

M.Sc. Wei Sun, Karlsruhe

# **Optimale Steuerung verteilter, ereignisdiskreter Systeme**

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

Nr. **628**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b> .....	1
<b>2. Grundlagen verteilter ereignisdiskreter Systeme</b> .....	4
2.1. Verteilte Systeme .....	4
2.2. Ereignisdiskrete Systeme (DES) .....	6
2.3. Anwendung von DES .....	7
2.3.1. Natürliche diskrete Ereignisse .....	7
2.3.2. Auswahl der Steuerparameter .....	8
2.4. Steuerung verteilter Systeme .....	9
<b>3. System-Modellierung</b> .....	11
3.1. Basismodelle ereignisdiskreter Systeme (basic model) .....	13
3.2. Praktische Modelle und ihre Klassifizierung .....	16
3.3. Anforderungen an die Modellierung von verteilten Systemen .....	18
3.4. Häufig angewendete Modelle .....	19
3.4.1. Automatenmodelle .....	20
3.4.2. Markov-Ketten-Modelle .....	20
3.4.3. Warteschlangen-Netz-Modelle .....	21
3.4.4. Petrinetz-Modelle .....	22
3.4.5. Rechnerbasierte Simulationsmodelle .....	22
<b>4. Petrinetze</b> .....	24
4.1. Grundlagen der Petrinetz-Theorie .....	24
4.2. Zeitbewertete Petrinetze .....	28
4.3. Gefärbte Petrinetze (coloured PN, CPN) .....	30
4.4. Synchronisierte Petrinetze und Zustandsbeobachter .....	33
<b>5. Steuerung ereignisdiskreter Systeme</b> .....	37
5.1. Lokale Entscheidung nach frühester Endezeit des letzten Vorgangs .....	38
5.2. Lokale Entscheidung nach Länge der Planverschiebung .....	41
5.3. Globale Optimierung in verteilten Systemen .....	43
<b>6. Dynamische Optimierung</b> .....	48
6.1. Erzeugung eines Zustandsbaumes aus dem Zustandsübergangsgraphen .....	50
6.2. Bellmansches Optimalitätsprinzip und Bellmansche Funktionalgleichung .....	54
6.2.1. Determinische Übergangskosten .....	54
6.2.2. Stochastische Übergangskosten .....	60
6.3. Adaptive Entscheidungsprozesse mit zeitvarianten Kostenmaßen .....	61
6.4. Markov-Entscheidungsprozesse .....	66
6.5. Entscheidungsbäume in verteilten Systemen .....	70

<b>7. Konfliktauflösung in verteilten Systemen</b> .....	74
7.1. Belegungskonflikte durch überlappende Belegungswünsche .....	76
7.2. Konfliktlösung durch erweiterte Entscheidungs bäume .....	83
7.2.1. Wertfunktionen der Belegungswunschfolgen .....	83
7.2.2. Kostenerfassung für einen einzelnen Belegungswunsch .....	85
7.2.3. Erweiterter Entscheidungsbaum .....	87
7.3. Verwaltung der erweiterten Entscheidungs bäume .....	89
7.4. Entkopplung der Baumknoten .....	91
7.4.1. Entkopplung der Baumknoten durch serielle Berechnung der Wertfunktionen .....	94
7.4.2. Iterative Näherungen der Wertfunktionen .....	95
7.5. Störungen auf die Entscheidungsprozesse .....	97
7.5.1. Ursache der Störungen .....	98
7.5.2. Diskontierung der Wertfunktionen .....	100
7.5.3. Filterung der Wertfunktionen .....	101
7.6. Steuerparameter des verteilten Optimierungsverfahrens .....	103
7.7. Anwendungsmöglichkeiten des erweiterten Entscheidungsbaumes .....	104
7.7.1. Minimierung aller Wartezeiten .....	104
7.7.2. Verteilte Regelung auf einen vorgegebenen Zeitplan .....	105
7.8. Zusammenfassung .....	107
<b>8. Objektorientierte Simulation</b> .....	108
8.1. Objektorientierte Programmieren .....	109
8.2. Modellierung mit rechnerbasierten Modellen .....	112
8.2.1. Hierarchische Simulationsstruktur .....	112
8.2.2. Basismodelle und Simulatoren .....	113
8.2.3. Gekoppelte Modelle und Koordinator .....	118
8.2.4. Simulation des Gesamtsystems .....	121
8.3. Regelungen in Simulationsmodellen .....	122
8.4. Zusammenfassung .....	124
<b>9. Anwendungsbeispiel</b> .....	125
9.1. Zugsteuerung in einem Eisenbahnnetz .....	125
9.2. Mögliche Zielfunktionen .....	128
9.3. Modell einer Stationsressource .....	129
9.4. Stationsmodell .....	131
9.5. Simulation und Ergebnisse .....	134
9.5.1. Ergebnisse für kleine Verspätungen .....	135
9.5.2. Ergebnisse für größere Verspätungen .....	137
<b>10. Zusammenfassung</b> .....	140
<b>Formelzeichen</b> .....	142
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	145