

Dipl.-Ing. Dipl.-Oec. Frank W. Peinemann,
Lilienthal

Neuronale Regelungs- konzepte zur senso- motorischen Koordination von Industrierobotern

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

Nr. **542**

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Zielsetzung	1
1.2 Überblick	2
2 Einsatzmöglichkeiten neuronaler Netze in der Industrierobotik	4
2.1 Abgrenzung zwischen autonomen und adaptiven Systemen	4
2.2 Anwendungsbereiche in der Industrierobotik	5
2.2.1 Roboter-Modellbildung	6
2.2.2 Robotersteuerung und -regelung	7
2.2.2.1 Stand der Technik in der Bewegungssteuerung und Antriebsregelung	7
2.2.2.2 Prozeßebenen der Bewegungskoordination	9
2.2.2.3 Visuomotorische Bewegungssteuerung	11
2.2.2.4 Kraft- und momentengeregelte Bewegungsführung	13
2.2.3 Unterstützung von Roboter-Objekt-Interaktionen	15
3 Grundlagen der neuronalen Informationsverarbeitung	18
3.1 Neuronale Signalverarbeitung biologischer Systeme	18
3.1.1 Struktur des Nervensystems	18
3.1.2 Das Neuron als zentrale Informationsverarbeitungseinheit	19
3.1.3 Informationsspeicherung auf der Grundlage der Synapsenplastizität	20
3.1.4 Informationsverarbeitung in sensorischen Systemen	21
3.1.5 Sensomotorische Bewegungskoordination natürlicher Systeme	22
3.2 Künstliche neuronale Informationsverarbeitung	24
3.2.1 Informationskodierung	24
3.2.2 Verarbeitungsprinzipien formaler Neuronen	25
3.2.3 Künstliche neuronale Verbindungsstrukturen	31
3.2.4 Neuronale Lernverfahren	33
3.2.5 Generalisierungs- und Approximationseigenschaften neuronaler Netzwerke	39

4 Analyse neuronaler Netzwerkmodelle und Lernverfahren	41
4.1 Das Perceptron	41
4.2 Der Error-Backpropagation-Algorithmus	42
4.3 Radiale Basis-Funktionen-Netzwerke	47
4.4 Sequenzverarbeitende Lernverfahren	51
5 Entwicklung von Konzepten und Simulationsuntersuchungen zur Systemidentifikation mit neuronalen Netzen	54
5.1 Neuronale Methoden zur Identifikation nichtlinearer dynamischer Systeme	54
5.2 Konzeption von Ersatzsystemen und modularen neuronalen Netzwerken	57
5.3 Durchführung der Simulationsstudie	60
5.3.1 Verbessern des Netzwerktrainings durch Lernratenanpassung	62
5.3.2 Einfluß der Netzwerkstruktur	66
5.3.3 Einfluß der Dimension des Eingangsvektors	66
5.3.4 Eignung einfacher und modularer Systemidentifikationskonzepte	67
5.3.5 Einfluß des Gain und der Lernraten	68
5.3.6 Zweistufige Lernverfahren	68
5.3.7 Vorzeitiger Abbruch der Lernphase	69
5.3.8 Überprüfung der Stabilitätseigenschaften	69
5.3.9 Identifikation der Systeminversen	70
5.3.10 Ergebnisübersicht der neuronalen Systemidentifikation	72
6 Entwicklung und Analyse neuronaler Steuer- und Regelungskonzepte	73
6.1 Klassifizierung neuronaler Steuer- und Regelungsverfahren	73
6.2 Analyse direkter neuronaler Steuer- und Regelungskonzepte	75
6.2.1 Trainingsverfahren zur neuronalen Vorsteuerung	75
6.2.1.1 Indirektes Lernschema	76
6.2.1.2 Generalisiertes Lernschema	77
6.2.1.3 Spezialisiertes Lernschema	77
6.2.2 Inverse Transfermatrix-Regelung	79
6.2.3 Feedback-Error-Regelung	80
6.3 Analyse indirekter neuronaler Steuer- und Regelungskonzepte	84
6.3.1 Indirekte inverse Regelung	84
6.3.2 Indirekte Feedback-Error-Regelung	87
6.3.3 Interne Modellregelung	89

7 Experimentelle Erprobung neuronaler Regelungskonzepte zur sensomotorischen Bewegungsführung eines Portalroboters	94
7.1 Systembeschreibung	95
7.1.1 Der Portalroboter	95
7.1.2 Steuerungsarchitektur	97
7.1.3 Sensorkopplung	99
7.2 Erprobung einer neuronalen distanz- und kraftgeregelten Konturverfolgung	100
7.2.1 Versuchsaufbau	100
7.2.2 Netzwerk-Training	105
7.2.3 Implementierung direkter Regelungskonzepte	106
7.2.3.1 Konventionelle Regelung	106
7.2.3.2 Konventionelle Regelung mit neuronaler Kennwertanpassung	108
7.2.3.3 Inverse Transfermatrix-Regelung	110
7.2.3.4 Feedback-Error-Regelung	114
7.2.4 Implementierung indirekter Regelungskonzepte	117
7.2.4.1 Indirekte inverse Regelung	117
7.2.4.2 Indirekte Feedback-Error-Regelung	120
7.2.4.3 Interne Modellregelung	123
7.2.5 Schlußbemerkungen	125
7.3 Neuronale Unterstützung der Roboter-Objekt-Interaktion	126
8 Zusammenfassung	129
Anhang	131
A1. Übersicht neuronaler Netzwerkmodelle	131
A2. Herleitung und Beschleunigung des Backpropagation-Algorithmus	134
A3. Selbstorganisierende neuronale Netzwerkmodelle	139
A4. Trainieren Radialer-Basis-Funktionen-Netzwerke	145
A5. Nichtlineare Differenzgleichungen als Ersatzsysteme zur Systemidentifikation	147
A6. Einfluß neuronaler Netzwerkstrukturen und Lernverfahren auf die Systemidentifikation	150
A7. Ergebnisübersicht der Konturverfolgung	155
Literaturverzeichnis	157