

Dipl.-Ing. Carsten Jörns, Saarbrücken

**Ein integriertes  
Steuerungsentwurfs- und  
Verifikationskonzept  
mit Hilfe interpretierter  
Petri-Netze**

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

Nr. **641**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Häufig verwendete Abkürzungen und Symbole .....</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Stand der Technik.....	1
1.3 Zielsetzung dieser Arbeit.....	2
1.4 Übersicht über die vorliegende Arbeit .....	4
<b>2 Abgrenzung einer Steuerung .....</b>	<b>5</b>
2.1 Steuerungen im Ebenenmodell der Automatisierungstechnik.....	5
2.2 Darstellung einer Steuerung .....	7
2.2.1 Der Steuerungsbegriff .....	7
2.2.2 Informationsfluß einer Steuerung.....	9
2.2.3 Standardisierte Darstellungsarten von Steueralgorithmen .....	10
2.3 Zusammenfassende Betrachtung .....	12
<b>3 Petri-Netze als Modellbasis für Steuerungen .....</b>	<b>15</b>
3.1 Grundlagen der Petri-Netze .....	15
3.1.1 Grundgedanken des Petri-Netz-Konzepts .....	15
3.1.2 Aufbau und Dynamik von Petri-Netzen.....	15
3.1.3 Varianten der Petri-Netze.....	18
3.1.4 Gängige Strukturen von Petri-Netzen .....	20
3.1.5 Algebraische Darstellung von Petri-Netzen .....	22
3.2 Analysemöglichkeiten für Petri-Netze .....	23
3.2.1 Ziele einer Petri-Netz-Analyse.....	23
3.2.2 Dynamische Eigenschaften der Petri-Netze .....	24
3.2.3 Graphentheoretische Analyse.....	26
3.2.4 Algebraische Analyse.....	27
3.3 Syntaktische Erweiterungen der Petri-Netze.....	28
3.3.1 Notwendigkeit der syntaktischen Erweiterungen.....	28
3.3.2 Zeitbewertete Petri-Netze.....	29
3.3.3 Synchronisierte Petri-Netze.....	33
3.3.4 Interpretierte Petri-Netze (IPN).....	34

<b>4 Steuerungsmodelle mit interpretierten Petri-Netzen .....</b>	<b>37</b>
4.1 Anforderungen an Steuerungsmodelle .....	37
4.2 Semantik verschiedener Petri-Netze.....	38
4.2.1 Semantikbegriff in bezug auf Petri-Netze.....	38
4.2.2 Semantik bekannter Petri-Netz-Modelle.....	38
4.2.3 Externer Informationsfluß.....	39
4.2.4 Semantik interpretierter Petri-Netze.....	41
4.3 Technologisch interpretierte Petri-Netze.....	42
4.3.1 Konkretisierung der Interpretation .....	42
4.3.2 Korrektheitskriterien für IPN .....	44
4.3.3 Formale Überprüfung eines IPN .....	47
4.4 Steuerungstechnisch interpretiertes Petri-Netz.....	49
4.5 Normenkonformer Entwurf von SIPN-Steueralgorithmen .....	50
4.6 Ereignisdiskrete Prozeßmodellierung.....	51
4.7 Prozeßbezogen interpretiertes Petri-Netz .....	54
4.7.1 Festlegung der konkreten Interpretation.....	54
4.7.2 Systematische Erstellung transparenter PIPN .....	54
4.7.3 Streckentypen und zugehörige charakteristische Teil-PIPN.....	58
4.7.4 Petri-Netz-Eigenschaften der PIPN.....	61
4.8 Vergleich der PIPN mit bekannten IPN Prozeßmodellen .....	63
4.8.1 Eine Vergleichsbasis .....	63
4.8.2 Vergleichende Diskussion von Bild 4.6 und der IPN Prozeßmodelle a) bis c).....	65
4.8.3 Resümee des Vergleichs.....	67
4.9 Bestandsaufnahme.....	68
<b>5 Gesamtmodell der Steuerung aus SIPN und PIPN.....</b>	<b>69</b>
5.1 Grundgedanke des Gesamtmodells .....	69
5.2 Verfeinerte und externe Stellen.....	70
5.3 Auflösen einfacher Schaltbedingungen.....	71
5.3.1 Elementare Schaltbedingung.....	71
5.3.2 UND-Verknüpfung.....	72
5.3.3 ODER-Verknüpfung .....	72
5.3.4 NICHT-Operation .....	73

5.3.5 Mehrfach vorkommende Aktionen und Stellen mit mehreren Aktionen.....	74
5.4 Auflösen beliebiger Schaltbedingungen.....	77
5.5 Ereignisse und zeitbehaftete Vorgänge.....	79
5.6 Funktionshierarchie.....	80
5.7 Überblick über die Gesamtmodellmethoden.....	81
<b>6 Analogien zwischen IPN und der Supervisory Control Theory.....</b>	<b>83</b>
6.1 Zum Nutzen der Theorie allgemeiner ereignisdiskreter Systeme.....	83
6.2 Einführung in die Theorie der DES.....	83
6.3 Supervisorbasierte Steuerung.....	86
6.4 Der geschlossene Wirkungsweg der supervisorbasierten Steuerung.....	88
6.5 VDES als Erweiterung der DES.....	88
6.6 VDES Generator.....	89
6.7 VDES und IPN.....	91
6.8 Steuerbarkeit.....	93
6.9 Beobachtbarkeit.....	94
6.10 IPN und das Gesamtmodell als Umsetzung der VDES Supervisory Control.....	95
<b>7 Verifikation entworfener Steuerungen.....</b>	<b>97</b>
7.1 Prinzip und Methoden.....	97
7.2 Voranalyse.....	98
7.2.1 Ergebnisse aus der Gesamtmodellbildung.....	98
7.2.2 Formale Überprüfung.....	99
7.3 Analytische Verifikation am Gesamtmodell.....	100
7.3.1 Hintergrund und Methoden der Analyse.....	100
7.3.2 Korrektheitskriterien der IPN-Teile.....	101
7.3.3 Lebendigkeit.....	104
7.3.4 Semipositive Invarianten.....	105
7.3.5 Sicherheit.....	106
7.4 Grenzen bei der Analyse zeitbewerteter Petri-Netze.....	107
7.5 Performance-Analyse.....	108
7.6 Zusammenstellung der Verifikationsmethoden.....	110

---

<b>8 Anwendungsbeispiel Fertigungsanlage.....</b>	<b>113</b>
8.1 Beschreibung der Fertigungsaufgabe .....	113
8.2 Strukturhierarchischer Entwurf .....	114
8.3 Ein Konzept zum Entwurf flexibler Fertigungen .....	116
8.4 Verifikation der beiden Entwürfe .....	119
8.5 Bewertung des integrierten Gesamtkonzepts .....	121
<b>9 Zusammenfassung.....</b>	<b>123</b>
<b>10 Anhang.....</b>	<b>125</b>
Anhang A - Der Action Control Block der Ablaufsprache .....	125
Anhang B - Ein Beispielnetz .....	127
Anhang C - Beispiele zu Momentenerzeugenden MGF.....	129
Anhang D - Zeitverläufe der AS-Zeitfunktionen .....	134
Anhang E - Umsetzung der Zeitfunktion „Intervall“ .....	135
Anhang F - Umsetzung der gespeichert und zeitgesteuert ausgeführten AS-Aktionen ..	136
<b>11 Literatur .....</b>	<b>137</b>
<b>Index.....</b>	<b>145</b>