

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung: Verteilte, nebenläufige und interaktive Systeme ..	1
1.1	Vorbemerkungen	2
1.2	Grundbegriffe und Grundkonzepte	4
1.3	Wesentliche Eigenschaften vernetzter Systeme	6
1.4	Fundamentale Fragen bei der Modellierung vernetzter Systeme ..	8
1.5	Ein einführendes Beispiel: Das Alternating-Bit-Protokoll ...	9
1.6	Konventionen, Notationen und grundlegende Strukturen	20
1.6.1	Konvention: Sorten und Trägermengen	20
1.6.2	Endliche und unendliche Sequenzen	20
1.6.3	Prädikate und Zusicherungen	22
1.6.4	Linear-temporale Logik (LTL)	27
1.7	Historische Bemerkungen	32
1.8	Übungsaufgaben	34

Teil I Zustandsbasierte Systemmodelle

2	Zustandssicht: Systeme als Zustandsmaschinen	43
2.1	Zustandsmaschinen mit unmarkierten Übergängen	44
2.1.1	Zustandsmaschinen und ihre Darstellungsformen	44
2.1.1.1	Mathematische Definition	44
2.1.1.2	Grafische Darstellung	47
2.1.1.3	Annotierte Zustandsübergangsdiagramme ..	49
2.1.1.4	Matrixdarstellung von Zustandsmaschinen ..	51
2.1.1.5	Attributierte Zustände	53
2.1.2	Semantik: Abläufe und Erreichbarkeit	57
2.1.2.1	Abläufe	57
2.1.2.2	Erreichbarkeit	61
2.1.3	Logische Spezifikation und Invarianten	67
2.1.4	Parallele Komposition	70
2.1.4.1	Parallele Komposition ohne gemeinsamen Speicher	71

2.1.4.2	Zustandsmaschinen mit gemeinsamem Speicher	74
2.1.4.3	Stabile Prädikate und Invarianten	84
2.1.5	Verifikation	87
2.1.5.1	Invarianten	87
2.1.5.2	Einschub: Komplexität maschinengestützter Verifikation	88
2.1.5.3	Linearzeitaussagen	91
2.2	Zustandsmaschinen mit aktionsmarkierten Übergängen	92
2.2.1	Darstellungsformen	92
2.2.1.1	Analytische Darstellung	92
2.2.1.2	Grafische Darstellung	97
2.2.1.3	Tabellarische Darstellung	100
2.2.1.4	Matrixdarstellung	102
2.2.2	Semantik	104
2.2.2.1	Sequenzbasierte Semantiken	104
2.2.2.1.1	Berechnungen	104
2.2.2.1.2	Abläufe	104
2.2.2.1.3	Spuren	105
2.2.2.2	Erreichbarkeitssemantiken	106
2.2.3	Logische Spezifikation	107
2.2.3.1	Spurlogik	108
2.2.3.1.1	Reguläre und ω -reguläre Ausdrücke	108
2.2.3.1.2	LTL	108
2.2.3.1.3	Prädikatenlogik erster Stufe	109
2.2.3.2	Erreichbarkeitslogik	111
2.2.4	Parallele Zusammensetzung	112
2.3	Zustandsmaschinen mit Eingabe und Ausgabe	112
2.3.1	Analytische Darstellung	112
2.3.2	Zustandsübergänge beschrieben durch Zusicherungen	116
2.3.3	Zustandsübergangsdiagramme	116
2.3.4	Tabellarische Darstellung	119
2.3.5	Matrixdarstellung	122
2.3.6	Pragmatische Spezifikation von Zustandsmaschinen	124
2.4	Abschließende Bemerkungen zu Zustandsmaschinen	133
2.5	Historische Bemerkungen	134
2.6	Übungsaufgaben	135
3	Attributierte Zustandsräume und parallele Programme	139
3.1	Programmnahe Zustandsübergangssysteme	139
3.1.1	Logische Spezifikation	140
3.1.2	Von Zustandsübergangsdiagrammen zu Zustandsmaschinen	144

3.1.3	Zustandsübergangssysteme als anweisungsorientierte Programme	147
3.1.4	Anweisungsorientierte Programme als Zustandsübergangssysteme	148
3.2	Imperative Programme mit gemeinsamen Variablen	151
3.2.1	Parallele Komposition	152
3.2.2	Syntax	153
3.2.3	Semantik	154
3.2.4	Spezifikation	155
3.2.5	Wechselseitiger Ausschluss	155
3.2.6	Verifikation anweisungsorientierter paralleler Programme	161
3.3	Historische Bemerkungen	168
3.4	Übungsaufgaben	169

Teil II Asynchrone Interaktion, Verteilung und Zeit

4	Schnittstellen asynchroner interaktiver Systeme	179
4.1	Interaktive Schnittstellen	179
4.1.1	Schnittstellensicht für interaktive Systeme	180
4.1.2	Syntaktische Schnittstellen: Kanäle und gemeinsame Variablen	181
4.2	Ströme	184
4.3	Stromverarbeitende Funktionen	188
4.4	Spezifikation von Strömen	198
4.5	Spezifikation stromverarbeitender Funktionen	200
4.6	Kommunikation zwischen imperativen Programmen	205
4.6.1	Imperative Programme mit Kommunikationsanweisungen	205
4.6.2	Prädikative Spezifikation	207
4.7	Sicherheits- und Lebendigkeitsbedingungen auf Strömen ...	218
4.8	Spezifikation durch Annahmen und Verpflichtungen	220
4.9	Von Zustandsmodellen zu stromverarbeitenden Funktionen und zurück	226
4.9.1	Zustandsmaschinen zur Beschreibung stromverarbeitender Funktionen	227
4.9.2	Stromverarbeitende Funktionen als Zustandsmaschinen	228
4.9.3	Schnittstellenabstraktion	229
4.10	Historische Bemerkungen	231
4.11	Übungsaufgaben	232
5	Asynchrone Systemarchitekturen	235
5.1	Verteilte Systeme	236
5.1.1	Architekturen verteilter Systeme	236
5.1.2	Parallele Komposition	238

5.1.3	Modularität	238
5.2	Komposition von Systemen zu Datenflussnetzen	239
5.2.1	Systeme als Datenflussnetze	239
5.2.2	Komponenten von Datenflussnetzen	243
5.2.3	Parallele Komposition mit Rückkopplung	244
5.2.4	Komposition von Systemspezifikationen	246
5.2.5	Nichtdeterministische Komponenten	252
5.3	Formen von Datenflussnetzen	253
5.3.1	Algorithmen als Datenflussnetze	253
5.3.2	Kantenführung in Datenflussnetzen	262
5.3.3	Berechnung von Funktionen durch Datenflussnetze ..	263
5.3.4	Annahmen und Verpflichtungen in der Komposition ..	266
5.4	Kompositionsformen	270
5.4.1	Parallele Komposition ohne Rückkopplung	270
5.4.2	Sequenzielle Komposition: Pipeline	271
5.4.3	Rückkopplung	272
5.4.4	Das Beispiel Fensterheber	273
5.5	Schichtenarchitekturen	275
5.6	Parallele, anweisungsorientierte, interaktive Programme	280
5.6.1	Parallele Komposition interaktiver, anweisungsorientierter Programme	280
5.6.2	Interaktive Systeme anweisungsorientierter Programme	285
5.7	Parallele Programme als stromverarbeitende Funktionen	286
5.8	Historische Bemerkungen	289
5.9	Übungsaufgaben	291
6	Zeit- und Datenfluss	293
6.1	Ein einfaches diskretes Zeitmodell	294
6.2	Spezifikation und Verifikation von zeitbehafteten Systemen ..	299
6.3	Zeitschnitte	302
6.4	E/A/K-Zustandsmaschinen	303
6.5	Parallele Komposition von E/A/K-Zustandsmaschinen	305
6.6	Globale Zeit	306
6.6.1	Fixpunkteigenschaft stark kausaler Systeme	307
6.6.2	Gezeitete Systeme: Ein einführendes Beispiel	308
6.6.3	Zeit als Mittel zum Nachweis von Systemeigenschaften	309
6.6.4	Zeit und Kausalität	312
6.6.5	Zeitsynchrone, nachrichtenasynchrone Systeme	314
6.7	Spezifikation stark kausaler Systeme	316
6.8	Komposition	318
6.9	Starke Kausalität für Annahme-Verpflichtungs-Spezifikationen	321
6.10	Sender und Empfangen: „Push“ und „Pull“	322
6.11	Zeitsynchrone, nachrichtensynchrone Systeme und perfekte Synchronität	328
6.12	Historische Bemerkungen	328

6.13 Übungsaufgaben	330
---------------------------	-----

Teil III Prozesse, synchroner Nachrichtenaustausch und Verfeinerung

7 Prozesse als Abläufe verteilter Systeme	339
7.1 Nebenläufige Prozesse	340
7.1.1 Aktionsstrukturen	340
7.1.2 Eigenschaften von Prozessen	344
7.1.3 Sequenzielle Prozesse als Ströme von Aktionen	349
7.2 Prozesse als Aktionsfolgen und temporale Logik	349
7.3 Koordination	354
7.4 Petri-Netze als Prädikate über Prozessen	355
7.5 Abläufe und Schnittstellenverhalten	357
7.6 Diagramme zur Darstellung von Prozessen	359
7.6.1 Kontrollflussdiagramme	359
7.6.2 Graphische Darstellung von Prozessen	362
7.7 TLA – Temporal Logic of Actions	366
7.8 Historische Bemerkungen	375
7.9 Übungsaufgaben	376
8 Nachrichtensynchrone Systeme	379
8.1 Nachrichtensynchrone Komposition von Zustandsmaschinen	380
8.2 Syntax von CSP	382
8.3 Operationelle Semantik für CSP	385
8.4 Bereitschaft und Verweigerung	389
8.5 Historische Bemerkungen	393
8.6 Übungsaufgaben	395
9 Zustands- und Ablaufsicht	397
9.1 Komposition von Systemen und Kontexte	397
9.2 Aktionsstrukturen und Zustandsbegriff	398
9.3 Zustandsübergangsbäume	399
9.4 Fairness und temporale Logik zustandsorientierter Systeme	402
9.5 Äquivalenzbegriffe für Systeme mit aktionsmarkierten Übergängen	403
9.6 Bisimulation und Bereitschaftsäquivalenz	405
9.7 Historische Bemerkungen	410
9.8 Übungsaufgaben	410
10 Verfeinerung von Systemen	413
10.1 Eigenschaftsverfeinerung	414
10.2 Teilfunktionalität	415
10.3 Repräsentationsverfeinerung	416
10.4 Modularität und Kompatibilität	423
10.5 Verfeinerung von Zustandsübergangssystemen	424
10.5.1 Nichtdeterministische Auswahl	424

10.5.2 Verfeinerung der Übergangsfunktion	425
10.5.3 Repräsentationsverfeinerung für Zustandssysteme ...	426
10.6 Abstraktion von Zustandsmaschinen	431
10.7 Historische Bemerkungen	432
10.8 Übungsaufgaben	432
Literaturverzeichnis	435
Symbolverzeichnis	451
Sachverzeichnis	457