Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Technische Informatik
Prof. Dr. Wolfgang Karl

Klausur Rechnerstrukturen
Wintersemester 2011/2012
Musterlösung

Aushang der Ergebnisse: ab Ende März 2012

Musterlösung 1: Parallelverarbeitung und Architekturen **9P**

Quantitative Maßzahlen **3P**

a) Amdahls Gesetz (Je 0,5P für Formel und Erklärung): *2P*

$$T(n) = \underbrace{\frac{T(1)}{n} * (1-a)}_{1} \; + \; \underbrace{T(1) * a}_{2}$$

Die Formel zerfällt in die Ausführungszeit des parallel ausführbaren Programmteils 1 und den rein sequentiell ausführbaren Programmteil 2. Es gilt: a mit $(0 \leq a \leq 1)$ ist der der Anteil des Programms, der nur sequentiell ausgeführt werden kann.

(1P für Rechnung)

$$T(n) = \frac{T(1)}{n} * (1-a) \;\; + \;\; T(1) * a = T(1) * \left(\frac{1-a}{n} + a \right)$$

$$= T(1) * \frac{1-a+na}{n} = T(1) * \frac{1+(n-1)a}{n}$$

$$= 5120 * \frac{1+(256-1)*\frac{1}{255}}{256} = 5120 * \frac{2}{256} = 40$$

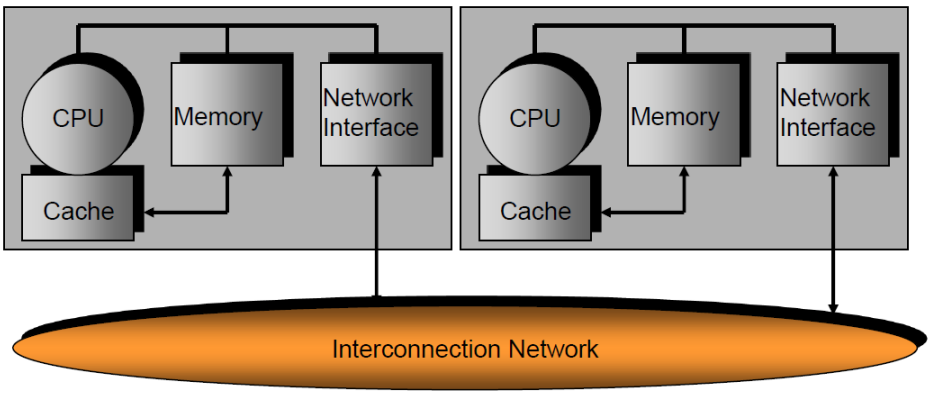
b) Abschätzung: $\frac{1}{n} \leq E(n) \leq U(n) \leq 1$ *1P*

Parallele Architekturen und Parallelisierung **6P**

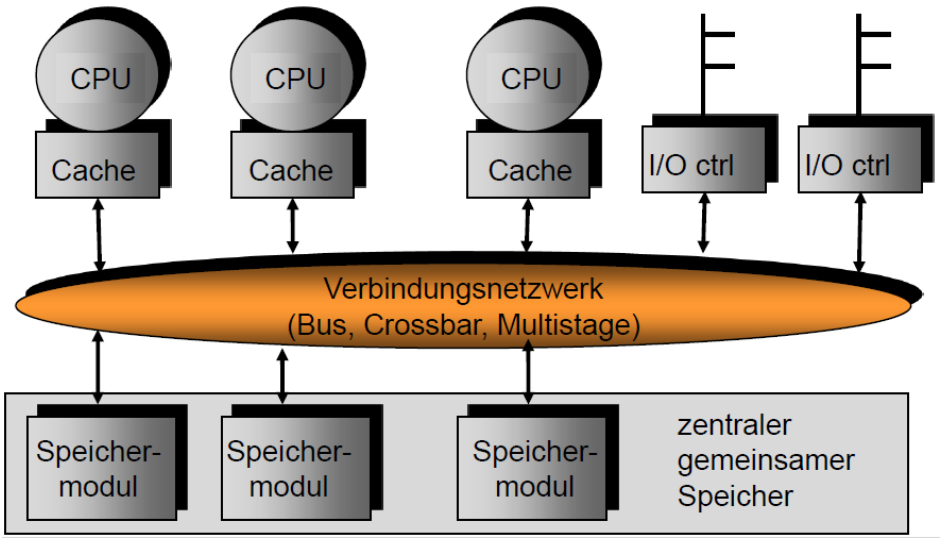
c) Dekomposition, Zuweisung, Festlegung *1,5P*

d) Verwaltungsaufwand (Overhead) gering halten, vgl. Amdahls Gesetz *1P*

e) *2,5P*



- NORMA
- MPI



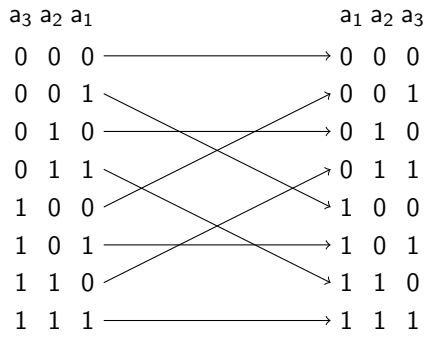
- UMA
- OpenMP
- SMP

f) Multiple Instruction, Multiple Data (MIMD) *1P*

Musterlösung 2: Verbindungsstrukturen **9P**

a) Die Umkehrpermutation ergibt für $n = 3$ dasselbe Grundmuster wie bei der Kreuzpermutation (Butterfly). *1P*

Umkehrpermutation:



b) Maximale Datenmenge, die das Netzwerk über die Bisektionslinie, die das Netzwerk in zwei Hälften teilt, pro Sekunde transportieren kann. *1P*

c) *2P*
- Statische Verbindungsnetze:
  - Baum
- Dynamische Verbindungsnetze:
  - Bus
  - Kreuzschiene
  - Schalternetzwerk

d) minimale Bisektionsbreite, Diskonnektivität, Wurzelknoten, Flaschenhals, Ausweichverbindungen,... *1P*

e) *1P*
- Ansteigende Belastung der Verbindungen in Richtung Wurzelknoten
- Kann durch Fat-Tree abgemildert werden

f) *1P*
- $K =$ Radius: Anzahl der Knoten, die einen Zyklus in einer Dimension bilden
- $n =$ Dimension

g) *2P*
- 3D-Torus (1P)
- $N = K^n$ Knoten, hier also $N = 3^3 = 27$ Knoten
- $2 * n$ Knotengrad (mit Rückwärtskanten), hier also $2 * n = 2 * 3 = 6$

Musterlösung 3: Speicherhierarchie **12P**

Cache-Leistung **3P**

a) $t_{a-1} = r_{H-L1} * t_{H-L1} + (1 - r_{H-L1}) * t_{Mem}$ *1P*

$t_{a-2} = r_{H-L1} * t_{H-L1} + (1 - r_{H-L1}) * (r_{H-L2} * t_{H-L2} + ((1 - r_{H-L2}) * t_{Mem}))$

b) A: *2P*

$t_A = 10\,ns * 0.8 + 0.2 * 100\,ns = 28\,ns$

B:

$t_B = 0.7 * 8\,ns + 0.3 * (0.5 * 16\,ns + 0.5 * 100\,ns)$

$t_B = 5.6\,ns + 0.3 * (8\,ns + 50\,ns) = 5.6\,ns + 0.3 * 58\,ns$

$t_B = 5.6\,ns + 17.4\,ns = 23\,ns$

$t_B < t_A$, Entwurfsalternative B ist schneller und daher zu wählen.

MESI-Kohärenzprotokoll **9P**

c) Bei der Verwendung des Write-Through-Verfahrens sind nur die Zustände Shared und Invalid relevant. *1P*

d) *4P*

Zustand	Zustands-übergang	Auslösendes Ereignis
Modified	M ⇒ M	RH, WH
	M ⇒ E	-
	M ⇒ S	-
Exclusive	E ⇒ M	WH
	E ⇒ E	RH
	E ⇒ S	-
Shared	S ⇒ M	WH
	S ⇒ E	-
	S ⇒ S	RH
Invalid	I ⇒ M	WM
	I ⇒ E	RM
	I ⇒ S	-

e) *($\frac{1}{2}$P Abzug pro Fehler)* *4P*

Prozessor	Aktion	Prozessor 1			Prozessor 3		
		Line 1	Line 2	Line 3	Line 1	Line 2	Line 3
	init	-	-	-	-	-	-
2	rd 1				1/E		
2	rd 2					2/E	
1	rd 3	3/E					
1	rd 4		4/E				
1	wr 1			1/M	1/I		
2	rd 3	3/S			3/S		
1	rd 1			1/M			
2	wr 3	3/I			3/M		
2	wr 4		4/I				4/M
1	rd 3	3/S			3/S		
1	wr 4		4/M				4/I
2	wr 2					2/M	

Musterlösung 4: Rechnerarchitektur 11P

Parallelismus auf Befehlsebene 6P

a) Completion bedeutet, dass der Befehl abgearbeitet wurde und das sein Ergebnis als Eingabe für weitere Befehle dienen kann. ($\frac{1}{2}$P) *1P*
Commitment bedeutet, dass der Befehl in der ursprünglichen Befehlsfolge gültig gemacht wurde. ($\frac{1}{2}$P) Der Befehl hängt von keiner Spekulation ab und alle Befehle vor ihm in der Befehlsreihenfolge sind auch gültig gemacht worden.

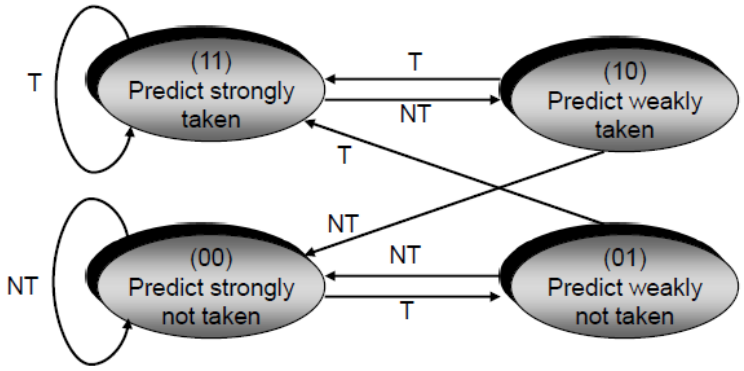
b) *5P*

Feld	R1	R2	R3	R4
Value	-	-	-	-
Valid	0	0	0	0
RS	Mul 1	Int 1	Div 1	Int 2

Unit	Empty	InFU	Op	Dest	Src1	Vld1	RS1	Src2	Vld2	RS2
Int 1	0	0	add	R2	-	0	Mul 1	(R2)	1	-
Int 2	0	0	add	R4	-	0	Div 1	-	0	Mul 1
Mul 1	0	1	mul	R1	(R2)	1	-	(R3)	1	-
Div 1	0	1	div	R3	(R4)	1	-	(R2)	1	-

Sprungvorhersage 5P

c) *1P*



d) Tabelle: *4P*

	S1				S2			
	Init	Vhs.	Sprung	Präd neu	Init	Vhs.	Sprung	Präd neu
1	(**NT** , NT)	NT	T	(T , NT)	(NT , **NT**)	NT	T	(NT , T)
2	(T , **NT**)	NT	NT	(T , NT)	(**NT** , T)	NT	NT	(NT, T)
3	(**T** , NT)	T	T	(T, NT)	(NT , **T**)	T	T	(NT , T)
4	(T, **NT**)	NT	T	(T , T)	(NT , **T**)	T	T	(NT , T)

Musterlösung 5: Fehlertoleranz **10P**

Ausfallverhalten **2P**

a) Spätphase *1P*

b) Alterungseffekte führen zu altersbedingten Ausfällen *1P*

Redundanzsysteme **6P**

c) Zuverlässigkeitsblockdiagramm: *1P*

```
   |--RS1--RS2--RS3--|
   |--RS2--RS3--RS4--|
 --+--RS1--RS2--RS4--+--V--M-
   |--RS1--RS3--RS4--|
   |-RS1-RS2-RS3-RS4-|
```

d) Systemfunktion: $SF = (RS_1 \wedge RS_2 \wedge RS_3 \vee RS_2 \wedge RS_3 \wedge RS_4 \vee RS_1 \wedge RS_2 \wedge RS_4 \vee RS_1 \wedge RS_3 \wedge RS_4 \vee RS_1 \wedge RS_2 \wedge RS_3 \wedge RS_4) \wedge V \wedge M$ *1P*

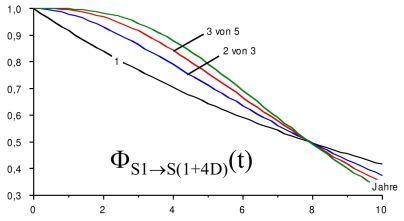
e) Funktionswahrscheinlichkeit für ein 3-aus-4 System mit Mehrheitsentscheider: *1,5P*

$\varphi_4^3 = \varphi(V) * \sum_{k=3}^{4} \binom{4}{k} * \varphi(RS)^k * (1 - \varphi(RS))^{(4-k)}$

Funktionswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems:

$\varphi_{System} = \varphi_4^3 * \varphi(M)$

f) Das 2-aus-3-System zeigt in der Anfangszeit eine höhere Funktionswahrscheinlichkeit als das System ohne Redundanz, nach 8 Jahren kehrt sich dieser Effekt jedoch um($\frac{1}{2}$P). Also entscheiden Sie sich zum Zeitpunkt $x_t = 9$ Jahre aufgrund der höheren Funktionswahrscheinlichkeit und des geringeren Bedarfs an Ressourcen für das System ohne Redundanz(1P). *1,5P*



g) Die Hybridredundanz vereinigt die statische($\frac{1}{2}$P) und die dynamische Redundanz($\frac{1}{2}$P). *1P*

Berechnungen zur Verfügbarkeit **2P**

h) $V = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR} \overset{V \neq 0}{\Leftrightarrow} \frac{1}{V} = \frac{MTTF+MTTR}{MTTF}$ *1P*
$\Leftrightarrow \frac{MTTF}{V} = MTTR + MTTF \Leftrightarrow MTTR = \frac{MTTF}{V} - MTTF$

i) Eingesetzt: $MTTR = \frac{950\,h}{0.95} - 950\,h = 50\,h$ *1P*

Musterlösung 6: Quantifizierung **9P**

Analytische/empirische Leistungsbewertung: **2P**

a) Monitore ($\frac{1}{2}$P) und Implementierung in Software ($\frac{1}{2}$P). *1P*

b) Typischerweise Erweiterung des Betriebssystems um eine Monitoringkomponente um Informationen über Verkehrsverhältnisse während des normalen Betriebs zum Zweck der Rechnerbewertung sammeln zu können. *1P*

Verfahren zur Leistungsbewertung: **4P**

c) Modelltheoretische Verfahren. *1P*

d) Modellbildung ($\frac{1}{2}$P): Annahmen über die Struktur und Betrieb des Rechners ($\frac{1}{2}$P), Darstellung der relevanten Merkmale des Systems ($\frac{1}{2}$P), Abstrahierung komplexer Systeme ($\frac{1}{2}$P) *2P*

e) Aufdecken von Beziehungen zwischen Systemparametern ($\frac{1}{2}$P), Ermitteln von Leistungsgrößen ($\frac{1}{2}$P). *1P*

Leistungsbewertung mit Benchmarks: **3P**

f) $Spec_{ratio\,x} = \frac{Referenzzeit_x}{Laufzeit_x auf Testsystem}$ für einen Benchmark x. Damit (jeweils $\frac{1}{2}$P): *1P*

System 1: $Spec_{ratio\,A} = \frac{4\,s}{2\,s} = 2$, $Spec_{ratio\,B} = \frac{10\,s}{20\,s} = 0,5$

System 2: $Spec_{ratio\,A} = \frac{4\,s}{4\,s} = 1$, $Spec_{ratio\,B} = \frac{10\,s}{5\,s} = 2$

g) $Spec_{int\,base} = \sqrt[n]{\prod_{x=1}^{n} Spec_{ratio\,x}}$ eingesetzt mit $n = 2$: *1P*

System 1: $Spec_{int\,base} = \sqrt{2 * 0,5} = 1$

System 2: $Spec_{int\,base} = \sqrt{1 * 2} = \sqrt{2} > 1$

h) Sie wählen System 2 aufgrund des höheren $Spec_{int\,base}$-Wertes, der eine höhere Leistung verspricht. *1P*