

Dipl.-Ing. Mathias Kluwe, Karlsruhe

**Ereignisdiskrete  
Beobachter  
zur modellbasierten  
Prozeßführung**

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

Nr. **633**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Modellbasierte Prozeßführung</b>	<b>5</b>
2.1	Struktur der modellbasierten Prozeßführung . . . . .	5
2.2	Modelle zur Prozeßführung . . . . .	7
2.2.1	Klassifizierung von Prozeßmodellen . . . . .	7
2.2.2	Ein hybrides Mehrebenenmodell . . . . .	10
2.3	Modellkorrektur bei der Prozeßführung . . . . .	13
2.4	Steuerungen bei der Prozeßführung . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Ereignisdiskrete Systembeschreibungen</b>	<b>18</b>
3.1	Automaten . . . . .	18
3.2	Petri-Netze . . . . .	21
3.2.1	Mengen-/Graphentheoretische Beschreibung . . . . .	21
3.2.2	Algebraische Netzbeschreibung . . . . .	25
3.2.3	Erweiterungen der algebraischen Netzbeschreibung . . . . .	26
3.3	Eigenschaften und Analyse von Petri-Netzen . . . . .	29
3.3.1	Klasseneinteilung von Petri-Netzen . . . . .	29
3.3.2	Dynamische Eigenschaften von Petri-Netzen . . . . .	32
3.3.3	Modellierung mit Petri-Netzen . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Ereignisdiskrete Beobachtung</b>	<b>39</b>
4.1	Beobachtung zeitdiskreter Systeme . . . . .	39
4.2	Beobachtung ereignisdiskreter Systeme . . . . .	42
4.2.1	Bekannte Ansätze zur ereignisdiskreten Beobachtung . . . . .	42
4.2.2	Aufgabe und Definition ereignisdiskreter Beobachtung bei Petri- Netzen . . . . .	44

<b>5</b>	<b>Analyse von Petri-Netz-Modellen auf strukturelle Rekonstruierbarkeit</b>	<b>49</b>
5.1	Strukturelle Rekonstruierbarkeit und Analysevoraussetzungen . . . . .	49
5.2	Ablauforientierte Petri-Netz-Modelle . . . . .	51
5.2.1	Zustandsmaschinen . . . . .	52
5.2.2	Synchronisationsgraphen . . . . .	58
5.2.3	Free-Choice-Netze . . . . .	67
5.2.4	Allgemeine Petri-Netze und Meßbarkeit von Ereignissen . . . . .	73
5.3	Zustandsgrößenorientierte Petri-Netz-Modelle . . . . .	74
5.3.1	Zusätzliche Analysevoraussetzungen . . . . .	75
5.3.2	Gitter-Transformation für die Analyse . . . . .	76
5.3.3	Strukturelle Rekonstruierbarkeitskriterien . . . . .	80
5.4	Zusammenfassung . . . . .	85
<b>6</b>	<b>Synthese ereignisdiskreter Beobachter</b>	<b>87</b>
6.1	Aufgaben der Korrekturkomponente und Synthesevoraussetzungen . . . . .	87
6.2	Korrektur mit globaler Zustandsrekonstruktion . . . . .	90
6.2.1	Globale Zustandsrekonstruktion durch einen Automaten . . . . .	91
6.2.2	Eigenschaften der globalen Zustandsrekonstruktion . . . . .	99
6.2.3	Markierungsauswahl bei der Korrektur . . . . .	103
6.2.4	Ablauf der Korrektur mit globaler Zustandsrekonstruktion . . . . .	104
6.3	Korrektur mit lokaler Zustandsrekonstruktion . . . . .	107
6.3.1	Lokale Zustandsrekonstruktion durch Baumsuche . . . . .	108
6.3.2	Ablauf der Korrektur mit lokaler Zustandsrekonstruktion . . . . .	114
6.4	Vergleich der Beobachtersyntheseverfahren . . . . .	116
6.5	Zusammenfassung . . . . .	120

<b>7</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b>	<b>121</b>
7.1	Beratungssystem für einen nuklearen Forschungsreaktor . . . . .	121
7.1.1	Vollständiges Modell des Reaktors . . . . .	124
7.1.2	Rekonstruierbarkeitsanalyse eines Reaktor-Teilmodells . . . . .	126
7.1.3	Beobachtung und Beratung anhand eines Reaktor-Teilmodells - Lokaler Beobachter . . . . .	131
7.2	Laboranlage eines Fertigungssystems . . . . .	135
7.2.1	Rekonstruierbarkeitsanalyse eines Modells des Fertigungssystems ohne Alternativen . . . . .	137
7.2.2	Beobachtung anhand eines Modells des Fertigungssystems mit Alternativen - Globaler Beobachter . . . . .	141
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>149</b>
<b>A</b>	<b>Anhang: Relationen und Graphen</b>	<b>151</b>
A.1	Relationen . . . . .	151
A.2	Graphen von Relationen . . . . .	153
A.3	Eigenschaften von Graphen . . . . .	156
	<b>Literatur</b>	<b>161</b>