
Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Merkmale von OpenMP	2
1.1.1	OpenMP-fähige Compiler	6
1.2	Parallele Programmierung	7
1.2.1	Prozesse und Threads	8
1.2.2	Parallele Hardwarearchitekturen	10
1.2.3	Leistungsmessung	13
1.2.4	Das Amdahl'sche Gesetz	14
1.2.5	Eine andere Sichtweise – das Gustafson'sche Gesetz	16
2	Das OpenMP-Ausführungsmodell	23
2.1	Hallo Welt!	24
2.2	Arbeit aufteilende Direktiven	28
2.3	Fehlerbehandlung in OpenMP	29
3	Parallelisierung von Schleifen	31
3.1	Parallelität auf Schleifenebene	31
3.2	Zugriff auf Variablen und Kommunikation zwischen Threads	37

VIII Inhaltsverzeichnis

3.2.1	Gemeinsam und privat genutzte Variablen.....	40
3.2.2	Änderung des Standardverhaltens mit <code>default</code>	45
3.2.3	Parallele Berechnungen mit <code>reduction</code>	46
3.2.4	Lokale und automatische Variablen ..	49
3.2.5	Initialisierung und Finalisierung von privaten Variablen	51
3.3	Ablaufpläne mit <code>schedule</code>	58
3.3.1	Statische und dynamische Ablaufpläne	59
3.3.2	Syntax	60
3.3.3	Bedingte Parallelisierung	64
3.4	Anzahl der Threads in einem Team	64
3.5	Datenabhängigkeiten	67
3.5.1	Das Problem der Datenabhängigkeiten	68
3.5.2	Datenabhängigkeiten in Schleifen	69
3.5.3	Datenabhängigkeiten finden	69
3.5.4	Datenabhängigkeiten in verschachtelten Schleifen	72
3.5.5	Typen von Datenabhängigkeiten	74
3.5.6	Entfernen von Datenabhängigkeiten .	75
3.6	Nicht-parallele Ausführung mit <code>single</code>	82
3.6.1	Die <code>copyprivate</code> -Klausel.....	82
3.7	Implizite Barrieren mit <code>nowait</code> umgehen ...	83
3.8	Paralleles Traversieren von Containerklassen	84
4	Synchronisation	89
4.1	Wettlaufsituationen und kritische Abschnitte	89
4.2	Kritische Abschnitte in OpenMP	92
4.2.1	Deadlocks	94
4.3	Atomare Operationen mit <code>atomic</code>	95
4.4	<code>reduction</code> und Vergleich der Laufzeiten	97

4.5	Synchronisierung mit der OpenMP-Laufzeitbibliothek	98
4.5.1	Deadlocks und verschachteltes Locking	100
4.5.2	Scoped Locking in C++	101
4.6	Synchronisierung von Ereignissen	105
4.6.1	Barrieren	106
4.6.2	Geordnete Ausführung	106
4.6.3	Nichtparallele Ausführung durch den Master-Thread	108
4.6.4	Konsistente Speicherbelegung mit <code>flush</code>	109
5	Parallele Abschnitte	113
5.1	Parallele Teilaufgaben mit <code>sections</code>	113
5.2	Globale Variablen und <code>threadprivate</code>	118
5.3	Verwaiste Direktiven	121
5.4	Verschachtelte parallele Abschnitte	122
6	Parallele Aufgaben	125
6.1	Eine Task-Warteschlange mit OpenMP-Bordmitteln	127
6.2	Intel-spezifische Erweiterungen: <code>taskq</code> und <code>task</code>	129
6.3	Ausblick auf die <code>task</code> -Direktive in OpenMP 3.0	134
6.3.1	Scheduling-Punkte	136
7	Die OpenMP-Laufzeitbibliothek	139
7.1	Zeitmessung	139
7.2	Parameter der Laufzeitumgebung	141
7.2.1	Dynamische Anpassung von Thread-Teamgrößen	141
7.3	Synchronisation	143

X	Inhaltsverzeichnis	
8	Effiziente Parallelisierung	145
	Literaturverzeichnis	155
	Sachverzeichnis	159