

Steuerungsansätze auf der Basis Neuronaler Netze für sechsbeinige Laufmaschinen

von
Karsten Berns



infix

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Anforderungen an Steuerungsarchitekturen autonomer mobiler Systeme	1
1.2	Lernende Systeme zur Verhaltenssteuerung	3
1.3	Zielsetzung der Arbeit	5
1.4	Wahl der Laufmaschine für die Erprobung neuronaler Steuerungskonzepte	6
1.5	Aufbau der Arbeit	7
2	Grundlagen für die Steuerung einer sechsbeinigen Laufmaschine	9
2.1	Überblick über die Entwicklung von Laufmaschinen	9
2.2	Steuerung von natürlichen Laufbewegungen am Beispiel der Stabheuschrecke	14
2.3	Problemfelder bei der Realisierung von Laufmaschinen	19
2.4	Konzepte für die Realisierung der Beinsteuerung	22
2.5	Steuerungsarchitekturen für Laufmaschinen	24
2.5.1	Die Steuerungsarchitektur von MECANT I	24
2.5.2	Die Subsumption Architektur	26
2.6	Diskussion der traditionellen Ansätze zur Steuerung einer Laufmaschine	29
3	Neuronale Netze	31
3.1	Einführung in das Gebiet der Neuronalen Netze	31
3.1.1	Entwicklung und Stand der Forschung	32
3.1.2	Informationsverarbeitung im Gehirn	33
3.1.3	Ein allgemeines Modell für Neuronale Netze	36

3.2	Untersuchte Netztypen	41
3.2.1	Selbstorganisierende Merkmalskarten	42
3.2.2	Backpropagation-Netze	46
3.2.3	Jordan- und Elman-Netze	50
3.2.4	Das Q-Lernen	52
3.2.5	Qualitative Eigenschaften der vorgestellten Netztypen	56
3.3	Aufbau komplexer Steuerungssysteme mittels Neuronaler Netze	60
3.3.1	Strukturierung des Eingaberaumes	60
3.3.2	Strukturierung des Lösungsraumes	62
3.3.3	Strukturierung der Abbildung	64
4	Neuronale Steuerungsarchitektur für sechsbeinige Laufmaschinen	67
4.1	Hierarchisches Steuerungsmodell für die Navigation einer sechsbeinigen Laufmaschine	68
4.2	Ein hierarchisches Lernkonzept für die Bewegungssteuerung einer Laufmaschine	71
4.3	Optimierung der Steuerungsnetze	75
5	Beinsteuerung mit Neuronalen Netzen	79
5.1	Realisierung einer Beinsteuerung mit Selbstorganisierenden Merkmalskarten	81
5.1.1	Sensorische Karten zur Repräsentation einer Beintrajektorie	83
5.1.2	Das Lernverfahren zur Lösung des inversen dynamischen Problems	84
5.1.3	Das Online-Lernverfahren	88
5.1.4	Dynamiksteuerung des Roboterbeins	90
5.1.5	Diskussion der Beinsteuerung mit Selbstorganisierenden Merkmalskarten	94
5.2	Backpropagation-Ansätze für die Beinsteuerung	95
5.2.1	Kodierung der Ein- und Ausgabeparameter	96
5.2.2	Trainingsmenge für das Erlernen der Beinsteuerung	98
5.2.3	Einfaches Backpropagation-Netz zum Erlernen der Beintrajektorien	99
5.2.4	Backpropagation-Netz mit Zeitfenster	101
5.2.5	Elman- und Jordan-Netze	103
5.2.6	Diskussion der Backpropagation-Ansätze für die Beinsteuerung	107
5.3	Vergleich der beiden neuronalen Beinsteuerungsansätze	110

6 Erlernen der Beinkoordination	113
6.1 Aufgabe der Beinkoordination	113
6.2 Kodierung der Zustände und Steuerbefehle für die Beinkoordination	115
6.3 Beinkoordination mit Backpropagation-Netzen	117
6.3.1 Generierung von Trainingsdaten	118
6.3.2 Backpropagation-Netz mit diskreter Zustandskodierung	118
6.3.3 Vorstrukturiertes Backpropagation-Netz	120
6.3.4 Beinkoordination mit kontinuierlicher Zustandskodierung	124
6.3.5 Diskussion der Backpropagation-Ansätze zur Beinkoordination	126
6.4 Erlernen der Beinkoordination mit Hilfe des Q-Lernens	127
6.4.1 Zustandskodierung und eingesetzte Bewertungsfunktionen	128
6.4.2 Modifikation des Q-Lernens für die Beinkoordination	130
6.4.3 Versuchsergebnisse	133
6.5 Vergleich der Backpropagation-Ansätze mit dem Q-Lernen	135
7 Zusammenfassung und Ausblick	137
7.1 Ausblick und Erweiterungen	139
Anhang A: Definitionen zur Beschreibung von Laufvorgängen	143
Anhang B: Das Simulationssystem und die Simulationswerkzeuge	147
B.1 Aufbau des Simulationssystems	147
B.2 Das Dialogsystem	148
B.3 Die verwendeten Simulationen	152
B.4 Simulationswerkzeuge	155
B.5 Zustandsorientierter Simulator zum Testen der Beinkoordination	157
Anhang C: Beschreibung der experimentellen Laufmaschinen	161
C.1 Das INSECT-Modell	162
C.2 Die Laufmaschine LAURON	167
Symbolverzeichnis	173
Literatur	175
Stichwortverzeichnis	185