

Inhaltsverzeichnis

VORWORT.....	1
1 VERTEILTE EREIGNISDISKRETE SYSTEME.....	3
1.1 Ereignisdiskrete Systeme (DES)	3
1.2 Verteilte Systeme	6
1.3 Verteilte Steuerungen.....	8
1.3.1 Hierarchische Steuerungen	8
1.3.2 Verteilte kooperative Steuerungen	9
1.3.3 Echtzeit und Lokalität.....	11
2 SYSTEM-MODELLIERUNG	13
2.1 Modell-Klassifikation.....	13
2.2 Modellierung verteilter Systeme	17
2.3 Modellierung ereignisdiskreter Systeme.....	19
2.3.1 Zustandsmodelle	19
2.3.2 Automaten.....	22
2.4 Stochastische Zustandsmodelle ereignisdiskreter Systeme.....	25
2.4.1 Stochastische Prozesse	25
2.4.2 Verweilzeit in einem Zustand	28
2.4.3 Übergangsrate aus einem Zustand	33
3 GRAPHENTHEORIE	37
3.1 Grundlegende Begriffe	37
3.2 Beschreibung von Graphen und Digraphen durch Matrizen.....	41
3.3 Bäume.....	45
3.4 Zustandsgraph und Erreichbarkeitsgraph.....	47
3.4.1 Erreichbarkeit von Knoten.....	48
4 MAX-PLUS ALGEBRA.....	51
4.1 Mengen und Operatoren der Max-Plus Algebra	51
4.1.1 Skalare	51
4.1.2 Matrizen.....	54
4.2 Max-Plus Beschreibung von Digraphen	58
4.2.1 Matrix der maximalen Kantengewichte.....	58
4.2.2 Systemgleichung	61
4.2.3 Iterative Systemgleichung	64
4.3 Eigenwerte in der Max-Plus Algebra	69
4.3.1 Maximales mittleres Schleifengewicht.....	69
4.3.2 Berechnung der Eigenwerte	72
4.3.3 Linearkombination von Eigenvektoren	75

4.4 Spektraler Projektor.....	76
4.4.1 Definition des Spektralen Projektors.....	76
4.4.2 Linearkombination von spektralen Projektoren.....	78
4.4.3 Konvergenz von Matrizen	80
4.4.4 Zyklizität von Matrizen in der Max-Plus Algebra.....	84
5 MARKOV-THEORIE.....	85
5.1 Markov-Prozesse und kausale Systeme	85
5.1.1 Markov-Folge	85
5.1.2 Kausale Systeme.....	86
5.2 Zeit-diskrete Markov-Ketten (discrete-time markov chain: DTMC).....	87
5.2.1 Markov-Eigenschaft	87
5.2.2 Zeitdiskrete Zustandsübergänge	88
5.2.3 Homogene zeitdiskrete Markov-Ketten.....	90
5.2.4 Stationäre Zustandsverteilung	92
5.2.5 Zeitdiskrete Verweildauer in einem Zustand.....	94
5.2.6 Dynamisches Verhalten homogener zeitdiskreter Markov-Ketten.....	96
5.2.7 Einteilung der Systemzustände.....	98
5.2.8 Anwendungsbeispiele.....	101
5.3 Zeitkontinuierliche Markov-Ketten (continuous-time markov chain: CTMC).....	108
5.3.1 Markov-Eigenschaft	108
5.3.2 Verteilung der Verweilzeiten.....	109
5.3.3 Übergangsraten.....	111
5.3.4 Zusammenhang zwischen Übergangsrate und Verweilzeit.....	116
5.3.5 Homogene zeitkontinuierliche Markov-Ketten	118
5.3.6 Stationäre Zustandsverteilung	120
5.3.7 Flußbalance zeitkontinuierlicher homogener Markov-Ketten.....	124
5.3.8 Birth-Death-Prozeß.....	125
5.3.9 Poisson-Prozeß	128
5.4 Ereignisprozesse.....	132
5.4.1 Ereignisrate	132
5.4.2 Poisson-Ereignisprozeß	136
5.4.3 Lebensdauern zufällig angetroffener Ereignisintervalle.....	138
5.4.4 Bestimmung der Ereignisrate über die Autokorrelationsfunktion.....	143
5.5 Semi-Markov-Prozesse	146
5.5.1 Eingebettete Markov-Ketten.....	146
5.5.2 Verallgemeinerte Semi-Markov-Prozesse	148
5.5.3 Lebensdauer-Verteilung überlagerter Poisson-Ereignisprozesse	150
5.5.4 Zustandsübergang mit einem bestimmten Ereignisprozeß.....	151
6 WARTESCHLANGEN.....	153
6.1 Ereignisprozesse und Kundenzahlen.....	153
6.1.1 Grundlegende Begriffe	153
6.1.2 Das Gesetz von Little.....	155
6.1.3 Kundenzahl im Warteschlangensystem.....	158

6.2 Warteschlangen mit exponentialverteilten Kundenflüssen	159
6.2.1 M/M/1-Warteschlange (Birth-Death-Prozeß).....	159
6.2.2 M/M/m-Warteschlangen.....	164
6.2.3 M/E _r /1-Verteilung.....	165
6.2.4 M/H _r /1-Verteilung	168
6.2.5 Annäherung einer beliebigen Verteilung.....	170
6.3 Warteschlangen mit allgemeinen Verteilungen	172
6.3.1 Modellierung als eingebettete Markov-Kette	172
6.3.2 M/G/1-Warteschlange.....	174
6.3.3 G/M/1-Warteschlange.....	182
6.4 Warteschlangen-Netzwerke	192
6.4.1 Wahrscheinlichkeitsdichte der Verlassensintervalle einer M/M/1-Warteschlange	193
6.4.2 Vereinigung und Verzweigung von schleifenfreien Kundenflüssen	195
6.4.3 Übergangsraten in schleifenfreien M/M/1-Warteschlangennetzen	198
6.4.4 Übergangsraten in schleifenbehafteten G/M/1-Warteschlangensystemen	200
6.4.5 Stationäre Zustandsverteilung schleifenbehafteter G/M/1-Warteschlangennetze..	203
7 PETRINETZE	209
7.1 Zeitdiskrete Petrinetze.....	210
7.1.1 Definitionen	210
7.1.2 Netzinvarianten.....	217
7.1.3 Eigenschaften von Petrinetzen.....	221
7.1.4 Konkurrenzen und Konflikte	225
7.1.5 Spezielle Petri-Netz-Klassen	227
7.2 Zeitkontinuierliche Petrinetze	229
7.2.1 Zeitbewertung von Plätzen	230
7.2.2 Verzögerte Transitionen	231
7.2.3 Stochastische Petrinetze.....	238
7.3 Gefärbte Petrinetze (coloured PN, CPN)	242
7.3.1 Aktivierungs- und Schaltregeln	244
7.3.2 Konflikte in gefärbten Petrinetzen.....	247
7.3.3 Identische Funktion und Entfärbungsfunktion	250
7.4 Hierarchische Petrinetze.....	252
7.4.1 Hierarchische Struktur	253
7.4.2 Verfeinerung einer Transition.....	254
7.4.3 Verfeinerung eines Platzes	255
7.4.4 Zeitbewertungen in der hierarchischen Struktur.....	257
7.5 Petrinetz-Steuerungen	260
7.5.1 Synchronisierte Petrinetze	260
7.5.2 Petrinetz-Regler	263
7.5.3 Belegungsentscheidung nach der aktuellen Anforderung	264
7.5.4 Prädiktive Belegungsentscheidung nach minimaler Planverschiebung	267
7.6 Anwendungsbeispiel Verkehrsregelung.....	270
7.6.1 Hierarchisches Petrinetzmodell	270
7.6.2 Petrinetz-Steuerungen.....	272

8 FLUßSTEUERUNG IN NETZWERKEN	275
8.1 Einführende Begriffe.....	275
8.2 Kürzester Weg in einem Netz	278
8.2.1 Systematisches Probieren	278
8.2.2 Rekursive Berechnung des kürzesten Weges	280
8.2.3 Algorithmus von Floyd.....	282
8.2.4 Berechnung des kürzesten Weges mit Max-Plus.....	287
8.3 Flußberechnung.....	288
8.3.1 Flußraten bei festem Routing.....	288
8.3.2 Maximaler Fluß durch ein Netz	294
8.3.3 Algorithmus von Ford und Fulkerson.....	300
9 ENTSCHEIDUNGSPROZESSE	310
9.1 Optimierung in ereignisdiskreten Systemen	310
9.1.1 Optimaler Pfeilweg	310
9.1.2 Erzeugung des Entscheidungsbaumes	312
9.2 Dynamische Optimierung.....	316
9.2.1 Bellmansches Optimalitätsprinzip	316
9.2.2 Stochastische Übergangskosten.....	322
9.2.3 Adaptive Entscheidungsprozesse.....	323
9.2.4 Markov-Entscheidungsprozesse	329
9.3 Verteilte kooperative Steuerungen	333
9.3.1 Konfliktlösung in verteilten Systemen	333
9.3.2 Lokale kooperative Steuereinheit	336
9.3.3 Entscheidungsbäume in verteilten Systemen.....	339
9.3.4 Darstellung von Belegungskonflikten	343
9.3.5 Kostenbewertung alternativer Belegungsfolgen.....	348
9.3.6 Konfliktlösungsnetz.....	351
9.3.7 Konvergenz der Wertfunktion	354
9.3.8 Anwendungsbeispiel.....	356
10 OBJEKTORIENTIERTE SIMULATION	359
10.1 Objektorientiertes Programmieren	359
10.2 Rechnerbasierte Modelle.....	362
10.2.1 Hierarchische Simulationsstruktur.....	363
10.2.2 Atomare Zustandsmodelle und Simulatoren.....	364
10.2.3 Gekoppelte Modelle und Koordinatoren	369
10.2.4 Simulation eines hierarchischen Gesamtsystems	372
10.3 Simulation verteilter Systeme	373
ANHANG.....	375
LITERATURVERZEICHNIS.....	377
INDEX	380