

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Selbstorganisierende Karten	5
2.1	Aufbau und Funktionsprinzip selbstorganisierender Karten	7
2.2	Klassisches Lernen mit selbstorganisierenden Karten	9
2.2.1	Der Lernalgorithmus der selbstorganisierenden Karte	9
2.2.2	Markierung von Trainingsvektoren	11
2.2.3	Visualisierung der Anlernergebnisse	15
2.2.4	Anwendungen selbstorganisierender Karten	18
2.3	Kontinuierliches Lernen mit selbstorganisierenden Karten	21
2.3.1	Lernvorschrift und Karteneigenschaften	22
2.3.2	Die Lernstrategie	27
2.4	Bewertung selbstorganisierender Karten	31
2.5	Eine Softwareumgebung für selbstorganisierende Karten	39
3	Einbettung im Miniroboter	41
3.1	Lernszenario	41
3.1.1	Exploration der Umwelt des Roboters	43
3.1.2	Anforderungen an die Sensorik	44
3.2	Der Miniroboter Khepera	46
3.2.1	Antrieb des Roboters	48
3.2.2	Sensorik	50
3.2.3	Aufbau der Erweiterungshardware	55
3.2.4	Informationsverarbeitung auf dem Miniroboter	57
3.3	Lernen der selbstorganisierenden Karten auf dem Miniroboter	59

4	Positions- und Winkelbestimmung auf dem Khepera mit selbstorganisierenden Karten	63
4.1	Sendeschema der Signalgeber	64
4.2	Vorverarbeitung der Sensormuster	65
4.3	Positionsbestimmung	68
4.3.1	Auflösung der Positionsbestimmung	68
4.3.2	Analytische Positionsbestimmung	73
4.3.3	Auswertung der Sensormuster mit SOM	75
4.4	Winkelbestimmung	79
4.4.1	Analytische Winkelbestimmung	79
4.4.2	Auswertung der Sensormuster mit SOM	82
4.4.3	Auflösung der Winkelbestimmung	84
4.5	Weiterverarbeitung der Positions- und Winkeldaten	85
4.6	Bewertung	87
5	Kontinuierliches Lernen der Umgebung	89
5.1	Alternative Verfahren für kontinuierliches Lernen	89
5.1.1	Wachsenden Zellstrukturen (GCS)	91
5.1.2	Inkrementell wachsende Gitter (IGG)	92
5.1.3	BungySOM	94
5.1.4	Bewertung	96
5.2	Lernen von Clustern	97
5.3	Lernen von zusammenhängenden Strukturen	99
5.3.1	Lernszenario Umgebungslernen	101
5.3.2	Anforderungen an einen Miniroboter für das Lernen	104
5.4	Lernszenario ohne Signaltürme	105
5.4.1	Umgebungslernen mit lokalen Daten	106
6	Hardware für das kontinuierliche Lernen	111
6.1	Implementierung im Mikrocontroller	111
6.1.1	Positions- und Winkelbestimmung	112
6.1.2	Lernen der Umgebungskarte	113
6.2	Implementierung im FPGA-Modul	115

6.2.1	Hardwarestruktur	116
6.2.2	Sensorkranzansteuerung und Sensorauswertung	118
6.2.3	Merkmale für die Positions- und Winkelbestimmung	120
6.2.4	Abruf von Position und Winkel	121
6.2.5	Aufbereitung der Nah-Sensorwerte	122
6.2.6	Lernen der Umgebung	124
6.2.7	Kommunikation mit dem Mikrocontroller	130
6.2.8	Kommunikation mit einem Arbeitsplatzrechner	131
6.2.9	Ausführungszeiten und Energiebedarf	134
6.3	Skalierung der implementierten selbstorganisierenden Karten	135
6.4	Robotersteuerung mit einem Assoziativspeicher	138
6.5	Kontinuierliches Lernexperiment auf dem Miniroboter	140
6.5.1	Umweltszenario	140
6.6	Bewertung des Lernverfahrens	141
7	Zusammenfassung	145
	Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen	149
	Abbildungsverzeichnis	155
	Tabellenverzeichnis	159
	Literaturverzeichnis	161