

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Motivation	1
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	2
2	Ausgangssituation	5
2.1	Definitionen und Begriffe	5
2.2	Anwendungsfelder für multifunktionale mobile Serviceroboter	5
2.2.1	Erfüllung von Haushaltsaufgaben	6
2.2.2	Anwendungen im gewerblichen Umfeld	7
2.2.3	Erkunden und Bergen bei Katastrophen	8
2.2.4	Erkundung und Probenentnahme bei Weltraummissionen	8
2.2.5	Bewertung der Anwendungsfelder und Abgrenzung der Arbeit	9
3	Analyse der Aufgabenstellung und Ableitung von Anforderungen	13
3.1	Anforderungen für Navigation und Manipulation	13
3.2	Anforderungen für Visualisierung und Interaktion	14
3.3	Anforderungen für die Planung von Aktionen	14
3.4	Weitere Anforderungen	15
4	Stand der Technik	17
4.1	3-D-Tiefenbildkameras	17
4.1.1	Kameras nach dem Prinzip der Phasenverschiebung	17
4.1.2	Kameras nach dem Prinzip der Triangulation	20
4.1.3	Bewertung der 3-D-Tiefenbildkameras	22
4.2	Umgebungserfassung in der Servicerobotik	23
4.2.1	3-D-Umgebungserfassung in der Teleoperation	23
4.2.2	3-D-Umgebungserfassung in der autonomen Robotik	25
4.3	Einzeltechnologien für 3-D-Umgebungserfassung	28
4.3.1	Vorverarbeitung	28
4.3.2	Nachbarschaftssuche in Punktwolken	30
4.3.3	Normalenvektoren	30
4.3.4	Rauschfilter	31
4.3.5	3-D-Merkmale	32
4.3.6	Registrierung	33
4.3.7	Segmentierung	34
4.3.8	Oberflächenrekonstruktion	36
4.4	Kartenrepräsentationen	36
4.5	Übertragung von 3-D-Daten über Netzwerke	38

4.6	Ansätze zum teil-autonomen Betrieb	39
4.7	Folgerungen aus dem Stand der Technik	40
5	Entwurf des Verfahrens zur 3-D-Umgebungserfassung	43
5.1	Anwendungsszenario und Zielrobotersystem	43
5.2	Konzeption des Verfahrens zur 3-D-Umgebungserfassung	43
5.2.1	Entwurf der Repräsentation für das Umgebungsmodell	44
5.2.2	Verarbeitungsschritte zur Erzeugung der Repräsentation	46
6	Entwurf und Umsetzung der Einzelkomponenten	49
6.1	Nachbarschaftssuche in Punktwolken	49
6.1.1	Bewertung	50
6.2	Punktnormalen	51
6.2.1	Vergleich der Verfahren zur Berechnung von Normalenvektoren	51
6.3	Rauschfilter	53
6.3.1	Amplituden- und Abrisskantenfilter für TOF-Kameras	53
6.3.2	Allgemeine Rauschfilter	57
6.3.3	Aufbau einer Filterkaskade	59
6.4	Registrierung	60
6.4.1	Fast Range Image Registration (FRIR)	61
6.4.2	Evaluierung	66
6.5	3-D-Punktmerkmale	71
6.5.1	Radius-based Surface Descriptor (RSD)	72
6.5.2	Principal Curvatures (PC)	73
6.5.3	Fast Point Feature Histograms (FPFH)	74
6.5.4	Klassifizierung von Oberflächenpunkten	76
6.5.5	Evaluierung	77
6.6	Segmentierung	80
6.6.1	Ebenensegmentierung mit RANSAC (ERS)	81
6.6.2	Graph-basiertes Region Growing und Punktklassifikation (GRG)	82
6.6.3	Evaluierung	87
6.7	Aufbau einer geometrische Karte	93
6.7.1	Verarbeitung von Ebenenpolygonen	93
6.7.2	Verarbeitung von Zylindern	94
6.7.3	Evaluierung	97
7	Verknüpfung der Einzelkomponenten und Validierung	103
7.1	Verknüpfung der Einzelkomponenten	103
7.2	Übertragung des Umgebungsmodells über ein Netzwerk	103
7.3	Überprüfung der Anforderungen	105
7.4	Validierung der Funktionalität	107
7.4.1	Validierung in der Simulation	107
7.4.2	Validierung auf Care-O-bot® 3	107
7.5	Anwendungsbeispiel „Hol- und Bringdienst“	109

8 Zusammenfassung und Ausblick	111
A Evaluierung von Klassifizierungsproblemen	113
B Datensatz für die Evaluierung	115
C Principal Component Analysis (PCA)	117
D Basisgeometrien	119
D.1 Ebene	119
D.2 Zylinder	120
Literaturverzeichnis	121