum	110
5.6.2	Räumliche Transformation zur Minimierung der Abstandsquadrate	111
5.6.3	Der Algorithmus des iterativ nächsten Punktes	112
5.6.4	Geschwindigkeitssteigerung durch Extrapolation der Suchrichtung	113
5.6.5	Geschwindigkeitssteigerung durch variable Auflösung	114
5.6.6	Implementierung der Berechnung des nächsten Punktes	115
5.7	Versuchsergebnisse	115
5.8	Registrieren unbekannter Objekte	123
5.8.1	Die Objektdatenbasis eines Roboters	123
5.8.2	Verarbeitung der rekonstruierten Oberfläche eines unbekanntes Objektes	124

6 Zusammenfassung und Ausblick	125
6.1 Umwelterfassung – ein weiterer Schritt von der Teleoperation zur vollen Autonomie?	125
6.2 Das Umwelterfassungssystem als Teil eines Konzepts für Weltraumroboter	126
6.3 Einsatz auf anderen Gebieten der Umweltwahrnehmung	127
6.4 Bewertung des kompletten Systems	128
6.5 Ansätze zu weitergehenden Umwelterfassungssystemen	130
A Abstandsberechnung auf dem Neuronengitter	132
B Trägheitsmoment eines 3D-Dreiecks	133
Literaturverzeichnis	135