

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Realzeitbetrieb	7
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
3	Systemsoftware	33
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

4	Aspekte der nebenläufigen Realzeitprogrammierung	89
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
5	Realzeitarchitekturen	155
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
6	Safety und Security	181
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
7	Formale Beschreibungsmethoden im Überblick	201
7.1	Daten- und Kontrollflussdiagramm	202
7.2	Struktogramme	205
7.3	Beschreibung nebenläufiger Prozesse (Petrinetze)	207
7.4	Netzwerkanalyse	212
7.5	UML	215
7.5.1	Strukturdigramme	216
7.5.2	Verhaltensdiagramme	218
8	Realzeitnachweis	221
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	Schedulingtest	246
8.4	Bewertung und weitere Einflussfaktoren	251
	Bibliographie	261
	Stichwortverzeichnis	263