

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 8

Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

Dipl.-Ing. Thorsten Lietmann,
Bremen

Nr. 933

**Visuelle Regelung zur
autonomen Navigation
einer nichtholonomen
Plattform**

VDI Verlag

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Visuelle Regelung	3
1.3	Aufgabenstellungen	5
1.4	Gliederung der Arbeit	7
2	Visual Servoing	10
2.1	Allgemeines	10
2.2	Einteilung in verschiedene Kategorien	11
2.2.1	Position-Based Visual Servoing	15
2.2.2	Image-Based Visual Servoing	15
2.3	Koordinatensysteme	18
2.4	Lochkameramodell	19
2.5	Bildmerkmale und Bildverarbeitung	22
2.5.1	2D-Visual Servoing	23
2.5.2	3D-Visual Servoing	25
3	Visuelle Regelung mit Bild-Jacobi-Matrix	27
3.1	Bewegung eines Punktes im Raum	27
3.2	Die Bild-Jacobi-Matrix	29
3.2.1	Konstante Bild-Jacobi-Matrix	32
3.2.2	Adaptive Bild-Jacobi-Matrix	33
3.3	Erweiterte Bild-Jacobi-Matrix	33
3.4	Erweiterte Bild-Jacobi-Matrix für die Entfernungsbildkamera	35
3.4.1	Herleitung	37
3.4.2	Erweiterte Bild-Jacobi-Matrix mit virtuellen Blobs	39
3.5	Regelgesetz mit Bild-Jacobi-Matrix	41
3.5.1	2D-Visual Servoing	44
3.5.2	3D-Visual Servoing	45

4	Eigenschaften des visuellen Reglers (Simulationen)	46
4.1	Beschreibung der Simulationsumgebung	46
4.2	Auswertung der Simulationen	49
4.3	Vorteile des 3D-Visual Servoing	53
5	Stabilitätsuntersuchungen	56
5.1	Allgemeines	56
5.2	Stabilität der Regelung	58
5.3	Fazit	62
6	Mobile Plattform und Fahrt-Regler	64
6.1	Die mobile Plattform (Rollstuhl)	64
6.2	Der Fahrt-Regler	67
6.2.1	Trajektoriangenerierung	67
6.2.2	Trajektorienfolgeregelung	70
6.3	Fahrversuche und Ergebnis	71
7	Navigation mittels Visual Servoing und Trajektorienfolgeregelung	75
7.1	Allgemeines	75
7.2	Direktes Visual Servoing	78
7.2.1	Beschreibung des Verfahrens	78
7.2.2	Simulation	80
7.2.3	Experiment	81
7.2.4	Ergebnis	82
7.3	Visual Servoing und Trajektorienfolgeregelung	83
7.3.1	Docking-Manöver mit CCD-Kamera	89
7.3.1.1	2D-Visual Servoing	89
7.3.1.2	3D-Visual Servoing	92
7.3.2	Docking-Manöver mit Entfernungsbildkamera	94
7.3.2.1	Herkömmliche Landmarke	95
7.3.2.2	Virtuelle Blobs	96
7.3.2.3	Virtuelle Wand	97
7.3.2.4	Ergebnis	98
7.3.3	Docking-Manöver unter Einbeziehung eines Pan-Tilt-Heads	99
7.3.3.1	Feature-Tracking	101
7.3.3.2	Virtuelle Sensorebene	103
7.3.3.3	Experimente	106

7.3.4	Gangfahrt mit CCD-Kamera	109
7.4	Fazit	113
8	Direktes Visual Servoing mittels Pan-Tilt-Head	116
8.1	Allgemeines	116
8.2	Beschreibung des Verfahrens	119
8.3	Simulationen und Experimente	120
8.3.1	Simulationen	121
8.3.2	Experimente	123
8.4	Fazit	125
9	Positionsbasierte Ansätze	126
9.1	Selbstlokalisierung mittels Kalman-Filter	126
9.1.1	Beschreibung des Verfahrens	127
9.1.2	Experimente	129
9.1.3	Ergebnis	131
9.2	Triangulation	131
9.2.1	Beschreibung des Verfahrens	133
9.2.1.1	Entfernungsbildkamera	133
9.2.1.2	CCD-Kamera	136
9.2.2	Durchführung von Versuchsreihen	138
9.2.2.1	Entfernungsbildkamera	138
9.2.2.2	CCD-Kamera	139
9.2.3	Ergebnis und Vergleich mit Visual Servoing	140
9.3	Fazit	142
10	Kollisionsvermeidung mittels Entfernungsbildkamera	144
10.1	Allgemeines	144
10.2	Hinderniserkennung	146
10.3	Strategie zum Vermeiden von Kollisionen	152
10.4	Experimente	155
10.5	Fazit	157
11	Zusammenfassung	159
	Literaturverzeichnis	164