

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	EINE Klassifikation von Petri-Netz-Klassen	5
2.1	Grobklassifikation	6
2.2	Feinklassifikation	6
2.2.1	Stellen-Parameter	7
2.2.2	Transitions-Parameter	7
2.2.3	Kanten-Parameter	10
2.2.4	Markenidentifikations- und Markenstruktur-Parameter	12
2.2.5	Stochastische Parameter	18
2.3	Zusammenfassung	21
2.4	Klassifikation gängiger Netzklassen	22
3	EINE Klassifikation von Spezifikations- und Analysemethoden für Petri-Netze	24
3.1	Spezifikations-Schnittstelle	24
3.1.1	Netzeditor	24
3.1.2	Konstruktions-Unterstützung für große Netze	26
3.1.3	Operationen auf Subnetzen	27
3.1.4	Speicherung von und Zugriff auf Netze	27
3.2	Invariante-Analyse	28
3.3	Erreichbarkeits-Analyse	29
3.3.1	Konstruktion des Erreichbarkeits-Graphen	29
3.3.2	Dynamische funktionelle Validation durch Erreichbarkeits-Analyse	32
3.3.3	Quantitative Validation auf Erreichbarkeits-Graphen durch Markovketten-Analyse	33
3.4	Diskrete Simulation	34
3.5	Programm- und Netz-Generation	37
3.6	Netz-Reduktion	38

4 KLASIFIKATION UND BEWERTUNG EXISTIERENDER PETRI-NETZ-WERKZEUGE	39
4.1 Beschreibungs-Katalog für Petri-Netz-Werkzeuge	39
4.2 Klassifikation und Bewertung existierender Werkzeuge auf höheren Petri-Netzen	43
4.3 Zusammenfassung	65
5 AUSWAHL GEEIGNETER PETRI-NETZ-WERKZEUGE	66
5.1 Werkzeuge zur graphischen Netzkonstruktion	66
5.2 Werkzeuge zur strukturellen funktionellen Validation durch Invarianten-Analyse	67
5.3 Werkzeuge zur dynamischen funktionellen Validation durch Erreichbarkeits-Analyse	68
5.4 Werkzeuge zur quantitativen Validation durch Markovketten-Analyse	69
5.5 Werkzeuge zur quantitativen Validation durch Simulation	70
5.6 Werkzeuge zur Programm-Generation und zur Netzreduktion	71
5.7 Zusammenfassung	72
6 FUNKTIONALITÄT UND BENUTZEROBERFLÄCHE DES PETRI-NETZ-WERKZEUGES 'PROVER'	73
6.1 Überblick über das Petri-Netz-Werkzeug 'PROVER'	73
6.2 Modellbeschreibung eines Multi-tasking Monitors	75
6.2.1 Informelle Beschreibung	76
6.2.2 PDL-Spezifikation	79
6.3 Ergebnisse der Erreichbarkeitsanalyse	85
6.3.1 Stellen- und Variablen-Information	88
6.3.2 Dynamisches Verhalten von Transitionen	90
6.3.3 Starke Zusammenhangs-Komponenten	93
6.3.4 Anfragen zur Selektion von Markierungs-Teilmengen	100
6.3.5 Fehler-Erkennung: Kapazitäts-Überlauf	102
6.3.6 Fehler-Erkennung: tote Stellen und Transitionen	104
6.3.7 Fehler-Erkennung: Deadlocks bzw. Endzustände	104

6.3.8 Fehler-Erkennung: Livelocks	108
6.3.9 Reproduzierbare Markierungen	115
6.3.10 Homezustände	119
6.3.11 Gemeinsame Folgezustände	120
6.3.12 Konflikte zwischen Transitionen	121
 6.4 Ergebnisse der S-Invarianten-Analyse	128
 7 AUSBLICK	130
7.1 Fortgeschrittene Spezifikationsprachen für höhere Netze	130
7.1.1 Erweiterung der PDL um höhere funktionale Konstrukte	130
7.1.2 Hierarchische Netzspezifikation	131
7.2 Fortgeschrittene Analysemethoden auf höheren Netzen	132
7.2.1 Neue Konstruktionsverfahren für Erreichbarkeitsgraphen	132
7.2.2 Analyse von Synchronie- und Fairness-Eigenschaften	133
7.2.3 Analyse toter dynamischer Netzteile (gefrorene Marken)	134
7.2.4 Programm- und Netz-Generierung	134
7.3 Fortgeschrittene integrierte Petri-Netz-Werkzeuge	135
8 ANHANG A: PROVER-ONLINE-DOKUMENTATION	137
8.1 PROVER-Kommandos	137
8.2 PDL-Compiler 'PDLC'	138
8.3 Erreichbarkeitsgraph-Generator 'RGG'	140
8.4 Erreichbarkeitsgraph-Anfragesystem 'RGI'	142
9 ANHANG B: SYNTAX UND SEMANTIK DER SPEZIFIKATIONSSPRACHE 'PDL' (PREDICATE/TRANSITION NET DESCRIPTION LANGUAGE)	148
9.1 In PROVER realisierte PDL	148
9.2 Entwurf einer erweiterten PDL	164
10 ANHANG C: DEFINITION UND EIGENSCHAFTEN DER PRÄDIKAT/TRANSITIONS-NETZE	171
10.1 Prädikatenlogische und mengentheoretische Grundlagen	173
10.2 Prädikat/Transitions-Netz	182
10.3 Erreichbarkeits-Graph	194
10.4 Konflikte und Kontakte	197
10.5 Starke Zusammenhangs-Komponenten	200
10.6 Lebendigkeits-Eigenschaften	203
10.7 Fairness-Eigenschaften	214
10.8 Gefrorene Marken	219
10.9 Abbildungen der Beispiele	223
 ANHANG D GLOSSAR	231
 LITERATURVERZEICHNIS	248

ABBILDUNGEN UND TABELLEN

Tab. 1–1 :	Petri-Netz-Werkzeuge	4
Abb. 2.2.2–1 :	Transitions- und Kanten-Parameter: Anwendungsbeispiele	9
Abb. 2.2.4–1 :	Petri-Netz mit strukturierten Marken: Anwendungsbeispiel	13
Abb. 2.2.4–2 :	Petri-Netz mit FIFO-Stellenzugriff: Anwendungsbeispiel	15
Abb. 2.2.4–3 :	Partielle Schaltregel: Anwendungsbeispiel	17
Tab. 2.4–1 :	Klassifikation der Petri-Netze	22
Abb. 3.1.1–1 :	Integration eines Petri-Netz-Werkzeuges in eine Software-Produktionsumgebung	25
Abb. 3.3.1–1 :	Analysemethoden auf dem Erreichbarkeits-Graphen	30
Tab. 4.3–1 :	Klassifikation und Bewertung von Petri-Netz-Werkzeugen	65
Tab. 5.1–1 :	Werkzeuge zur graphischen Netzkonstruktion	66
Tab. 5.3–1 :	Werkzeuge zur Erreichbarkeits-Analyse	68
Tab. 5.4–1 :	Werkzeuge zur Markovketten-Analyse	70
Abb. 6.1–1 :	Interne Struktur des Petri-Netz-Werkzeuges PROVER	74
Abb. 6.2–1 :	PRT-Modell eines Multi-tasking Monitors	76
Abb. 9.2–1 :	Anwendungsbeispiele der vordefinierten Funktionen <i>min</i> , <i>max</i> , <i>first</i> , <i>last</i>	167
Abb. 10.9–1 :	Äquivalente Darstellungsarten von Kanten- und Transitions-Inschriften eines Prädikat/Transitions-Netzes	223
Abb. 10.9–2 :	Ein Prädikat/Transitions-Netz und dessen Erreichbarkeits-Graph	224
Abb. 10.9–3 :	Ein inkonsistentes Prädikat/Transitions-Netz	225
Abb. 10.9–4 :	Ein stark nebenläufiges Prädikat/Transitions-Netz	225
Abb. 10.9–5 :	Ein Prädikat/Transitions-Netz. \oplus ist die modulo-2-Addition	226
Abb. 10.9–6 :	Ein Stellen/Transitions-Netz	227
Abb. 10.9–7 :	Ein nicht verklemmungsfreies Stellen/Transitions-Netz	228
Abb. 10.9–8 :	Ein konflikt-behaftetes, lebendiges, schwach faires Prädikat/Transitions-Netz	229
Abb. 10.9–9 :	Ein Prädikat/Transitions-Netz mit einer gefrorenen Marke	230
Abb. 10.9–10 :	Beispiel zur Äquivalenz von Substitutionen	230