



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

**Klausur Rechnerstrukturen**  
**Sommersemester 2011**  
**Musterlösung**

Aushang der Ergebnisse: ab Mitte September 2011

## Musterlösung 1: Parallelverarbeitung und Verbindungsstrukturen

9P

### Quantitative Maßzahlen

4P

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

1P

$$T(n) = \underbrace{\frac{T(1)}{n} * (1 - a)}_1 + \underbrace{T(1) * a}_2$$

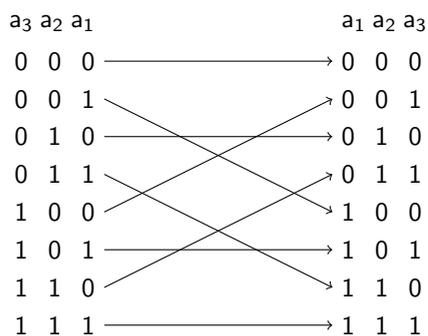
Die Formel zerfällt in die Ausführungszeit des parallel ausführbaren Programnteils 1 und den rein sequentiell ausführbaren Programnteil 2. Es gilt:  $a$  mit  $(0 \leq a \leq 1)$  ist der Anteil des Programms, der nur sequentiell ausgeführt werden kann.

- b) • (0,5P)  $U(n) = \frac{I(n)}{n} = R(n) * E(n) = \frac{P(n)}{n * T(n)}$  1P  
 • (0,5P)  $R(n) = \frac{P(n)}{P(1)}$
- c) Die absolute Beschleunigung und absolute Effizienz erhält man, indem der beste sequentielle Algorithmus mit dem besten parallelen Algorithmus verglichen wird. 1P
- d) Der Zusatzaufwand für die Parallelisierung durch Kommunikation und Synchronisation „verfälscht“ das Ergebnis bei der sequentiellen Ausführung. 1P

### Verbindungsstrukturen

5P

- e) • Fähigkeit, die wesentlichen Eigenschaften des Verbindungsnetzes auch bei beliebiger Erhöhung der Knotenzahl beizubehalten. 1P  
 • Vergrößerung möglich ohne die wesentlichen Eigenschaften des Netzwerks zu verlieren.
- f) Kreuzpermutation: 1P



- g)    • Durchmesser: 6 *1P*  
      • Minimale Bisektionsbreite: 4
- h) Bei einem fehlertoleranten Netz muss zwischen jedem Paar von Knoten (0,5P) mindestens ein weiterer, redundanter Weg vorhanden sein (0,5P). *1P*
- i)    • Anzahl der Knoten  $N = K^n$  *1P*  
      • Verbindungsgrad:  $2n$

## Musterlösung 2: Parallele Architekturen

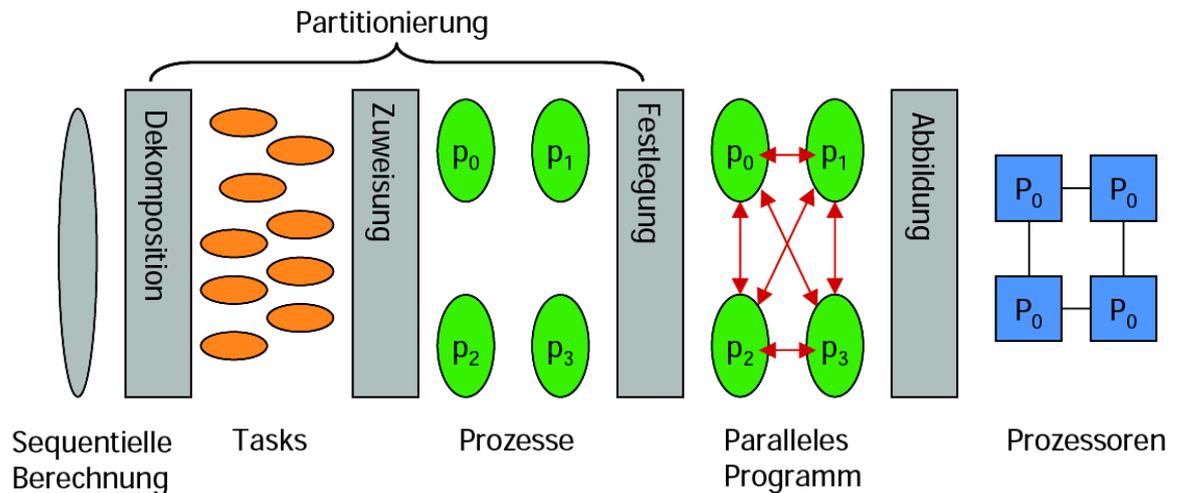
8P

### Parallele Architekturen und Parallelisierung

6P

a)

2P

b) *Das Problem selbst* muss skalieren (Problemgröße, Parallelisierbarkeit).

1P

c)

3P

|                       | Gemeinsamer Speicher  | Physikalisch verteilter Speicher  |
|-----------------------|---|---|
| Globaler Adressraum   | <p>SMP Symmetrischer Multiprozessor</p> <p>UMA: Uniform Memory Access</p> | <p>DSM Distributed-shared-memory Multiprozessor</p> <p>NUMA: Non-Uniform Memory Access</p>                    |
| Getrennte Adressräume | <p>leer</p>   | <p>Nachrichtengekoppelter (Shared-nothing) Multiprozessor / Cluster</p> <p>NORMA: No Remote Memory Access</p> |

**Vektorverarbeitung****2P**

- d)   • (0,5 P) Vektorprozessoren (Vektorrechner): SIMD  
      • (0,5 P) Nachrichtengekoppelte Parallelrechner: MIMD

*1P*

## e) Verkettung (0,5 P)

*1P*

- Verkettung mehrerer (spezialisierter) Pipelines
- Die Ergebnisse einer Pipeline werden sofort der nächsten Pipeline zur Verfügung gestellt.

(0,5 P für Erklärung)

## Musterlösung 3: Fragen des Rechnerentwurfs

8P

### Leistungsaufnahme

4P

a)  $P_{switching} = C_{eff} * U^2 * f$

0,5 P

b)  $C_{eff}$  bleibt unverändert.

2 P

$$Reduction = \frac{Power_{new}}{Power_{old}} = \frac{U_{new}^2 * f_{new}}{U_{old}^2 * f_{old}} = \frac{(0.8 * U_{old})^2 * (0.5 * f_{old})}{U_{old}^2 * f_{old}} = 0.8^2 * 0.5 = 0.32$$

D.h. die elektrische Leistungsaufnahme kann auf 32% gesenkt werden.

c) Reduktion von  $C_{eff}$ , dadurch Reduktion von  $P_{switching}$  ( $\frac{1}{2}$ P)

1,5P

Reduktion von  $P_{shortcircuit}$  ( $\frac{1}{2}$ P)

Keine Beeinflussung von  $P_{static}$  und  $P_{leakage}$  ( $\frac{1}{2}$ P)

### Low-Power-Entwurf

4P

d) Formel:  $\mathbb{P}_{Schalt} = 2 * \mathbb{P}(1) * (1 - \mathbb{P}(1))$

0,5 P

e) Signalwahrscheinlichkeit linkes ODER-Gatter:

3,5 P

$$\mathbb{P}_{links}(1) = 1 - \mathbb{P}(0) = 1 - \mathbb{P}_{Eingang1}(0) * \mathbb{P}_{Eingang2}(0) = 1 - \frac{1}{2} * \frac{3}{4} = \frac{5}{8}$$

Schaltwahrscheinlichkeit linkes ODER-Gatter:

$$\mathbb{P}_{Schalt\ links} = 2 * \frac{5}{8} * (1 - \frac{5}{8}) = \frac{15}{32}$$

Signalwahrscheinlichkeit rechtes ODER-Gatter:

$$\mathbb{P}_{rechts}(1) = 1 - \frac{3}{8} * \frac{1}{2} = \frac{13}{16}$$

Schaltwahrscheinlichkeit rechtes ODER-Gatter:

$$\mathbb{P}_{Schalt\ rechts} = 2 * \frac{13}{16} * (1 - \frac{13}{16}) = \frac{13}{8} * \frac{3}{16} = \frac{39}{128}$$

Gesamt Schaltwahrscheinlichkeit:

$$\mathbb{P}_{Schalt} = \frac{15}{32} + \frac{39}{128} = \frac{60}{128} + \frac{39}{128} = \frac{99}{128}$$

## Musterlösung 4: Rechnerarchitektur

15P

- a) Dynamische Parallelisierung mittels Hardware (Superskalartechnik) vs. statische Parallelisierung durch den Compiler (VLIW-Technik). *1P*
- b) *5P*

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

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

- c) Statische Sprungvorhersage ist für einen Befehl immer gleich. Bei dynamischen Sprungvorhersagetechniken ist die Vorhersagerichtung abhängig von der Vorgeschichte der Verzweigung. *1P*
- d) Tabelle: *4P*

| Richtung | Aktuelle Vorhersage |             |       |
|----------|---------------------|-------------|-------|
|          | Historie            | Prädiktor   | Vorh. |
| NT       | T                   | ( T , T )   | T     |
| T        | NT                  | ( T , NT )  | T     |
| NT       | T                   | ( T , NT )  | NT    |
| NT       | NT                  | ( T , NT )  | T     |
| T        | NT                  | ( NT , NT ) | NT    |
| NT       | T                   | ( T , NT )  | NT    |
| NT       | NT                  | ( T , NT )  | T     |
| T        | NT                  | ( NT , NT ) | NT    |

- e) Tabelle: *4P*

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

## Musterlösung 5: Fehlertoleranz

10P

### Ausfallverhalten

2P

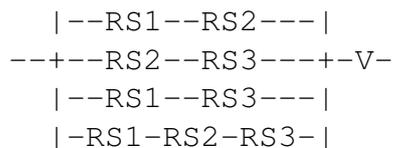
- a) Spätphase 1P  
 b) Alterungseffekte führen zu altersbedingten Ausfällen 1P

### Redundanzsysteme

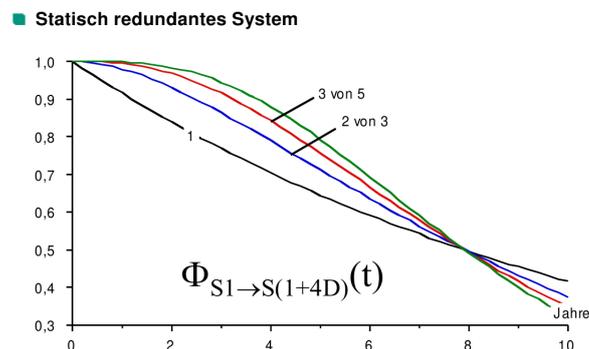
5P

- c) Zuverlässigkeitsblockdiagramm:

1P



- d) Systemfunktion:  $SF = (RS_1 \wedge RS_2 \vee RS_2 \wedge RS_3 \vee RS_1 \wedge RS_3 \vee RS_1 \wedge RS_2 \wedge RS_3) \wedge V$  1P  
 e) Funktionswahrscheinlichkeit für ein 2-aus-3 System mit Mehrheitsentscheider: 1,5P  
 $\varphi_3^2 = \varphi(V) * \sum_{k=2}^3 \binom{3}{k} * \varphi(RS)^k * (1 - \varphi(RS))^{(3-k)}$   
 f) Das 3-aus-5-System zeigt in der Anfangszeit eine höhere Funktionswahrscheinlichkeit als das 2-aus-3-System, nach einiger Zeit (Schnittpunkt der beiden Graphen im Bild) kehrt sich dieser Effekt jedoch um. 1,5P



### Berechnungen zur Verfügbarkeit

3P

- g)  $V = \frac{MTTF}{MTBF} = \frac{MTTF}{MTTF+MTTR}$  1P  
 h) Eingesetzt:  $0.98 = \frac{MTTF}{MTTF+10h} \iff 0.98 = 1 - \frac{10h}{MTTF+10h} \iff 0.002 = \frac{10h}{MTTF+10h} \iff 500h = MTTF + 10h \iff MTTF = 490h$  1P  
 i) Es gilt  $z(t) \sim \frac{d}{dt} F_L(t)$ . Die Ausfallrate ist proportional zur ersten Ableitung der Fehlerwahrscheinlichkeit. Richtig ist auch:  $z(t) \sim \frac{1}{1-F_L(t)}$ . Die Ausfallrate ist antiproportional zur Überlebenswahrscheinlichkeit (welche als Gegenwahrscheinlichkeit zur Fehlerwahrscheinlichkeit definiert ist). 1P

## Musterlösung 6: Quantifizierung

10P

### Analytische/empirische Leistungsbewertung

3P

- a) Gesetz von Little & Rechnung:  $Q = W * D \Leftrightarrow D = \frac{Q}{W}$ , für  $W \neq 0$ , Q: Anzahl von Aufträgen in der Warteschlange, W: Wartezeit, D: Durchsatz 1P

Mit  $Q_A = 45$  und  $W_A = 90 \text{ Minuten} = 3/2 \text{ Stunden} \Rightarrow D_A = \frac{45 \frac{\text{Jobs}}{\text{Stunde}}}{3/2 \text{ Stunden}} = 30 \frac{\text{Jobs}}{\text{Stunde}}$

verglichen mit  $D_B = 20 \frac{\text{Jobs}}{\text{Stunde}}$  entscheiden Sie sich für System A, da  $D_A > D_B$ . Der Durchsatz ist für den Rechenzentrumsleiter von zentraler Bedeutung (Systemsicht!).

- b) Software-Monitore: Einfach zu realisieren. Bedingt durch die Integration in die Anwendung / Betriebssystem beeinflussen Software-Monitore die normalen Betriebsverhältnisse 2P

Hardware-Monitore: Aufwändiger in der Realisierung, aufwändige Hardwareentwicklung notwendig. Keine Beeinflussung des Systems.

### Modelltheoretische Verfahren

3P

- c) Modelltheoretische Verfahren sind unabhängig von der Existenz des Rechners 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

### Leistungsbewertung mit Benchmarks

4P

- e) SPEC ermöglicht einen fairen Vergleich ( $\frac{1}{2}$ P) von unterschiedlichen Systemen inklusive Compiler und OS ( $\frac{1}{2}$ P). 1P
- f)  $Spec_{ratio x} = \frac{Referenzzeit_x}{Laufzeit_x \text{ auf Testsystem}}$  für einen Benchmark  $x$ . (jeweils  $\frac{1}{2}$ P). 1P
- g)  $Spec_{int base} = \sqrt[n]{\prod_{x=1}^n Spec_{ratio x}}$  für alle  $n$  Integer-Benchmarks übersetzt und ausgeführt mit konservativen Optimierungseinstellungen (base). 1P
- h) Die faire Vergleichbarkeit ( $\frac{1}{2}$ P). Man könnte die "neuen" Messwerte nicht mehr direkt mit den "alten" Vergleichen, sondern müsste die bisherigen erneut bestimmen ( $\frac{1}{2}$ P). 1P