

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	1
---------------------	---

---

## Teil I. Architektur

---

2. Architektur von Parallelrechnern .....	7
2.1 Entwicklung von Mikroprozessoren .....	8
2.2 Parallelität auf Prozessorebene .....	11
2.3 Klassifizierung von Parallelrechnern .....	17
2.4 Speicherorganisation von Parallelrechnern .....	20
2.4.1 Rechner mit physikalisch verteiltem Speicher .....	21
2.4.2 Rechner mit physikalisch gemeinsamem Speicher .....	25
2.4.3 Reduktion der Speicherzugriffszeiten .....	28
2.5 Verbindungsnetzwerke von Parallelrechnern .....	33
2.5.1 Bewertungskriterien für Netzwerke .....	34
2.5.2 Direkte Verbindungsnetzwerke .....	37
2.5.3 Einbettungen .....	44
2.5.4 Dynamische Verbindungsnetzwerke .....	46
2.6 Routing- und Switching-Strategien .....	54
2.6.1 Routingalgorithmen .....	54
2.6.2 Switching .....	64
2.6.3 Flußkontrollmechanismen .....	73
2.7 Caches und Speicherhierarchien .....	74
2.7.1 Charakteristika von Cache-Speichern .....	75
2.7.2 Cache-Kohärenz .....	85
2.7.3 Speicherkonsistenz .....	93
2.8 Beispiele realer Parallelrechner .....	99
2.8.1 Busbasierte Systeme .....	100
2.8.2 Verteilter Adreßraum .....	102
2.8.3 Gemeinsamer Adreßraum: UMA .....	104
2.8.4 Gemeinsamer Adreßraum: NUMA .....	107
2.8.5 Gemeinsamer Adreßraum: CC-NUMA .....	109
2.8.6 Gemeinsamer Adreßraum: COMA .....	115
2.8.7 Clustermaschinen und Workstationnetze .....	118

---

**Teil II. Programmierung**

---

<b>3. Parallele Programmiermodelle</b> .....	123
3.1 Modelle paralleler Rechnersysteme .....	124
3.2 Parallelisierung von Programmen .....	127
3.3 Ebenen der Parallelität .....	130
3.3.1 Parallelität auf Instruktionsebene .....	130
3.3.2 Datenparallelität .....	131
3.3.3 Parallele Schleifen .....	134
3.3.4 Funktionsparallelität .....	136
3.4 Explizite und implizite Darstellung der Parallelität .....	138
3.5 Strukturierung paralleler Programme .....	141
3.6 Datenverteilungen für Felder .....	143
3.7 Informationsaustausch .....	148
3.7.1 Gemeinsame Variablen .....	148
3.7.2 Kommunikationsoperationen .....	151
3.7.3 Parallele Matrix-Vektor-Multiplikation .....	159
<b>4. Message-Passing-Programmierung</b> .....	165
4.1 Einführung in MPI .....	166
4.1.1 Einzeltransferoperationen .....	168
4.1.2 Globale Kommunikationsoperationen .....	182
4.1.3 Auftreten von Deadlocks .....	195
4.1.4 Prozeßgruppen und Kommunikatoren .....	197
4.1.5 Prozeßtopologien .....	203
4.1.6 Zeitmessung und Abbruch der Ausführung .....	208
4.2 Einführung in PVM .....	209
4.2.1 Programmiermodell .....	209
4.2.2 Prozeßkontrolle .....	210
4.2.3 Austausch von Nachrichten .....	213
4.2.4 Verwaltung von Prozeßgruppen .....	215
4.3 Einführung in MPI-2 .....	217
4.3.1 Prozeßerzeugung und -verwaltung .....	218
4.3.2 Einseitige Kommunikation .....	220
<b>5. Programmierung mit gemeinsamen Variablen</b> .....	231
5.1 Thread-Programmierung .....	232
5.1.1 Begriffsklärung und Motivation .....	232
5.1.2 Programmiermodell und Grundlagen für Pthreads .....	238
5.1.3 Erzeugung und Verwaltung von Pthreads .....	241
5.1.4 Koordination von Threads .....	243
5.1.5 Implementierung eines Taskpools .....	255
5.1.6 Steuerung und Abbruch von Threads .....	259

5.2	OpenMP .....	273
5.2.1	Steuerung der parallelen Abarbeitung .....	274
5.2.2	Koordination von Threads .....	283
5.3	Einführung in p4 .....	288
5.3.1	Monitore und gemeinsamer Adreßraum .....	291
5.3.2	Vordefinierte Monitore .....	292
<b>6.</b>	<b>Laufzeitanalyse paralleler Programme .....</b>	<b>299</b>
6.1	Leistungsbewertung von Rechnersystemen .....	300
6.1.1	MIPS und MFLOPS .....	302
6.1.2	Leistung von Mikroprozessoren mit Cachespeichern ..	304
6.1.3	Benchmarkprogramme .....	306
6.2	Parallele Leistungsmaße .....	310
6.3	Modellierung von Laufzeiten .....	314
6.3.1	Realisierung von Kommunikationsoperationen .....	316
6.3.2	Parameterbestimmung durch Ausgleichsrechnung .....	335
6.3.3	Laufzeitformeln für Kommunikationsoperationen .....	339
6.4	Analyse von Laufzeitformeln .....	342
6.4.1	Paralleles Skalarprodukt .....	343
6.4.2	Parallele Matrix-Vektor-Multiplikation .....	345
6.5	Parallele Berechnungsmodelle .....	347
6.5.1	PRAM-Modelle .....	348
6.5.2	BSP-Modell .....	349
6.5.3	LogP-Modell .....	352

---

### Teil III. Algorithmen

---

<b>7.</b>	<b>Lösung von Linearen Gleichungssystemen .....</b>	<b>357</b>
7.1	Gauß-Elimination .....	358
7.1.1	Beschreibung der Methode .....	358
7.1.2	Parallele zeilenzyklische Implementierung .....	362
7.1.3	Parallele gesamtzyklische Implementierung .....	366
7.1.4	Laufzeitanalyse der gesamtzyklischen Implementierung	372
7.2	Direkte Verfahren für Gleichungssysteme mit Bandstruktur ..	376
7.2.1	Diskretisierung der Poisson-Gleichung .....	377
7.2.2	Lösung von Tridiagonalsystemen .....	383
7.2.3	Verallgemeinerung auf beliebige Bandmatrizen .....	394
7.2.4	Anwendung auf die Poisson-Gleichung .....	396
7.3	Klassische Iterationsverfahren .....	399
7.3.1	Beschreibung iterativer Verfahren .....	399
7.3.2	Parallele Realisierung des Jacobi-Verfahrens .....	403
7.3.3	Parallele Realisierung des Gauß-Seidel-Verfahrens .....	404
7.3.4	Rot-Schwarz-Anordnung .....	410

7.4	Methode der konjugierten Gradienten .....	417
7.4.1	Herleitung der Methode .....	418
7.4.2	Parallelisierung des CG-Verfahrens .....	420
8.	<b>Nichtlineare Gleichungssysteme</b> .....	425
8.1	Fixpunktiteration .....	426
8.2	Newton-Verfahren .....	429
8.3	Parallele Implementierung .....	432
8.3.1	Parallele zeilenzyklische Implementierung .....	434
8.3.2	Parallele gesamtzyklische Implementierung .....	436
9.	<b>Gewöhnliche Differentialgleichungssysteme</b> .....	439
9.1	Explizite Runge-Kutta-Verfahren .....	443
9.2	Iterierte Runge-Kutta-Verfahren .....	449
9.3	Vergleich expliziter Verfahren .....	457
9.4	Implizite Runge-Kutta-Verfahren .....	464
9.4.1	Parallele Implementierung des Standardverfahrens ....	465
9.4.2	Diagonal-implizit iteriertes RK-Verfahren .....	466
9.4.3	Parallele Implementierung des DIIRK-Verfahrens ....	470
9.5	Extrapolationsverfahren .....	484
9.5.1	Grundalgorithmus .....	484
9.5.2	Parallele Implementierung .....	487
9.5.3	Vergleich der Varianten .....	495
9.6	Zusammenfassung und Ausblick .....	496
10.	<b>Irreguläre Algorithmen</b> .....	499
10.1	Cholesky-Faktorisierung für dünnbesetzte Matrizen .....	501
10.1.1	Sequentieller Algorithmus .....	501
10.1.2	Abspeicherungsschemata für dünnbesetzte Matrizen ..	507
10.1.3	Implementierung für gemeinsamen Adreßraum .....	510
10.2	Hierarchische Algorithmen .....	518
10.2.1	Klassisches Radiosity-Verfahren .....	519
10.2.2	Hierarchisches Radiosity-Verfahren .....	525
10.2.3	Strahlungsbasierte Zerlegung .....	529
10.2.4	Implementierung für gemeinsamen Adreßraum .....	532
Glossar	.....	535
Literatur	.....	545
Index	.....	555