

Fachberichte Messen · Steuern · Regeln

Herausgegeben von M. Syrbe und M. Thoma

20

H.-J. Wünsche

Bewegungssteuerung durch Rechnersehen

Ein Verfahren zur Erfassung und Steuerung
räumlicher Bewegungsvorgänge in Echtzeit



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo 1988

Inhaltsverzeichnis

<u>Liste der verwendeten Symbole und Abkürzungen</u>	XI
--	----

1. Einleitung

1.1 Einführung	1
1.2 Ansätze zur Erfassung und Steuerung von Bewegungen durch sehende Rechner: Stand der Technik	4
1.2.1 Erfassung von Bewegungen durch Verarbeitung weniger Einzelbilder: differenzierende Verfahren	5
1.2.2 Rekursive Schätzung der Bewegung aus Bildfolgen unbegrenzter Dauer: integrierende Verfahren	7
1.2.3 Steuerung von Bewegungen mobiler Roboter und von Fahrzeugen durch visuelle Information	9
1.3 Aufbau der Arbeit	12

2. Der systemdynamische Ansatz zur Erfassung und Steuerung von

<u>Bewegungen durch Rechnersehen</u>	15
2.1 Übersicht: Orientierungsphase und Echtzeitphase	15
2.1.1 Die Orientierungsphase	15
2.1.2 Die Echtzeitphase	17
2.2 Das Bildverarbeitungssystem zur Merkmalsextraktion	20
2.3 Das dynamische Modell	22
2.4 Das geometrische Abbildungsmodell	26
2.5 Korrektur der Modellvorstellungen durch rekursive Bilddatenfilterung	28
2.6 Erkennung von Störungen und Verdeckungen	30
2.7 Merkmalselektion	32
2.8 Bewegungssteuerung durch Rechnersehen	34

3. Automatische Steuerung eines Luftkissenfahrzeugs in drei Bewegungsfreiheitsgraden durch Auswertung visueller Information	35
3.1 Die Aufgabenstellung	38
3.2 Die Luftkissenfahrzeug-Versuchsanlage	40
3.2.1 Das Luftkissenfahrzeug	41
3.2.2 Die Antennenanlagen zur Positionsbestimmung	42
3.2.3 Das dynamische Modell der Fahrzeugbewegung in geodätischen Koordinaten	44
3.2.4 Das Laufkatzensystem	49
3.3 Missionsablauf	52
3.4 Merkmalsextraktion	54
3.4.1 Verfolgung vertikaler Stäbe	55
3.4.2 Verfolgung von Ecken	55
3.4.3 Bestimmung maximal zulässiger Relativgeschwindigkeiten	57
3.5 Echtzeitphase: Erfassung und Steuerung der Luftkissenfahrzeugbewegung durch Rechnersehen	59
3.5.1 Das dynamische Modell zur Bewegungsprädiktion	60
3.5.2 Das geometrische Abbildungsmodell	65
3.5.2.1 Das geometrische Modell der Szene	66
3.5.2.2 Die perspektivischen Abbildungsgesetze	67
3.5.2.3 Vereinfachte Abbildungsgleichungen und Fehlerabschätzung	70
3.5.3 Korrektur der Modellvorstellungen durch visuelle Information	73
3.5.3.1 Der erweiterte vollständige Beobachter	75
3.5.3.2 Kalman Filter Rekursion	76
3.5.3.3 Gauß-Markov-Schätzung mit quasi-stationärer Nachfilterung	78
3.5.3.4 Kalman Filter mit sequentieller Innovation	83
3.5.3.5 Kalman Filter mit UDU^T -faktorisierter Kovarianzmatrix	84

3.5.4	Situationsgerechte Reaktion auf optische Störungen ..	88
3.5.4.1	Erste Datenfilterung und Störungserkennung durch Faktenwissen	89
3.5.4.2	Störungserkennung anhand von vertrauens- behafteten Bewegungsanalysen	90
3.5.4.3	Die untere Entscheidungsebene: erfahrungs- basierte Reaktionen auf optische Störungen	92
3.5.4.4	Die obere Entscheidungsebene	94
3.5.5	Merkmalselektion	95
3.5.5.1	Sichtbarkeitsanalyse	96
3.5.5.2	Erkennbarkeitsanalyse	97
3.5.5.3	Vollständige Merkmalselektion	98
3.5.5.4	Sequentielle Merkmalselektion	102
3.5.5.5	Merkmalselektion während einer typischen Mission	105
3.5.5.6	Wahl und Skalierung der Zustandsgrößen	111
3.5.6	Zeitlicher Programmablauf, Rechen- und Totzeiten	113
3.5.7	Dreipunktregler zur Bewegungssteuerung	116
3.5.7.1	Dreipunktregler zur sicheren Bahnregelung	119
3.5.7.2	Störgrößenadaptiver Dreipunktregler mit Berücksichtigung von Totzeiten	121
3.6	Orientierungs- und Initialisierungsphase	125
3.6.1	Kamerakalibrierung	125
3.6.2	3D-Objekterkennung	128
3.6.2.1	Suche nach Merkmalen und Objekthypothesen	130
3.6.2.2	Erste Relativlageschätzung und Nachitera- tion	133
3.6.2.3	Verifikation der Objekterkennung	135
3.6.2.4	Diskussion	137
3.7	Resultate und Diskussion	138
3.7.1	Verlauf der Bewegungszustandsgrößen für eine typische Mission	140
3.7.2	Größere optische Störungen	143
4.	<u>Zusammenfassung</u>	147

<u>5. Literatur</u>	151
<u>Anhang</u>	161
A.1 Beschleunigungskräfte und -momente	161
A.2 Berechnung des diskreten Zustandsraummodells	162
A.2a Diskretes Modell der Fahrzeugbewegung in geodätischen Koordinaten	163
A.2b Diskretes Modell der Laufkatzenbewegung	164
A.2c Diskretes Modell der Fahrzeugbewegung in andock- partnerfesten Polarkoordinaten	164
A.3 Die Abbildungsgleichungen und deren Jacobische Matrix	167
A.4 Algorithmen zur vektoriellen und sequentiellen Innovation ...	171
A.5 Kovarianzen der Schätzfehler des Gauß-Markov Schätzwertes ...	172
A.6 Parameter der Dreipunktregler	173
A.7 Bewertungszahl für die Objekterkennung	174
A.8 Zur Relativlageverifikation	175
A.9 Struktur des Echtzeit-Programmsystems, ausgewählte Quellcodes	177
<u>Sachverzeichnis</u>	197