

Dipl.-Ing. Wilhelm Ruckdeschel, Aachen

Modellierung regel- basierten Pilotenverhaltens mit Petrinetzen

Reihe **12**: Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Nr. **335**

Inhalt

1	Einführung	1
1.1	Versagen von Mensch-Maschine-Systemen	1
1.2	Grundforderungen an Assistenzsysteme	2
1.3	Cockpitassistenzsystem CASSY	3
1.4	Ziel und Aufbau der Arbeit	5
2	Stand der Technik	7
2.1	Methodik der Modellierung	7
2.2	Modellierung menschlichen Verhaltens	12
2.3	Methoden und Anwendungen zur Modellierung dynamischen Systemverhaltens	15
2.3.1	Logik	18
2.3.1.1	Aussagenlogik	18
2.3.1.2	Prädikatenlogik	19
2.3.1.3	Temporale Logik	20
2.3.1.4	Fuzzy Logik.....	21
2.3.2	Regelungstheorie.....	22
2.3.2.1	Quasilineare Modelle	22
2.3.2.2	Optimaltheoretische Modelle	24
2.3.2.3	Fuzzy Control.....	26
2.3.3	Neuronale Netze	27
2.3.4	Automatentheorie und formale Sprachen	29
2.3.4.1	Formale Grammatiken	29
2.3.4.2	Endliche Automaten	32
2.3.5	Softwareentwicklung	34
2.3.5.1	Dekompositionsdiagramme	34
2.3.5.2	Entscheidungstabellen und -bäume	34
2.3.5.3	Datenflußdiagramme.....	37
2.3.5.4	Strukturierte Analyse / RT	38
2.3.6	"Künstliche Intelligenz"	39
2.3.6.1	Rahmen und semantische Netze	39
2.3.6.2	Skripte.....	40
2.3.6.3	Produktionensysteme	42
2.3.6.4	Zusammenfassung.....	48

2.3.7	Modellierung verteilter Systeme	49
2.3.7.1	Prozeßalgebren und parallele Sprachen.....	49
2.3.7.2	Petrinetze	50
2.3.7.3	Statecharts	53
2.3.8	Stochastische Prozesse	54
2.3.8.1	Markoff-Modelle	54
2.3.8.2	Stochastische und zeitbewertete Petrinetze.....	55
2.3.8.3	Warteschlangen	55
2.3.9	Kombinierte Modelle.....	57
2.3.10	Zusammenfassung	62
3	Anforderungsdefinition	63
3.1	Wissensakquisition.....	63
3.1.1	Methoden und Probleme der Wissensakquisition.....	63
3.1.2	Verwendete Wissensquellen und Verfahren.....	66
3.2	Aufgabenanalyse	67
3.2.1	Aufgabenanalysen von Pilotenverhalten	67
3.2.2	Ergebnisse der Aufgabenanalyse	69
3.3	Festlegung des Beschreibungsmittels	71
3.3.1	Auswahlkriterien.....	71
3.3.2	Methodenauswahl	72
4	Petrinetze.....	75
4.1	Petrinetz-Theorie	75
4.1.1	Grundbegriffe	75
4.1.2	Netze aus Bedingungen und Ereignissen.....	77
4.1.3	Netze aus Stellen und Transitionen	80
4.1.4	Analysetechniken für Netze aus Stellen und Transitionen	83
4.1.5	Eigenschaften von Netzen aus Stellen und Transitionen	84
4.1.6	Teilklassen von Netzen aus Stellen und Transitionen.....	86
4.1.7	Netze mit individuellen Marken.....	86
4.1.8	Erweiterte Netzklassen.....	87
4.1.9	Interpretierte Petrinetze	87
4.1.10	Prozeßschnittstelle	88
4.2	Verwendete Netzklasse.....	89
4.2.1	Auswahl der Netzklasse	89
4.2.2	Graphische Darstellung	90
4.3	Kopplung der Teilmodelle	91

5 Modellierung im Großen	93
5.1 Dekompositionskonzepte	93
5.1.1 Anforderungen an Dekompositionskonzepte	94
5.1.1 Dekomposition in der Softwareentwicklung	94
5.1.3 Dekomposition in Petrinetzen	95
5.1.4 Diskussion	103
5.2 Verwendetes Dekompositionskonzept	105
5.2.1 Dekomposition ohne Nebenläufigkeit	105
5.2.2 Dekomposition mit Rücksetzkonstruktion	107
5.2.3 Dekomposition mit erweiterter Nebenläufigkeit.....	109
5.2.4 Unternetzbaustein.....	110
5.3 Modellstruktur	112
5.3.1 Grundlegende Struktur.....	112
5.3.2 Funktionale Modelltypen	115
5.3.3 Struktur des Gesamtmodells	117
6 Modellierung im Kleinen	119
6.1 Teilmodelle zur Situationsklassifikation.....	119
6.1.1 Klassifikation der Flugphase.....	119
6.1.2 Klassifikation der Flugphase im Anflug	121
6.2 Teilmodelle von Handlungsabläufen.....	125
6.2.1 Teilmodell der Kursführung	125
6.2.2 Intercept-Prozedur	126
6.2.3 Teilmodell der Klappenbedienung	131
6.2.4 Klappenbedienung im Anflug.....	132
6.3 Teilmodelle zur Kopplung	134
6.4 Teilmodelle zur Systemsteuerung	136
7 Implementierung	139
7.1 Werkzeuge	139
7.1.1 Graphischer Editor	140
7.1.2 Parser	140
7.1.3 Interpreter	140
7.1.4 Monitor.....	143
7.1.5 Sonstige Werkzeuge.....	143
7.2. Struktur des Laufzeitsystems.....	146
7.3 Umfang des Modells	147

8 Verifikation	149
8.1 Bewertungskonzept	150
8.2 Grundlegende Eigenschaften der Teilnetze	151
8.3 Untersuchung gekoppelter Teilnetze	152
8.3.1 Analyse mit Erreichbarkeitsgraph.....	153
8.3.2 Analyse mit Model-Checker	154
8.4 Korrektheitsnachweis ausgewählter Modellaspekte	155
8.4.1 Analyse eines Teilmodells zur Situationsklassifikation.....	157
8.4.2 Analyse eines Teilmodells eines Handlungsablaufs	160
8.5 Grenzen der formalen Nachweisführung.....	164
9 Validation	166
9.1 Bewertungskonzept	166
9.2 Versuchsdurchführung	168
9.2.1 Szenario	168
9.2.2 Versuchsumgebung	169
9.2.3 Versuchspersonen.....	171
9.2.4 Versuchsplan	172
9.3 Ergebnisse	172
9.3.1 Validität von Schaltnebenbedingungen	173
9.3.1.1 Bedienung der Klappen im Anflug und beim Durchstarten	173
9.3.1.2 Bedienung des Fahrwerks im Anflug und beim Durchstarten	176
9.3.1.3 Höhenprofil beim Wechsel der Flughöhe	178
9.3.1.4 Kursverhalten bei Radarführung.....	180
9.3.2 Überdeckung der Netzstruktur.....	181
9.3.2.1 Situationsklassifikation im Anflug	181
9.3.2.2 Bedienung der Klappen im Anflug	182
9.3.3 Zusammenfassung	183
10 Zusammenfassung und Ausblick	185
Anhang	188
Literatur	197