

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Realzeitbetrieb</b>	<b>7</b>
2.1	Zentrale Beschreibungsgrößen . . . . .	8
2.1.1	Beschreibungsgrößen des technischen Prozesses . . . . .	8
2.1.2	Beschreibungsgrößen der Rechenprozesse . . . . .	11
2.1.3	Beschreibungsgrößen der Systemsoftware . . . . .	17
2.2	Realzeitbedingungen . . . . .	17
2.2.1	Gleichzeitigkeit und Auslastung . . . . .	18
2.2.2	Rechtzeitigkeit . . . . .	19
2.2.3	Harte und weiche Realzeit . . . . .	20
2.3	Systemaspekte . . . . .	22
2.3.1	Unterbrechbarkeit . . . . .	22
2.3.2	Prioritäten . . . . .	23
2.3.3	Ressourcenmanagement . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Systemsoftware</b>	<b>33</b>
3.1	Firmware . . . . .	33
3.2	Realzeitbetriebssysteme . . . . .	36
3.2.1	Systemcalls . . . . .	38
3.2.2	Taskmanagement . . . . .	39
3.2.3	Memory Management . . . . .	64
3.2.4	I/O-Management . . . . .	68
3.2.5	Timekeeping (Zeitverwaltung) . . . . .	76
3.2.6	Sonstige Realzeitaspekte . . . . .	82
3.3	Linux . . . . .	84

<b>4</b>	<b>Aspekte der nebenläufigen Realzeitprogrammierung</b>	<b>89</b>
4.1	Allgemeines . . . . .	89
4.2	Programmtechnischer Umgang mit Tasks . . . . .	91
	4.2.1 Tasks erzeugen . . . . .	91
	4.2.2 Tasks beenden . . . . .	94
	4.2.3 Tasks parametrieren . . . . .	94
4.3	Schutz kritischer Abschnitte . . . . .	98
	4.3.1 Semaphor und Mutex . . . . .	99
	4.3.2 Programmtechnische Behandlung der Prioritätsinversion . . . . .	102
	4.3.3 Deadlock . . . . .	103
	4.3.4 Schreib-/Lese-Locks . . . . .	104
	4.3.5 Weitere Schutzmaßnahmen für kritische Abschnitte . .	105
	4.3.6 Unterbrechungsmodell . . . . .	107
4.4	Umgang mit Zeiten . . . . .	109
	4.4.1 Aktuelle Zeit bestimmen . . . . .	112
	4.4.2 Der Zeitvergleich . . . . .	115
	4.4.3 Differenzzeitmessung . . . . .	117
	4.4.4 Schlafen . . . . .	120
	4.4.5 Weckrufe per Timer . . . . .	123
4.5	Inter-Prozess-Kommunikation . . . . .	125
	4.5.1 Pipes, Mailbox und Messages . . . . .	125
	4.5.2 Shared-Memory . . . . .	129
	4.5.3 Sockets . . . . .	132
4.6	Condition-Variable (Events) . . . . .	137
4.7	Signale . . . . .	139
4.8	Peripheriezugriff . . . . .	141
4.9	Bitoperationen . . . . .	149
4.10	Memory Management . . . . .	152
<b>5</b>	<b>Realzeitarchitekturen</b>	<b>155</b>
5.1	Realzeitsysteme ohne spezielle Systemsoftware . . . . .	156
5.2	Realzeitsysteme basierend auf einem Standard-OS . . . . .	157
5.3	Threaded Interrupts (Realzeiterweiterungen für Standardbetriebssysteme) . . . . .	158
5.4	Userland-to-Kernel . . . . .	160
5.5	Realzeitbetriebssystem . . . . .	162
5.6	Realzeitarchitektur auf Multicore-Basis . . . . .	163

5.7	Multikernel-Architektur (RTAI/Xenomai) . . . . .	167
5.8	Besonderheiten beim Entwurf moderner Realzeitsysteme . . .	170
<b>6</b>	<b>Safety und Security</b>	<b>181</b>
6.1	Grundbegriffe der Betriebssicherheit (Safety) . . . . .	181
6.2	Angriffssicherheit (Security) . . . . .	186
6.2.1	Geräteimmanente Schutzvorrichtungen . . . . .	187
6.2.2	Strukturelle Abwehrmaßnahmen (Security by Structure) . . . . .	196
<b>7</b>	<b>Formale Beschreibungsmethoden im Überblick</b>	<b>201</b>
7.1	Daten- und Kontrollflussdiagramm . . . . .	202
7.2	Struktogramme . . . . .	205
7.3	Beschreibung nebenläufiger Prozesse (Petrietze) . . . . .	207
7.4	Netzwerkanalyse . . . . .	212
7.5	UML . . . . .	215
7.5.1	Strukturdiagramme . . . . .	216
7.5.2	Verhaltensdiagramme . . . . .	218
<b>8</b>	<b>Realzeitnachweis</b>	<b>221</b>
8.1	Grundlagen . . . . .	221
8.2	Nachweis ohne Berücksichtigung der Ressourcen . . . . .	224
8.2.1	Prioritätengesteuertes Scheduling . . . . .	224
8.2.2	EDF-Scheduling . . . . .	229
8.3	Nachweis unter Berücksichtigung der Ressourcen . . . . .	236
8.3.1	Berechnung der Blockierzeit . . . . .	236
8.3.2	Schedulingstest . . . . .	246
8.4	Bewertung und weitere Einflussfaktoren . . . . .	251
	<b>Bibliographie</b>	<b>261</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>263</b>