

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Motivation	1
2	Konzept der visuellen Informationsverarbeitung	3
2.1	Beschreibungsebenen informationsverarbeitender Systeme	3
2.2	Randbedingungen aus der digitalen Bildverarbeitung	5
2.2.1	Visuelle Sensoren in der Robotik	5
2.2.2	Probleme der Bildauswertung	6
2.3	Biologische Informationsverarbeitung	7
2.3.1	Organisation informationsverarbeitender Systeme	7
2.3.2	Neuronaler Instruktionssatz	7
2.4	Verhaltensorientierte Wahrnehmung	8
3	Biologische Grundlagen des Sehprozesses	11
3.1	Das Auge als optischer Sensor	11
3.1.1	Optische Übertragungseigenschaften	11
3.1.2	Photorezeptoren	12
3.1.3	Neuronale Verschaltung der Photorezeptoren	14
3.2	Informationsverarbeitung in den primären visuellen Arealen	15
3.2.1	Merkmalsextraktion im LGN und dem visuellen Cortex	15
3.2.2	Kanalmodelle für die Ortsfrequenz-Wahrnehmung	18
3.3	Die verschiedenen Augenbewegungen beim Menschen	21
3.3.1	Koordinatensysteme zur Beschreibung von Augenrotationen	21
3.3.2	Augengeometrie in der Fixationsebene	23
3.3.3	Klassifizierung der Augenbewegungen	24
3.3.4	Augenbewegungsarten beim Menschen	25
3.3.5	Das Gesetz von Hering	28
3.4	Übersicht über visuelle Tiefenhinweise	30
3.4.1	Stereoskopische Tiefenwahrnehmung	30
3.4.2	Bewegungsparallaxe	30
3.4.3	Form durch Schattierung	31

3.4.4	Tiefe durch Textur	31
3.4.5	Tiefe durch Akkomodation	31
3.5	Psychophysik der Vergenzbewegung	32
3.5.1	Vergenz als Distanzhinweis	32
3.5.2	Disparitätsgesteuerte Vergenzbewegung	34
3.6	Psychophysik der Disparitätswahrnehmung	39
3.6.1	Korrespondierende Punkte und die Rolle der Vergenz	39
3.6.2	Die verschiedenen Bereiche von Fusion und Stereopsis	39
3.6.3	Tiefenwahrnehmung durch absolute und relative Disparitäten	41
3.6.4	Tiefenwahrnehmung unter dynamischen Bedingungen	42
4	Modelle zur Disparitätsschätzung und Vergenz	45
4.1	Beschreibung der Stereogeometrie	45
4.1.1	Homogene Koordinaten	45
4.1.2	Stereoskopische Kameraabbildung	48
4.2	Lösungen des stereoskopischen Korrespondenzproblems	53
4.2.1	Monokulare Vorverarbeitung	54
4.2.2	Verfahren der Stereobildzuordnung	57
4.2.3	Tiefenrekonstruktion	64
4.3	Modellierung der Vergenzbewegung	65
4.3.1	Cepstrumbasierte Vergenz	67
4.3.2	Phasenbasierte Vergenz	67
4.3.3	Vergenz durch Kooperation von Fokus und Disparität	69
4.3.4	Integration von Vergenz, Fokus, Apertur und Disparität zur Oberflächenbestimmung	70
4.3.5	Integration von Vergenz, Folgebewegung und Fokus	71
4.3.6	Vergenz mit Detektion von Verdeckung und Glanzlichtern	72
4.3.7	Mikrovergenzbewegungen zur Tiefenwahrnehmung	73
5	Phasenbasierte Disparitätsschätzung	74
5.1	Eigenschaften von Gabor-Filtern	74
5.1.1	Kontinuierliche Gabor-Filter	74
5.1.2	Diskrete Gabor-Filter	78
5.1.3	Lokalfrequenz der Filterantworten	79
5.1.4	Gabor-Scale-Space	83
5.2	Berechnung von Disparitätskarten	87
5.2.1	Disparitätsprojektionen aus Phasendifferenzen	88
5.2.2	Zuweisung von Konfidenzwerten	91

5.2.3	Hierarchische Disparitätsberechnung	93
5.2.4	Beschränkung der Disparität und des Disparitätsgradienten	95
5.3	Phasengestützte Vergenzsteuerung und Akkomodation	96
5.3.1	Notwendigkeit der Vergenzbewegung	96
5.3.2	Geometrie von Vergenz und Akkomodation	98
5.3.3	Vergenz als Minimierung der globalen Disparität	99
5.3.4	Stabilisierung der Vergenz	102
5.3.5	Vergenzrelaxierung zur Einstellung einer Standardentfernung	104
5.3.6	Kalibrierung der Vergenzbewegung	105
5.4	Disparitätsbestimmung als Maximum-Likelihood-Schätzer	106
5.5	Vergleich verschiedener Phasenansätze	108
5.6	Gesamtdarstellung von Vergenz und Disparitätsschätzung	110
6	System zur aktiven Tiefenwahrnehmung	112
6.1	Hardwareumgebung	112
6.2	Softwareumgebung	114
6.3	Implementierung des Stereoalgorithmus	114
6.3.1	Der Frontendprozeß	115
6.3.2	Der Stereoprozeß	116
6.3.3	Der Visualisierungsprozeß	117
7	Genauigkeits- und Robustheitsuntersuchungen	119
7.1	Experimentelle Bestimmung von Disparitätskarten	120
7.1.1	Genauigkeit bei Isodisparitätsflächen	121
7.1.2	Genauigkeit bei Disparitätssprüngen	125
7.1.3	Präzision der Disparitätsschätzung bei gestörten Stereobildern	127
7.2	Experimente zur Vergenzbewegung	131
7.2.1	Vergenz bei frontoparallelen Oberflächen	132
7.2.2	Vergenz bei aufrechten gedrehten Wänden	138
7.2.3	Vergenz bei Objekten mit Tiefensprung	141
7.2.4	Vergenz bei Einzelobjekten	144
7.3	Exemplarische Vergenz und Tiefenrekonstruktion	145
8	Zusammenfassung und Ausblick	148
8.1	Zusammenfassung	148
8.2	Ausblick	150
	Literaturverzeichnis	151
	Index	163