

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	vii
Danksagungen	xii
Inhaltsverzeichnis	xv
Über den Autor	xxi
Häufig benutzte mathematische Symbole	xxiii
1 Einleitung	1
1.1 Geschichte der Begriffe	1
1.2 Potential	4
1.3 Herausforderungen	9
1.4 Gemeinsame Eigenschaften	18
1.5 Lehrplan-Integration von Eingebetteten Systemen, CPS und IoT . .	20
1.6 Entwurfsflüsse	23
1.7 Struktur dieses Buches	27
1.8 Aufgaben	29
2 Spezifikation und Modellierung	31
2.1 Anforderungen	31
2.2 Berechnungsmodelle	39
2.3 Frühe Entwurfsphasen	45
2.3.1 Anwendungsfälle	46
2.3.2 <i>(Message) Sequence Charts</i>	47
2.3.3 Differentialgleichungen	50
2.4 Kommunizierende endliche Automaten	53
2.4.1 Zeitgesteuerte Automaten	53
2.4.2 StateCharts	55
2.4.3 Synchrone Sprachen	66
2.4.4 Nachrichtenaustausch am Beispiel von SDL	68
2.5 Datenfluss	75
2.5.1 Überblick	75
2.5.2 Kahn-Prozessnetzwerke	76

2.5.3	SDF	78
2.5.4	Simulink	82
2.6	Petrinetze	84
2.6.1	Einführung	84
2.6.2	Bedingungs/Ereignis-Netze	86
2.6.3	Stellen/Transitions-Netze	87
2.6.4	Prädikat/Transitions-Netze	92
2.6.5	Bewertung	94
2.7	Diskrete, ereignisbasierte Sprachen	96
2.7.1	Simulationszyklus diskreter Ereignissysteme	96
2.7.2	Mehrwertige Logik	97
2.7.3	Transaktionsbasierte Modellierung	103
2.7.4	SpecC	105
2.7.5	SystemC	107
2.7.6	VHDL	109
2.7.7	Verilog and SystemVerilog	120
2.8	Von-Neumann-Sprachen	122
2.8.1	CSP	122
2.8.2	Ada	123
2.8.3	Kommunikationsbibliotheken	125
2.8.4	Weitere Sprachen	126
2.9	Ebenen der Hardware-Modellierung	127
2.10	Vergleich der Berechnungsmodelle	130
2.10.1	Kriterien	130
2.10.2	<i>Unified Modeling Language</i> (UML)	133
2.10.3	Ptolemy II	135
2.11	Aufgaben	135
3	Hardware eingebetteter Systeme	141
3.1	Einleitung	141
3.2	Eingabe – Schnittstelle zwischen physischer und Cyber-Welt	143
3.2.1	Sensoren	143
3.2.2	Zeitdiskretisierung: <i>Sample-and-hold</i> -Schaltungen	145
3.2.3	Fourier-Approximation von Signalen	146
3.2.4	Wertediskretisierung: A/D-Wandler	150
3.3	Verarbeitungseinheiten	157
3.3.1	Anwendungsspezifische integrierte Schaltkreise	157
3.3.2	Prozessoren	158
3.3.3	Rekonfigurierbare Logik	181
3.4	Speicher	184
3.4.1	Zielkonflikte	184
3.4.2	Speicherhierarchien	185
3.4.3	Registersätze	186
3.4.4	Caches	186
3.4.5	<i>Scratchpad</i> -Speicher	188

3.5	Kommunikation	189
3.5.1	Anforderungen	190
3.5.2	Elektrische Robustheit	191
3.5.3	Echtzeitgarantien	193
3.5.4	Beispiele	194
3.6	Ausgabe – Schnittstelle zwischen Cyber- und physischer Welt	196
3.6.1	D/A-Wandler	197
3.6.2	Abtasttheorem	200
3.6.3	Pulsbreitenmodulation	204
3.6.4	Aktuatoren	206
3.7	Elektrische Energie	206
3.7.1	Energieerzeugung	207
3.7.2	Energiespeicherung	208
3.7.3	Effiziente Nutzung elektrischer Energie	211
3.8	Sichere Hardware	214
3.9	Aufgaben	216
4	Systemsoftware	221
4.1	Eingebettete Betriebssysteme	222
4.1.1	Allgemeine Anforderungen	222
4.1.2	Echtzeitbetriebssysteme	226
4.1.3	Virtuelle Maschinen	230
4.2	Protokolle für Ressourcen-Zugriffe	231
4.2.1	Prioritätsumkehr	231
4.2.2	Prioritätsvererbung	233
4.2.3	<i>Priority Ceiling</i> -Protokoll	236
4.2.4	<i>Stack Resource Policy</i> -Protokoll	238
4.3	ERIKA	240
4.4	Linux für eingebettete Systeme	243
4.4.1	Struktur und Größe von Linux für eingebettete Systeme	244
4.4.2	Echtzeiteigenschaften	246
4.4.3	Dateisysteme für <i>Flash</i> -Speicher	248
4.4.4	Verringerung des Hauptspeicherbedarfs	249
4.4.5	uClinux – Linux für Systeme ohne MMU	250
4.4.6	Evaluation der Nutzung von Linux in eingebetteten Systemen	252
4.5	Hardware-Abstraktionsschicht	253
4.6	<i>Middleware</i>	253
4.6.1	OSEK/VDX COM	254
4.6.2	CORBA	254
4.6.3	POSIX <i>Threads</i> (<i>Pthreads</i>)	255
4.6.4	UPnP und DPWS	256
4.7	Echtzeitdatenbanken	256
4.8	Aufgaben	257

5	Bewertung und Validierung	261
5.1	Einleitung	261
5.1.1	Begriffe	261
5.1.2	Multikriterielle Optimierung	262
5.1.3	Relevante Kriterien	265
5.2	Performanzbewertung	266
5.2.1	Frühe Phasen	266
5.2.2	Größtmögliche Ausführungszeiten	267
5.2.3	Realzeitkalkül	274
5.3	Qualitätsmetriken	278
5.3.1	Näherungsweise Rechnen	278
5.3.2	Einfache Qualitätskriterien	278
5.3.3	Kriterien für die Datenanalyse	281
5.4	Modelle des Energieverbrauchs und der Leistungsaufnahme	283
5.4.1	Allgemeine Eigenschaften	283
5.4.2	Energiemodell für Speicher	285
5.4.3	Energiemodell für Maschinenbefehle	286
5.4.4	Energiemodell für Prozessoreinheiten	287
5.4.5	Energiemodell für Prozessor und Speicher	287
5.4.6	Energiemodell für eine Anwendung	289
5.4.7	Energiemodell für mehrere Anwendungen und Hardware- <i>Multithreading</i>	290
5.4.8	Energiemodell für Android-Mobiltelefone	292
5.4.9	Größtmöglicher Energieverbrauch	294
5.5	Thermische Modelle	294
5.5.1	Stationäres Verhalten	295
5.5.2	Transientes Verhalten	297
5.6	Verlässlichkeits- und Risikoanalyse	302
5.6.1	Aspekte der Verlässlichkeit	302
5.6.2	Informationssicherheit	302
5.6.3	Betriebssicherheit	303
5.6.4	Zuverlässigkeit	305
5.6.5	Fehlerbaumanalyse, Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse	311
5.7	Simulation	313
5.8	<i>Rapid Prototyping</i> und Emulation	315
5.9	Formale Verifikation	316
5.10	Aufgaben	318
6	Abbildung von Anwendungen	321
6.1	Problemdefinition	321
6.1.1	Präzisierung des Entwurfsproblems	321
6.1.2	Typen von <i>Scheduling</i> -Problemen	324
6.2	<i>Scheduling</i> für Einzelprozessoren	330
6.2.1	<i>Scheduling</i> ohne Reihenfolgebeschränkungen	330
6.2.2	<i>Scheduling</i> mit Reihenfolgebeschränkungen	336

6.2.3	Periodisches <i>Scheduling</i> ohne Reihenfolgebeschränkungen .	338
6.2.4	Periodisches <i>Scheduling</i> mit Reihenfolgebeschränkungen .	346
6.2.5	Sporadische Ereignisse	346
6.3	<i>Scheduling</i> für unabhängige Jobs auf identischen Multiprozessoren .	346
6.3.1	Partitioniertes <i>Scheduling</i>	347
6.3.2	Globales <i>Scheduling</i> mit dynamischen Prioritäten	350
6.3.3	Globales <i>Scheduling</i> für feste Job-Prioritäten	353
6.3.4	Globales <i>Scheduling</i> für feste Task-Prioritäten	356
6.4	Abhängige Jobs auf homogenen Multiprozessor-Systemen	358
6.4.1	<i>As-Soon-As-Possible-Scheduling</i>	358
6.4.2	<i>As-Late-As-Possible-Scheduling</i>	360
6.4.3	<i>List-Scheduling</i>	361
6.4.4	Optimales <i>Scheduling</i> mit Ganzzahliger Programmierung .	363
6.5	Abhängige Jobs auf heterogenen Multiprozessoren	365
6.5.1	Problem-Beschreibung	365
6.5.2	Statisches <i>Scheduling</i> mit lokalen Heuristiken	365
6.5.3	Statisches <i>Scheduling</i> mit Ganzzahliger Programmierung .	369
6.5.4	Statisches <i>Scheduling</i> mit Evolutionären Algorithmen	369
6.5.5	Dynamisches und Hybrides <i>Scheduling</i>	374
6.6	Aufgaben	375
7	Optimierung	379
7.1	<i>High-Level</i> -Optimierungen	380
7.1.1	Einfache Schleifentransformationen	380
7.1.2	Kachel-/Blockweise Verarbeitung von Schleifen	382
7.1.3	Aufteilen von Schleifen	384
7.1.4	Falten von Feldern	386
7.1.5	Wandlung von Gleitkomma- in Festkommadarstellung . . .	387
7.2	Nebenläufigkeit von Tasks	388
7.3	Compiler für eingebettete Systeme	392
7.3.1	Einleitung	392
7.3.2	Energiegewahre Übersetzung	393
7.3.3	Speicherarchitektur-gewahre Übersetzung	394
7.3.4	Zusammenführung von Compilern und Zeitanalyse	403
7.4	Energieverwaltung und thermisches Management	405
7.4.1	Dynamische Spannungsskalierung (DVS)	405
7.4.2	Dynamische Leistungsverwaltung (DPM)	409
7.4.3	Verwaltung des thermischen Verhaltens	409
7.5	Aufgaben	410
8	Test	413
8.1	Anwendungsbereich	413
8.2	Testverfahren	415
8.2.1	Testmustererzeugung für Modelle auf Gatterebene	415
8.2.2	Selbsttestprogramme	416

8.3	Auswertung von Testmuster­men­gen und Systemrobustheit	417
8.3.1	Fehlerüberdeckung	417
8.3.2	Fehlersimulation	417
8.3.3	Fehlerinjektion	418
8.4	Entwurf für Testbarkeit	419
8.4.1	Motivation	419
8.4.2	Scanpfad-Entwurf	420
8.4.3	Signaturanalyse	421
8.4.4	Erzeugung von Pseudozufalls-Testmustern	423
8.5	Aufgaben	423
A Ganzzahlige Lineare Programmierung		425
B Kirchhoffsche Gesetze und Operationsverstärker		427
C Seitenadressierung und Speicherverwaltungseinheiten		433
Literaturverzeichnis		435
Sachverzeichnis		461