

Simulation wissenschaftlich-technischer Systeme mit Höchstleistungsrechnern

Prof. Dr.-Ing. Resch

August 2003

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

### **Aufgabe 1: Warum führt man Simulationen auf Supercomputern aus?**

*(Diese Aufgabe erfordert Antworten zu zwei Teilen: 1. Warum Simulation? 2. Warum Supercomputer)*

Warum Simulation?

- Weil Probleme mit theoretischen Ansätzen nicht lösbar sind (Navier-Stokes Gleichungen)
- Weil Probleme für Experimente zu riskant sind (Atombomben)
- Weil Experimente zu teuer oder zeitaufwendig sind (Crash)
- Weil Experimente nicht möglich sind (Klima)

Warum Supercomputer?

- Weil die zu verarbeitenden Datenmengen zu gross für andere Rechner sind
- Weil die Komplexität der Simulationen nur von Supercomputern in sinnvoller Zeit gelöst werden kann

### **Aufgabe 2: Beschreiben Sie wie man von einem physikalischen Problem zum Ergebnis der Simulation gelangen kann.**

*(Diese Aufgabe erfordert zum einen die Beschreibung der einzelnen Phasen der Transformation von physikalischem Problem zum Simulationsergebnis. Andererseits muss beschrieben werden, dass ein Informationsverlust in jedem Schritt eintreten kann und daher eine Rückkopplung zur jeweiligen vorherigen Stufe notwendig ist)*

Die Transformation vom physikalischen Problem zum Ergebnis der Simulation geht durch folgende Phasen.

- Realität
- Physikalisches Modell
- Mathematisches Modell
- Numerisches Verfahren
- Programm Struktur
- Programmiermodell
- Simulation
- Ergebnis

In jedem der hier beschriebenen Schritte wird eine Abbildung des Modells der vorherigen Phase auf ein neues Modell durchgeführt. Bei jeder dieser Abbildungen kommt es zu einem Verlust an Information. Es muss daher in jedem Schritt gesichert sein, dass die Abbildung nicht zu einem zu hohen Informationsverlust führt. Zuletzt muss das Ergebnis der Simulation rückgekoppelt werden zum physikalischen Problem.

### **Aufgabe 3: MPI und OpenMP**

*(In dieser Frage ist deutlich zu unterscheiden zwischen Hardware, Programmiermodell und der Implementierung eines solchen Modells)*

#### **a) ordnen sie MPI und OpenMP jeweils einem parallelen Programmiermodell zu**

OpenMP: OpenMP ist eine Implementierung der Shared Memory Direktiven

MPI: MPI ist eine Implementierung von Message Passing

#### **b) ordnen Sie MPI und OpenMP jeweils einem Architekturkonzept von Supercomputern zu**

OpenMP: OpenMP ist Shared Memory Architekturen zugeordnet

MPI: MPI ist Distributed Memory Architekturen zuzuordnen

#### **c) beschreiben Sie die grundlegenden Arbeitsweise von OpenMP**

OpenMP basiert auf einem Fork-Join Modell, das Threads verwendet. Die wesentlichen Konzepte sind parallelisierte Schleifen und parallelisierte Regionen

#### **d) beschreiben Sie die grundlegenden Arbeitsweise von MPI**

MPI implementiert unabhängige Prozesse oder Threads zwischen denen Nachrichten ausgetauscht werden. Dazu verfügt MPI über Konstrukte um Nachrichten zu senden und zu empfangen. Zusätzlich gibt es eine Prozessverwaltung.

#### **e) Vergleichen Sie OpenMP und MPI**

Model	Maturity	Ease of Migration	Ease of Programming	Efficiency
OpenMP	++	++	++	0
MPI	++	--	-	++
	Flexibility	Scalability	Portability	Costs
OpenMP	--	-	+	++
MPI	++	++	++	++

#### Aufgabe 4:

a) **Beschreiben Sie das Prinzip eines Vektorrechners**

Vektorrechner basieren auf zwei wesentlichen Prinzipien. Zum einen das Prinzip der Pipeline in der eine Operation in mehrere Schritte zerlegt wird. Wie im Fließband werden Ergebnisse unmittelbar zum nächsten Bearbeitungsschritt weitergegeben. Zum anderen ist das Prinzip der hohen Speicherbandbreite wichtig. Realisiert wird es durch schnelle Vektorregister.

b) **Beschreiben Sie distributed memory Systeme**

Jedes Prozessorelement hat seinen eigenen Speicher. Kommunikation geschieht durch expliziten Austausch zwischen den Elementen. Kopplung der Elemente durch ein schnelles Netz. Der Zugriff zum eigenen Speicher ist schneller als der zum Speicher eines anderen Elements

c) **Wie sind Cluster von Mehrprozessor PCs einzuordnen?**

Cluster sind prinzipiell Distributed Memory Systeme. Die einzelnen Knoten sind jedoch bei Mehrprozessorausstattung Shared Memory Systeme. Cluster von Mehrprozessoren sind als hybride Systeme.

#### Aufgabe 5:

Schätzen Sie für folgende Rechnerkonfigurationen die erzielbare Leistung ab. Für welches System erzielen Sie ein besseres Preis-Leistungsverhältnis? Treffen Sie eine Kaufentscheidung und begründen Sie diese.

##### Konfiguration 1:

- MPP mit 4096 Prozessoren
- Spitzenleistung: 8 GFLOPS/Prozessor.
- Die Kosten des Systems seien 20 Mill € für die Investition, jährlich 2,5 Mill € für Wartung sowie jährlich 400000 € für Strom und Kühlung. Das System soll 5 Jahre laufen.
- Die erzielbare Leistung für Programm 1 ist 18% der theoretischen Spitzenleistung des Einzelprozessors
- Der Parallelisierungsgrad für Programm 1 sei 99%.
- Die erzielbare Leistung für Programm 2 ist 10% der theoretischen Spitzenleistung des Einzelprozessors
- Der Parallelisierungsgrad für Programm 2 sei 99,9%.
- Programm 1 wird 40% der Zeit Programm 2 60% der Zeit genutzt.

##### Konfiguration 2:

- PVP mit 512 Prozessoren
- Spitzenleistung: 16 GFLOPS/Prozessor
- Die Kosten des Systems seien 30 Mill € für die Investition, jährlich 2 Mill € für Wartung sowie jährlich 200000 € für Strom und Kühlung. Das System soll 5 Jahre laufen.
- Die erzielbare Leistung für Programm 1 ist 50% der theoretischen Spitzenleistung des Einzelprozessors
- Der Parallelisierungsgrad für Programm 1 sei 99%.
- Die erzielbare Leistung für Programm 2 ist 5% der theoretischen Spitzenleistung des Einzelprozessors
- Der Parallelisierungsgrad für Programm 2 sei 99,9%.
- Programm 1 wird 40% der Zeit Programm 2 60% der Zeit genutzt.

## Leistungsberechnung

Speedup zu berechnen als:

$$Sp = 1/((1-q)/p)+q)$$

Mit

q ... sequentieller Anteil

p ... Anzahl der Prozessoren

$$\text{Leistung} = Sp * \text{Einzelprozessorleistung}$$

Konfiguration 1:

Programm 1:

$$\text{Speedup} = 97,64, \text{ Einzelprozessorleistung} = 8 * 0,18 = 1,44, \text{ Leistung} = 97,64 * 1,44 = 140,6$$

Programm 2:

$$\text{Speedup} = 803,93, \text{ Einzelprozessorleistung} = 8 * 0,1 = 0,8, \text{ Leistung} = 803,93 * 0,8 = 643,14$$

Summe:

$$\text{Leistung Programm 1} * 0,4 + \text{Leistung Programm 2} * 0,6 = 140,6 * 0,4 + 643,14 * 0,6 = 442,12$$

Konfiguration 2:

Programm 1:

$$\text{Speedup} = 83,8, \text{ Einzelprozessorleistung} = 16 * 0,5 = 8, \text{ Leistung} = 83,8 * 8 = 670,38$$

Programm 2:

$$\text{Speedup} = 338,85, \text{ Einzelprozessorleistung} = 16 * 0,05 = 0,8, \text{ Leistung} = 338,85 * 0,8 = 271,08$$

Summe:

$$\text{Leistung Programm 1} * 0,4 + \text{Leistung Programm 2} * 0,6 = 670,38 * 0,4 + 271,08 * 0,6 = 430,8$$

## Kostenberechnung

Kosten sind Invest + Laufzeit (Jahre) \* laufende Kosten

Konfiguration 1:

$$\text{Kosten} = 20 + 2,5 * 5 + 0,4 * 5 = 34,5 \text{ M€}$$

Konfiguration 2:

$$\text{Kosten} = 30 + 2 * 5 + 0,2 * 5 = 41 \text{ M€}$$

## Preis-Leistung

$$\text{Kosten-Leistung} = \text{Kosten} / \text{Leistung}$$

Konfiguration 1:

$$\text{Preis-Leistung} = 34,5 / 442,12 = 0,078$$

Konfiguration 2:

$$\text{Preis-Leistung} = 41 / 430,8 = 0,095$$

Die relativen Kosten für Konfiguration 1 sind um 20% niedriger als die für Konfiguration 2.