

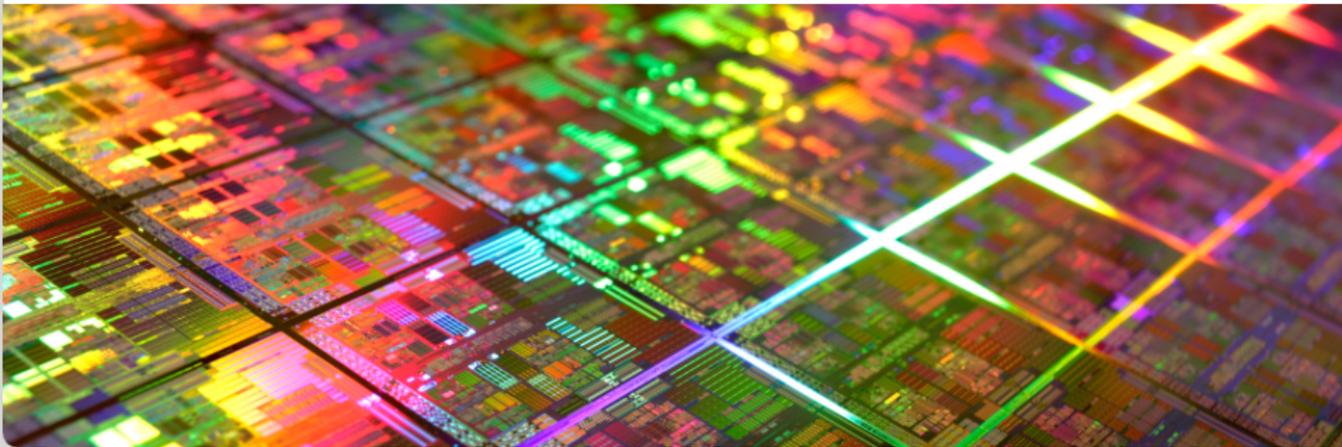
# Zentralübung Rechnerstrukturen im SS 2013

## Low-Power-Entwurf und Leistungsbewertung

Martin Schindewolf, Wolfgang Karl

Lehrstuhl für Rechnerarchitektur und Parallelverarbeitung

16. Mai 2013



## Low-Power-Entwurf

Leistungsverbrauch

## Leistungsfähigkeit

- **Quantifizierung der Leistungsfähigkeit?**
  - Was ist Leistungsfähigkeit?
  - Was bedeutet “schneller”?
  - Wie sind Systeme zu vergleichen?
  
- **Entscheidung bei Entwurf, Auswahl und Veränderung von Rechenanlagen**
  - Objektive Quantifizierung
  - Erfassen des gesamten Systems, nicht nur von Teilaspekten

## Leistungsverbrauch

$$P_{total} = P_{switching} + P_{shortcircuit} + P_{static} + P_{leakage}$$

- $P_{switching}$ : Leistungsaufnahme durch Umladen der kapazitiven Last

$$\text{Schaltleistung: } P_{switching} = C_{eff} * U^2 * f$$

- $P_{shortcircuit}$ : Leistungsaufnahme aufgrund von Kurzschluss im CMOS-Gatter bei Zustandsänderung
- $P_{static}$ : Statische Leistungsaufnahme der Schaltung
- $P_{leakage}$ : Leckströme

## Zusammenhänge

- Miniaturisierung steigert Einfluss des Leckstroms
- Temperaturerhöhung steigert Einfluss der Leckstroms
- $P \sim U^2 * f$ : Abhängigkeiten, Steigerungsraten
- $U \sim f \Rightarrow$  "Kubus-Regel":  $P \sim U^3$

## Aufgabe 1

Die Kernspannung von Prozessoren ist seit den 80er Jahren von 5V auf 0.8V gesenkt worden. Im gleichen Zeitraum stieg die Frequenz von 1MHz auf 3GHz.

- Was bedeutet dies für die aufgenommene elektrische Leistung?

## Lösung

- Spannungsabsenkung: 5V  $\rightarrow$  0.8V  
 $\Rightarrow U^2$ : 25  $\rightarrow$  0.64 (Faktor 39.06)
- Frequenzerhöhung: 1MHz  $\rightarrow$  3GHz: Faktor 3000
- Aus  $P \sim U^2 * f$  resultiert eine Zunahme der elektrischen Leistung um den Faktor  $3000/39.06 \approx 76.8$ .

## Aufgabe 1

Die Kernspannung von Prozessoren ist seit den 80er Jahren von 5V auf 0.8V gesenkt worden. Im gleichen Zeitraum stieg die Frequenz von 1MHz auf 3GHz.

- Was bedeutet dies für die aufgenommene elektrische Leistung?

## Lösung

- Spannungsabsenkung: 5V  $\rightarrow$  0.8V  
 $\Rightarrow U^2$ : 25  $\rightarrow$  0.64 (Faktor 39.06)
- Frequenzerhöhung: 1MHz  $\rightarrow$  3GHz: Faktor 3000
- Aus  $P \sim U^2 * f$  resultiert eine Zunahme der elektrischen Leistung um den Faktor  $3000/39.06 \approx 76.8$ .

## Aufgabe 2

Beim Übertakten von Prozessoren erhöht man häufig die Kernspannung.

- Warum erhöht man die Spannung?
- Wie fließt die Kernspannungserhöhung in die Leistungsaufnahme ein und was bedeutet dies?

## Lösung

- Steilere Flanken nötig und über höhere Spannung möglich
- Mit mehr Spannung ergibt schnelleres Laden von  $C_{eff}$  steilere Flanken
- $P_{switching} = C_{eff} * U^2 * f$
- Nachteil: Spannungsbeitrag wird quadratisch errechnet

## Aufgabe 2

Beim Übertakten von Prozessoren erhöht man häufig die Kernspannung.

- Warum erhöht man die Spannung?
- Wie fließt die Kernspannungserhöhung in die Leistungsaufnahme ein und was bedeutet dies?

## Lösung

- Steilere Flanken nötig und über höhere Spannung möglich
- Mit mehr Spannung ergibt schnelleres Laden von  $C_{eff}$  steilere Flanken
- $P_{switching} = C_{eff} * U^2 * f$
- Nachteil: Spannungsbeitrag wird quadratisch errechnet

## Aufgabe 3

Welcher Bestandteil der Leistungsaufnahme war früher vernachlässigbar, spielt heute jedoch eine überaus zentrale Rolle?

## Lösung

- Aufgrund immer weiterer Verfeinerung der Strukturen spielen mittlerweile die **Leckströme** eine erhebliche Rolle bei der Leistungsaufnahme.
- Leckströme sind ursächlich daran schuld, dass die bisher erfahrene Verkleinerung der Strukturen nicht automatisch zu einer signifikanten Reduzierung der Stromaufnahme führt (und damit eine gesteigerte Taktung ermöglicht).
- Leckströme steigen mit höherer Temperatur.

## Aufgabe 3

Welcher Bestandteil der Leistungsaufnahme war früher vernachlässigbar, spielt heute jedoch eine überaus zentrale Rolle?

## Lösung

- Aufgrund immer weiterer Verfeinerung der Strukturen spielen mittlerweile die **Leckströme** eine erhebliche Rolle bei der Leistungsaufnahme.
- Leckströme sind ursächlich daran schuld, dass die bisher erfahrene Verkleinerung der Strukturen nicht automatisch zu einer signifikanten Reduzierung der Stromaufnahme führt (und damit eine gesteigerte Taktung ermöglicht).
- Leckströme steigen mit höherer Temperatur.

**Statistische Verfahren** (Schaltwahrscheinlichkeiten) im Low-Power-Bereich von Bedeutung

## Signalwahrscheinlichkeit - Beispiel: UND-Gatter

Gegeben sei ein UND-Gatter mit zwei Eingängen. Die Eingabewerte 0, 1 seien gleichverteilt.

- UND: 1 wenn beide Eingänge 1, sonst 0
- **Signalwahrscheinlichkeit**  
4 Möglichkeiten (00, 01, 10, 11), davon eine mit Ausgang "1":  
somit  $\mathbb{P}(\text{Ausgang} = 1) = \frac{1}{4}$ ,  $\mathbb{P}(\text{Ausgang} = 0) = \frac{3}{4}$
- Berechnung von  $\mathbb{P}(1)$  bzw.  $\mathbb{P}(0)$  auch über boolesche Funktion möglich:  $\mathbb{P}(1) = \mathbb{P}(a = 1 \wedge b = 1) = \frac{1}{2} * \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

## Schaltwahrscheinlichkeit - Allgemeine Formel

Wahrscheinlichkeit, dass Gatter schaltet

$$\begin{aligned} \blacksquare \mathbb{P}_{Schalt} &= \mathbb{P}(0 \rightarrow 1 \vee 1 \rightarrow 0) \\ &= \mathbb{P}(0 \rightarrow 1) + \mathbb{P}(1 \rightarrow 0) \\ &= \mathbb{P}(0) * \mathbb{P}_{neu}(1) + \mathbb{P}(1) * \mathbb{P}_{neu}(0) \\ &= \mathbb{P}(0) * \mathbb{P}(1) + \mathbb{P}(0) * \mathbb{P}(1) \\ &= 2 * \mathbb{P}(1) * \mathbb{P}(0) \\ &= 2 * \mathbb{P}(1) * (1 - \mathbb{P}(1)) \end{aligned}$$

## Aufgabe 4 ODER-Gatter

Zur Ermittlung der Schaltwahrscheinlichkeit einer Schaltung wird häufig ein statistisches Modell herangezogen. Geben Sie eine allgemeine Formel zur Berechnung der Schaltwahrscheinlichkeit

$\mathbb{P}_{Schalt}$  an und berechnen Sie diese für ein ODER-Gatter mit  $\mathbb{P}_{Eingang\ 1=1} = \frac{1}{4}$  und  $\mathbb{P}_{Eingang\ 2=1} = \frac{3}{4}$ .

### Allgemeine Formel

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

## Aufgabe 4 ODER-Gatter

Zur Ermittlung der Schaltwahrscheinlichkeit einer Schaltung wird häufig ein statistisches Modell herangezogen. Geben Sie eine allgemeine Formel zur Berechnung der Schaltwahrscheinlichkeit

$\mathbb{P}_{Schalt}$  an und berechnen Sie diese für ein ODER-Gatter mit  $\mathbb{P}_{Eingang\ 1=1} = \frac{1}{4}$  und  $\mathbb{P}_{Eingang\ 2=1} = \frac{3}{4}$ .

## Allgemeine Formel

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

## Allgemeine Formel

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

## Aufgabe 4 - ODER-Gatter

Signalwahrscheinlichkeit:

$$\mathbb{P}_{Ausgang}(1) = 1 - \mathbb{P}_{Ausgang}(0)$$

$$\mathbb{P}_{Ausgang}(1) = 1 - \frac{3}{4} * \frac{1}{4} = \frac{13}{16}$$

Schaltwahrscheinlichkeit:

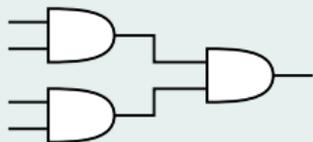
$$\mathbb{P}_{Schalt} = 2 * \mathbb{P}(1) * (1 - \mathbb{P}(1))$$

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

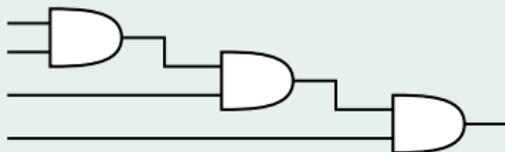
## Aufgabe 5 Auswirkung von Schaltwahrscheinlichkeiten

- Inwiefern unterscheiden sich die folgenden Schaltungen hinsichtlich ihres Schaltverhaltens und Leistungsverbrauchs?
- $\mathbb{P}_{\text{Eingangssignal}=1} = \mathbb{P}_{\text{Eingangssignal}=0} = 0.5$

### Variante 1:



### Variante 2:



## Aufgabe 5

### Variante 1:

- Signalwahrscheinlichkeit linkes UND-Gatter:

$$\mathbb{P}_{links}(1) = \frac{1}{2} * \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

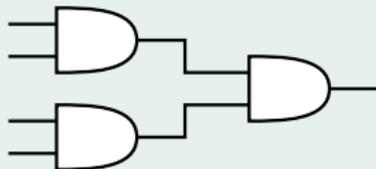
- Schaltwahrscheinlichkeit:  $\mathbb{P}_{Schalt links} = 2 * \frac{1}{4} * \frac{3}{4} = \frac{3}{8}$

- Signalwahrscheinlichkeiten für Eingänge des rechten Gatters = Ausgangssignalwahrscheinlichkeiten der linken Gatter

$$\Rightarrow \mathbb{P}_{rechts}(1) = \frac{1}{4} * \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$$

- $\mathbb{P}_{Schalt rechts} = 2 * \frac{1}{16} * \frac{15}{16} = \frac{15}{128}$

- **Summe** *Schaltwahrscheinlichkeiten*  $= \frac{3}{8} + \frac{3}{8} + \frac{15}{128} = \frac{111}{128}$



## Aufgabe 5

### Variante 2:

■ Signalwahrscheinlichkeit:  $\mathbb{P}_{links}(1) = \frac{1}{2} * \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$

Schaltwahrscheinlichkeit:  $\mathbb{P}_{Schalt links} = 2 * \frac{1}{4} * \frac{3}{4} = \frac{3}{8}$

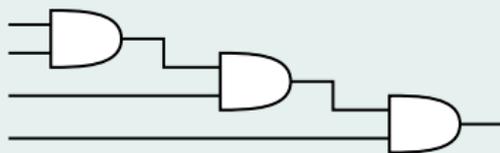
■  $\mathbb{P}_{mitte}(1) = \frac{1}{2} * \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$

$\mathbb{P}_{Schalt mitte} = 2 * \frac{1}{8} * \frac{7}{8} = \frac{7}{32}$

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

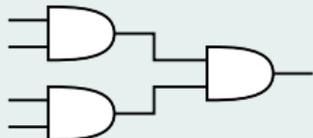
■  $\mathbb{P}_{Schalt rechts} = 2 * \frac{1}{16} * \frac{15}{16} = \frac{15}{128}$

■ **Summe** Schaltwahrscheinlichkeiten =  $\frac{3}{8} + \frac{7}{32} + \frac{15}{128} = \frac{91}{128}$



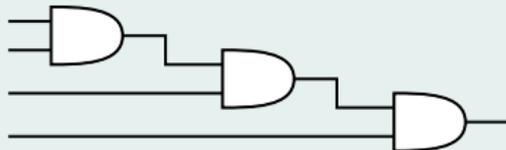
## Auswirkung von Schaltwahrscheinlichkeiten

### Variante 1:



- $Summe_{Schaltw'keiten} = \frac{111}{128}$
- Höherer Leistungsverbrauch
- Geringere Durchlaufzeit

### Variante 2:



- $Summe_{Schaltw'keiten} = \frac{91}{128}$
- Geringerer Leistungsverbrauch
- Höhere Durchlaufzeit

- **Anwendersicht:** Reduzierung von
  - Antwortzeit (response time)
    - Latenzzeit
    - CPU Time (User, System)
  - Ausführungszeit (execution time)
  
- **Betriebssicht:** Erhöhung von
  - Anzahl durchgeführter Jobs
  - Durchsatz
  - Energieeffizienz (Betriebskosten)

→ **Auswertung benötigt Bewertungsverfahren**

## ■ Auswertung von HW-Eigenschaften

- Einfacher Vergleich
- Bewertung sehr spezieller Aspekte (Takt)
- Angabe einer hypothetischen Maximalleistung (MIPS)
- Meist nicht/selten aussagekräftig
- Alltagsbeispiel: GHz-Manie → QuantiSpeed

## ■ Mixe

- Theoretische Berechnung einer mittleren Operationszeit  $T$  aus den Operationszeiten und Auftrethäufigkeiten von  $n$  Befehlen
- $T = \sum_{i=1}^n p_i * t_i$  mit  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$  wobei  $p_i \leq 1$

## ■ Kernprogramme

- Typische Anwenderprogramme, für den zu bewertenden Rechner geschrieben
- Berechnung der Ausführungszeit anhand der Ausführungszeiten der Befehle

## ■ Benchmarks

- Programmsammlungen im Quellcode
- Übersetzung & Messung der Ausführungszeiten
- Problem: Einfluss von OS und Compiler
- Synthetische Benchmarks (Whetstone, Dhrystone), Quasi-Simulation von Anwenderprogrammen
- Kernels (LINPACK)
- Standardisierte Benchmarks (SPEC, TPC, EEMBC...)

## ■ Ziele

- Stellt fairen Vergleich sicher
- Ermöglicht Angabe einer Maximalleistung

## ■ SPEC-Benchmark

- Integer vs. Fließkomma: SPECint / SPECfp
- Geschwindigkeit vs. Durchsatz (rate)
- Optimierung: Konservativ (base) vs. aggressiv

- $SPECratio_x = \frac{t_{ref,x}}{t_{exec}}$

Übungsblatt Aufgabe 5 a):

Die Ergebnistabelle der SPEC-Seite für die Xeon X5677-Architektur gliedert sich in die Spalten **Base** und **Peak**. Erklären Sie den Laufzeitunterschied für 400.perlbench. Vergleichen Sie dies mit den Ergebnissen für 483.xalanbmk.

- **Peak** erlaubt aggressive Optimierungen im Gegensatz zu Base. → **Laufzeitunterschied** durch Optimierung
  - Kaum Laufzeitunterschiede für 483.xalanbmk:
    - Entweder waren die durchgeführten Optimierungen nicht wirkungsvoll,
    - oder weitere Optimierungen wurden nicht angestrebt.
- Sektion **Peak Optimization Flags** zeigt, dass Compileroptimierungen **nicht** verwendet wurden.

# Rechenbeispiel Leistungsbewertung

Übungsblatt Aufgabe 5 b):

Es gilt  $SPEC_{ratio} = \frac{Referenzzeit_x}{Laufzeit_x \text{ auf Testsystem}}$  für einen Benchmark x.

Die Tabelle auf der angegebenen Webseite enthält die **Laufzeiten der Benchmarks** auf dem Testsystem und die  $SPEC_{ratio}$ .

# Rechenbeispiel Leistungsbewertung (forts.)

Results Table				
Benchmark	Base		Peak	
	Seconds	Ratio	Seconds	Ratio
400.perlbench	344	28.4	291	33.6
401.bzip2	443	21.8	442	21.8
403.gcc	303	26.6	269	29.9
429.mcf	198	46.0	174	52.3
445.gobmk	389	26.9	358	29.3
456.hmmer	177	52.8	172	54.4
458.sjeng	426	28.4	408	29.7
<b>462.libquantum</b>	33.8	613	33.8	613
464.h264ref	529	41.8	486	45.5
471.omnetpp	271	23.1	214	29.2
473.astar	310	22.6	297	23.6
483.xalanbmk	168	41.1	168	41.1

Quelle: <http://www.spec.org/cpu2006/results/res2010q2/cpu2006-20100329-10254.html>

# Rechenbeispiel Leistungsbewertung (forts.)

Somit ergibt sich nach dem Umstellen und Einsetzen:

$$\text{Referenzzeit}_{462.\text{libquantum}} = 613 * 33,8 \text{ s} = 20719,4 \text{ s}$$

Übungsblatt Aufgabe 5 c):

Welches der unter

<http://www.spec.org/cpu2006/results/cpu2006.html>  
aufgeführten Systeme entspricht am ehesten dem Referenzsystem?

Antwort: die Suche ergibt: **Ultra Enterprise 2** von Sun Microsystems.

Begründung:

- Die unter b) errechnete Referenzlaufzeit für den ausgewählten Benchmark stimmt annähernd überein:

Benchmark	<i>Referenzzeit</i> <sub>errechnet</sub>	<i>Laufzeit</i> <sub>Ultra Enterprise 2</sub>
462.libquantum	20719,4	20704

- Es wird der  $SPEC_{int\_base}^{2006} = 1.00$  angegeben.

Übungsblatt Aufgabe 5 c):

Welches der unter

<http://www.spec.org/cpu2006/results/cpu2006.html>  
aufgeführten Systeme entspricht am ehesten dem Referenzsystem?

Antwort: die Suche ergibt: **Ultra Enterprise 2** von Sun Microsystems.

Begründung:

- Die unter b) errechnete Referenzlaufzeit für den ausgewählten Benchmark stimmt annähernd überein:

Benchmark	<i>Referenzzeit</i> <sub>errechnet</sub>	<i>Laufzeit</i> <sub>Ultra Enterprise 2</sub>
462.libquantum	20719,4	20704

- Es wird der  $SPEC_{int\_base}^{2006} = 1.00$  angegeben.

## ■ Monitore

- Gezielte Abfrage und Akkumulation von HW-Ereignissen
- Software-Monitore
- Werkzeug zur Optimierung, weniger zur Klassifizierung
- Nachteil: Beeinträchtigung des Systemverhaltens (SW)

## ■ Analytische Methoden

- Deterministisch (feste Werte)
- Stochastisch (verwendet bestimmte Verteilung)
- Operationell (gemessen in festem Zeitintervall)

## ■ Simulationen

- Modellbildung
- Deterministische, stochastische oder aufzeichnungsgesteuerte Simulation

- **Prozessortakt** gibt lediglich den Arbeitstakt (min/typ/max) des Prozessors an.
  - Kein Maß für Leistungsfähigkeit, da keine Aussage über Effizienz, Güte des Befehlssatzes etc.
  - Beispiele: Pentium4 vs. Pentium-M
- **CPI** ist ein Maß für die Effizienz einer Architektur.
  - Unterschied zwischen maximalen CPI unter Idealbedingungen und realen, programmabhängig gemessenen CPI
  - Zur Leistungsbewertung als **alleinige** Maßzahl nicht ausreichend: Effizienz  $\neq$  Geschwindigkeit!
- **MIPS** auf den ersten Blick ideal, weil zwei Maßzahlen (Takt, CPI) zusammengeführt werden.
  - Aufgrund des CPI-Einflusses jedoch ebenfalls vom ausgeführten Programm abhängig
  - Nur unter gleichen Bedingungen (Sourcecode, Compiler, OS) direkt vergleichbar.

- **CPI** (Zyklen pro Instruktion)

$$CPI = \frac{c}{i}$$

- **MIPS** (Million Instructions per Second)

$$MIPS = \frac{i}{t * 10^6} = \frac{f}{CPI * 10^6}$$

- **Taktrate** (Frequenz)

$$f = \frac{c}{t} = \frac{i * CPI}{t} \text{ [Hz]}$$

- **CPU-Zeit**

$$t_{cpu} = c * t_{zyklus}$$

**Beachten Sie auch mögliche Umformungen!**

# Leistungsbewertung 1.

Frage: Welche wichtigen **Architekturparameter** beeinflussen jeweils die Zykluszeit, die Anzahl der Instruktionen und den CPI-Wert?

Antwort:

- Die **Zykluszeit** hängt von der **Organisation** und der **Technologie** ab.
- Die **Anzahl der Instruktionen** ist bedingt durch die **Befehlssatzarchitektur** und die Güte des **Compilers**.
- Die **Zyklen pro Instruktion** werden durch die **Organisation** und die **Befehlssatzarchitektur** beeinflusst.

# Leistungsbewertung 2

Prozessor A arbeitet ein Problem in 2ms ab. Er hat ein CPI von 7/5 und benötigt 3.500.000 Instruktionen für die Abarbeitung der Problemstellung. Prozessor B arbeitet dieses Problem ebenfalls in 2ms ab. Er hat ein CPI von 3/2 und benötigt 1.500.000 Instruktionen.

- **Welcher Prozessor ist für dieses Problem zu wählen und warum?**

$$f = \frac{i \cdot \text{CPI}}{t}, \text{ MIPS} = \frac{f}{\text{CPI} \cdot 10^6}$$

$$f_A = \frac{3.5 \cdot 10^6 \cdot \frac{7}{5}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 2450 \text{ MHz}$$

$$\text{MIPS}_A = \frac{f_A}{\text{CPI}_A \cdot 10^6} \rightarrow \frac{2.45 \cdot 10^9}{\frac{7}{5} \cdot 10^6 \text{ s}} = 1750 \text{ MIPS}$$

$$f_B = \frac{1.5 \cdot 10^6 \cdot \frac{3}{2}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 1125 \text{ MHz}$$

$$\text{MIPS}_B = \frac{f_B}{\text{CPI}_B \cdot 10^6} \rightarrow \frac{1.125 \cdot 10^9}{\frac{3}{2} \cdot 10^6 \text{ s}} = 750 \text{ MIPS}$$

# Leistungsbewertung 2

Prozessor A arbeitet ein Problem in 2ms ab. Er hat ein CPI von 7/5 und benötigt 3.500.000 Instruktionen für die Abarbeitung der Problemstellung. Prozessor B arbeitet dieses Problem ebenfalls in 2ms ab. Er hat ein CPI von 3/2 und benötigt 1.500.000 Instruktionen.

- **Welcher Prozessor ist für dieses Problem zu wählen und warum?**

$$f = \frac{i \cdot \text{CPI}}{t}, \text{ MIPS} = \frac{f}{\text{CPI} \cdot 10^6}$$

$$f_A = \frac{3.5 \cdot 10^6 \cdot \frac{7}{5}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 2450 \text{ MHz}$$

$$\text{MIPS}_A = \frac{f_A}{\text{CPI}_A \cdot 10^6} \rightarrow \frac{2.45 \cdot 10^9}{\frac{7}{5} \cdot 10^6 \text{ s}} = 1750 \text{ MIPS}$$

$$f_B = \frac{1.5 \cdot 10^6 \cdot \frac{3}{2}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 1125 \text{ MHz}$$

$$\text{MIPS}_B = \frac{f_B}{\text{CPI}_B \cdot 10^6} \rightarrow \frac{1.125 \cdot 10^9}{\frac{3}{2} \cdot 10^6 \text{ s}} = 750 \text{ MIPS}$$

# Leistungsbewertung 2

Prozessor A arbeitet ein Problem in 2ms ab. Er hat ein CPI von 7/5 und benötigt 3.500.000 Instruktionen für die Abarbeitung der Problemstellung. Prozessor B arbeitet dieses Problem ebenfalls in 2ms ab. Er hat ein CPI von 3/2 und benötigt 1.500.000 Instruktionen.

- **Welcher Prozessor ist für dieses Problem zu wählen und warum?**

$$f = \frac{i \cdot \text{CPI}}{t}, \text{ MIPS} = \frac{f}{\text{CPI} \cdot 10^6}$$

$$f_A = \frac{3.5 \cdot 10^6 \cdot \frac{7}{5}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 2450 \text{ MHz}$$

$$\text{MIPS}_A = \frac{f_A}{\text{CPI}_A \cdot 10^6} \rightarrow \frac{2.45 \cdot 10^9}{\frac{7}{5} \cdot 10^6 \text{ s}} = 1750 \text{ MIPS}$$

$$f_B = \frac{1.5 \cdot 10^6 \cdot \frac{3}{2}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 1125 \text{ MHz}$$

$$\text{MIPS}_B = \frac{f_B}{\text{CPI}_B \cdot 10^6} \rightarrow \frac{1.125 \cdot 10^9}{\frac{3}{2} \cdot 10^6 \text{ s}} = 750 \text{ MIPS}$$

# Leistungsbewertung 2

Prozessor A arbeitet ein Problem in 2ms ab. Er hat ein CPI von 7/5 und benötigt 3.500.000 Instruktionen für die Abarbeitung der Problemstellung. Prozessor B arbeitet dieses Problem ebenfalls in 2ms ab. Er hat ein CPI von 3/2 und benötigt 1.500.000 Instruktionen.

- **Welcher Prozessor ist für dieses Problem zu wählen und warum?**

$$f = \frac{i \cdot \text{CPI}}{t}, \text{ MIPS} = \frac{f}{\text{CPI} \cdot 10^6}$$

$$f_A = \frac{3.5 \cdot 10^6 \cdot \frac{7}{5}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 2450 \text{ MHz}$$

$$\text{MIPS}_A = \frac{f_A}{\text{CPI}_A \cdot 10^6} \rightarrow \frac{2.45 \cdot 10^9}{\frac{7}{5} \cdot 10^6 \text{ s}} = 1750 \text{ MIPS}$$

$$f_B = \frac{1.5 \cdot 10^6 \cdot \frac{3}{2}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 1125 \text{ MHz}$$

$$\text{MIPS}_B = \frac{f_B}{\text{CPI}_B \cdot 10^6} \rightarrow \frac{1.125 \cdot 10^9}{\frac{3}{2} \cdot 10^6 \text{ s}} = 750 \text{ MIPS}$$

## Rechenbeispiel 2 (forts.)

$$i_A = 3.500.000, CPI_A = \frac{7}{5}$$
$$f_A = 2450\text{MHz}, MIPS_A = 1750\text{MIPS}$$

$$i_B = 1.500.000, CPI_B = \frac{3}{2}$$
$$f_B = 1125\text{MHz}, MIPS_B = 750\text{MIPS}$$

$$t = 2\text{ms}$$

### ■ Welcher Prozessor ist für dieses Problem zu wählen und warum?

#### ■ Prozessor B, weil

- ohne Berechnung: Gleich schnell in der Abarbeitung bei wesentlich weniger Instruktionen (1.5 vs. 3.5 Mio Instruktionen)
- halbe Taktfrequenz ( $P \sim U^2 * f$ , Fertigung)

## Rechenbeispiel 2 (forts.)

$$i_A = 3.500.000, CPI_A = \frac{7}{5}$$
$$f_A = 2450\text{MHz}, MIPS_A = 1750\text{MIPS}$$

$$i_B = 1.500.000, CPI_B = \frac{3}{2}$$
$$f_B = 1125\text{MHz}, MIPS_B = 750\text{MIPS}$$

$$t = 2\text{ms}$$

- **Welcher Prozessor ist für dieses Problem zu wählen und warum?**
- **Prozessor B**, weil
  - ohne Berechnung: Gleich schnell in der Abarbeitung bei wesentlich weniger Instruktionen (1.5 vs. 3.5 Mio Instruktionen)
  - halbe Taktfrequenz ( $P \sim U^2 * f$ , Fertigung)

# Rechenbeispiel 3 Benchmarks

Benchmarks sind eine verlässliche Methode zur Leistungsbewertung. Auf einem 4GHz-Prozessor wird ein solcher Benchmark abgearbeitet. Nachfolgende Tabelle listet die auftretenden Befehlstypen mit Häufigkeit und jeweiliger Zyklenzahl.

<b>Befehlstyp</b>	<b>Anzahl in <math>10^3</math></b>	<b>Zyklenzahl</b>
Integer-Arithmetik	300	1
Fließkomma-Arithmetik	75	2
Speicherzugriff	150	3
Kontrollflusstransfer	25	4

Zu bestimmen sind die Werte für Ausführungszeit, CPI, MIPS und MFLOPS.

## Rechenbeispiel 3 (forts.)

Befehlstyp	Anzahl in $10^3$	Zyklenzahl
Integer-Arithmetik	300	1
Fließkomma-Arithmetik	75	2
Speicherzugriff	150	3
Kontrollflusstransfer	25	4

### ■ Anzahl Instruktionen

$$i = \sum i_{\text{typ}} = (300 + 75 + 150 + 25) * 10^3 = 550.000$$

### ■ Taktzyklen

$$c = \sum i_{\text{typ}} * c_{\text{typ}} \\ = (300 * 1 + 75 * 2 + 150 * 3 + 25 * 4) * 10^3 = 1.000.000$$

### ■ Zykluszeit bei 4GHz Taktfrequenz

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{4\text{GHz}} = 0.25 * 10^{-9} \text{s} = 0.25 \text{ns}$$

# Rechenbeispiel 3 (forts.)

Befehlstyp	Anzahl in $10^3$	Zyklenzahl
Integer-Arithmetik	300	1
Fließkomma-Arithmetik	75	2
Speicherzugriff	150	3
Kontrollflusstransfer	25	4

## ■ Anzahl Instruktionen

$$i = \sum i_{\text{typ}} = (300 + 75 + 150 + 25) * 10^3 = 550.000$$

## ■ Taktzyklen

$$c = \sum i_{\text{typ}} * c_{\text{typ}} \\ = (300 * 1 + 75 * 2 + 150 * 3 + 25 * 4) * 10^3 = 1.000.000$$

## ■ Zykluszeit bei 4GHz Taktfrequenz

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{4\text{GHz}} = 0.25 * 10^{-9} \text{s} = 0.25 \text{ns}$$

# Rechenbeispiel 3 (forts.)

Befehlstyp	Anzahl in $10^3$	Zyklenzahl
Integer-Arithmetik	300	1
Fließkomma-Arithmetik	75	2
Speicherzugriff	150	3
Kontrollflusstransfer	25	4

## ■ Anzahl Instruktionen

$$i = \sum i_{\text{typ}} = (300 + 75 + 150 + 25) * 10^3 = 550.000$$

## ■ Taktzyklen

$$c = \sum i_{\text{typ}} * c_{\text{typ}} \\ = (300 * 1 + 75 * 2 + 150 * 3 + 25 * 4) * 10^3 = 1.000.000$$

## ■ Zykluszeit bei 4GHz Taktfrequenz

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{4\text{GHz}} = 0.25 * 10^{-9} \text{s} = 0.25 \text{ns}$$

## Rechenbeispiel 3 (forts.)

Befehlstyp	Anzahl in $10^3$	Zyklenzahl
Integer-Arithmetik	300	1
Fließkomma-Arithmetik	75	2
Speicherzugriff	150	3
Kontrollflusstransfer	25	4

### ■ Anzahl Instruktionen

$$i = \sum i_{\text{typ}} = (300 + 75 + 150 + 25) * 10^3 = 550.000$$

### ■ Taktzyklen

$$c = \sum i_{\text{typ}} * c_{\text{typ}} \\ = (300 * 1 + 75 * 2 + 150 * 3 + 25 * 4) * 10^3 = 1.000.000$$

### ■ Zykluszeit bei 4GHz Taktfrequenz

$$t = \frac{1}{f} = \frac{1}{4\text{GHz}} = 0.25 * 10^{-9}\text{s} = 0.25\text{ns}$$

## Rechenbeispiel 3 (forts.)

### ■ Angaben und bisherige Berechnungen:

$$f = 4\text{GHz} \rightarrow t_c = 0.25\text{ns}$$

$$i = 550.000, c = 1.000.000 = 1 * 10^6$$

### ■ Ausführungszeit

$$t_{\text{exec}} = c * t_{\text{cyc}}$$

$$= 1 * 10^6 * 0.25 * 10^{-9}\text{s} = 250 * 10^{-6}\text{s} = 250\mu\text{s}$$

### ■ CPI

$$\text{CPI} = \frac{c}{i} = \frac{1 * 10^6}{550 * 10^3} = \frac{100}{55} = \frac{20}{11} \approx 1.82$$

### ■ MIPS

$$\text{MIPS} = \frac{i}{t * 10^6} = \frac{550.000}{250} = 2200$$

### ■ MFLOPS

- Wie MIPS, wobei Anzahl der Befehle und Ausführungszeit nur für Fließkommaberechnung

$$\text{MFLOPS} = \frac{75.000}{(75.000 * 2) * (0.25 * 10^{-9}) * 10^6} = \frac{1}{0.5 * 10^{-3}} = 2000$$

# Rechenbeispiel 3 (forts.)

## ■ Angaben und bisherige Berechnungen:

$$f = 4\text{GHz} \rightarrow t_c = 0.25\text{ns}$$

$$i = 550.000, c = 1.000.000 = 1 * 10^6$$

## ■ Ausführungszeit

$$t_{\text{exec}} = c * t_{\text{cyc}}$$

$$= 1 * 10^6 * 0.25 * 10^{-9}\text{s} = 250 * 10^{-6}\text{s} = 250\mu\text{s}$$

## ■ CPI

$$\text{CPI} = \frac{c}{i} = \frac{1 * 10^6}{550 * 10^3} = \frac{100}{55} = \frac{20}{11} \approx 1.82$$

## ■ MIPS

$$\text{MIPS} = \frac{i}{t * 10^6} = \frac{550.000}{250} = 2200$$

## ■ MFLOPS

- Wie MIPS, wobei Anzahl der Befehle und Ausführungszeit nur für Fließkommaberechnung

$$\text{MFLOPS} = \frac{75.000}{(75.000 * 2) * (0.25 * 10^{-9}) * 10^6} = \frac{1}{0.5 * 10^{-3}} = 2000$$

# Rechenbeispiel 3 (forts.)

## ■ Angaben und bisherige Berechnungen:

$$f = 4\text{GHz} \rightarrow t_c = 0.25\text{ns}$$

$$i = 550.000, c = 1.000.000 = 1 * 10^6$$

## ■ Ausführungszeit

$$t_{\text{exec}} = c * t_{\text{cyc}}$$

$$= 1 * 10^6 * 0.25 * 10^{-9}\text{s} = 250 * 10^{-6}\text{s} = 250\mu\text{s}$$

## ■ CPI

$$\text{CPI} = \frac{c}{i} = \frac{1 * 10^6}{550 * 10^3} = \frac{100}{55} = \frac{20}{11} \approx 1.82$$

## ■ MIPS

$$\text{MIPS} = \frac{i}{t * 10^6} = \frac{550.000}{250} = 2200$$

## ■ MFLOPS

- Wie MIPS, wobei Anzahl der Befehle und Ausführungszeit nur für Fließkommaberechnung

$$\text{MFLOPS} = \frac{75.000}{(75.000 * 2) * (0.25 * 10^{-9}) * 10^6} = \frac{1}{0.5 * 10^{-3}} = 2000$$

# Rechenbeispiel 3 (forts.)

## ■ Angaben und bisherige Berechnungen:

$$f = 4\text{GHz} \rightarrow t_c = 0.25\text{ns}$$

$$i = 550.000, c = 1.000.000 = 1 * 10^6$$

## ■ Ausführungszeit

$$t_{\text{exec}} = c * t_{\text{cyc}}$$

$$= 1 * 10^6 * 0.25 * 10^{-9}\text{s} = 250 * 10^{-6}\text{s} = 250\mu\text{s}$$

## ■ CPI

$$\text{CPI} = \frac{c}{i} = \frac{1 * 10^6}{550 * 10^3} = \frac{100}{55} = \frac{20}{11} \approx 1.82$$

## ■ MIPS

$$\text{MIPS} = \frac{i}{t * 10^6} = \frac{550.000}{250} = 2200$$

## ■ MFLOPS

- Wie MIPS, wobei Anzahl der Befehle und Ausführungszeit nur für Fließkommaberechnung

$$\text{MFLOPS} = \frac{75.000}{(75.000 * 2) * (0.25 * 10^{-9}) * 10^6} = \frac{1}{0.5 * 10^{-3}} = 2000$$

# Rechenbeispiel 3 (forts.)

## ■ Angaben und bisherige Berechnungen:

$$f = 4\text{GHz} \rightarrow t_c = 0.25\text{ns}$$

$$i = 550.000, c = 1.000.000 = 1 * 10^6$$

## ■ Ausführungszeit

$$t_{\text{exec}} = c * t_{\text{cyc}}$$

$$= 1 * 10^6 * 0.25 * 10^{-9}\text{s} = 250 * 10^{-6}\text{s} = 250\mu\text{s}$$

## ■ CPI

$$\text{CPI} = \frac{c}{i} = \frac{1 * 10^6}{550 * 10^3} = \frac{100}{55} = \frac{20}{11} \approx 1.82$$

## ■ MIPS

$$\text{MIPS} = \frac{i}{t * 10^6} = \frac{550.000}{250} = 2200$$

## ■ MFLOPS

- Wie MIPS, wobei Anzahl der Befehle und Ausführungszeit nur für Fließkommaberechnung

$$\text{MFLOPS} = \frac{75.000}{(75.000 * 2) * (0.25 * 10^{-9}) * 10^6} = \frac{1}{0.5 * 10^{-3}} = 2000$$

# Leistungsbewertung 4

(vergl. Hennessy and Patterson, Computer Architecture A Quantitative Approach, 4.Auflage, S. 43-44.)

Frage: Sie haben für Ihre neue Rechnerarchitektur die folgenden Werte experimentell bestimmt:

<b>Befehlstyp</b>	<b>CPI</b>	<b>Anteil</b>
Fließkomma-Arithmetik	4,0	25%
Restliche Befehle	1,33	75%

Die Häufigkeit der Instruktion FPSQR beträgt 2% und der  $CPI_{FPSQR} = 20$ . Es gibt zwei Entwurfsmöglichkeiten:

- (a) senken des  $CPI_{FPSQR}$  auf 2
- (b) senken des CPI-Wert der Gleitkommaoperationen auf 2,5.

Berechnen Sie den jeweiligen Gesamtgewinn der Alternativen und begründen Sie die Entscheidung.

# Leistungsbewertung 4

(vergl. Hennessy and Patterson, Computer Architecture A Quantitative Approach, 4.Auflage, S. 43-44.)

Frage: Sie haben für Ihre neue Rechnerarchitektur die folgenden Werte experimentell bestimmt:

<b>Befehlstyp</b>	<b>CPI</b>	<b>Anteil</b>
Fließkomma-Arithmetik	4,0	25%
Restliche Befehle	1,33	75%

Die Häufigkeit der Instruktion FPSQR beträgt 2% und der  $CPI_{FPSQR} = 20$ . Es gibt zwei Entwurfsmöglichkeiten:

- (a) senken des  $CPI_{FPSQR}$  auf 2
- (b) senken des CPI-Wert der Gleitkommaoperationen auf 2,5.

Berechnen Sie den jeweiligen Gesamtgewinn der Alternativen und begründen Sie die Entscheidung.

## Leistungsbewertung 4 (forts.)

Antwort: Es ändern sich nur die Zyklen pro Instruktion, Taktrate und Anzahl der Instruktionen ( $i$ ) bleiben gleich.

Der unoptimierte CPI-Wert errechnet sich nach:

$$CPI_{\text{base}} = \sum_{i=1}^n CPI_i * Anteil_i = (1,33 * 75\%) + (4 * 25\%) \approx 2,0.$$

Die Zyklen pro Instruktion mit neuem FPSQR-Befehl:  $CPI_{(a)}$  kann durch Abziehen der gesparten Zyklen erfolgen:

$$\begin{aligned} CPI_{(a)} &= CPI_{\text{base}} - 0,02 * (CPI_{\text{old FPSQR}} - CPI_{\text{new FPSQR}}) \\ &= 2,0 - 0,02 * (20 - 2) = 1,64. \end{aligned}$$

Alternative (b) errechnet sich analog zum  $CPI_{\text{base}}$ :

$$CPI_{(b)} = (1,33 * 75\%) + (2,5 * 25\%) \approx 1,62.$$

Aufgrund des **geringeren** CPI-Werts bietet sich die **Alternative (b)** mit den verbesserten Zyklen pro Gleitkommaoperation an.

## Leistungsbewertung 4 (forts.)

Antwort: Es ändern sich nur die Zyklen pro Instruktion, Taktrate und Anzahl der Instruktionen ( $i$ ) bleiben gleich.

Der unoptimierte CPI-Wert errechnet sich nach:

$$CPI_{\text{base}} = \sum_{i=1}^n CPI_i * Anteil_i = (1,33 * 75\%) + (4 * 25\%) \approx 2,0.$$

Die Zyklen pro Instruktion mit neuem FPSQR-Befehl:  $CPI_{(a)}$  kann durch Abziehen der gesparten Zyklen erfolgen:

$$\begin{aligned} CPI_{(a)} &= CPI_{\text{base}} - 0,02 * (CPI_{\text{old FPSQR}} - CPI_{\text{new FPSQR}}) \\ &= 2,0 - 0,02 * (20 - 2) = 1,64. \end{aligned}$$

Alternative (b) errechnet sich analog zum  $CPI_{\text{base}}$ :

$$CPI_{(b)} = (1,33 * 75\%) + (2,5 * 25\%) \approx 1,62.$$

Aufgrund des **geringeren** CPI-Werts bietet sich die **Alternative (b)** mit den verbesserten Zyklen pro Gleitkommaoperation an.

## Leistungsbewertung 4 (forts.)

Antwort: Es ändern sich nur die Zyklen pro Instruktion, Taktrate und Anzahl der Instruktionen ( $i$ ) bleiben gleich.

Der unoptimierte CPI-Wert errechnet sich nach:

$$CPI_{\text{base}} = \sum_{i=1}^n CPI_i * Anteil_i = (1,33 * 75\%) + (4 * 25\%) \approx 2,0.$$

Die Zyklen pro Instruktion mit neuem FPSQR-Befehl:  $CPI_{(a)}$  kann durch Abziehen der gesparten Zyklen erfolgen:

$$\begin{aligned} CPI_{(a)} &= CPI_{\text{base}} - 0,02 * (CPI_{\text{old FPSQR}} - CPI_{\text{new FPSQR}}) \\ &= 2,0 - 0,02 * (20 - 2) = 1,64. \end{aligned}$$

Alternative (b) errechnet sich analog zum  $CPI_{\text{base}}$ :

$$CPI_{(b)} = (1,33 * 75\%) + (2,5 * 25\%) \approx 1,62.$$

Aufgrund des **geringeren** CPI-Werts bietet sich die **Alternative (b)** mit den verbesserten Zyklen pro Gleitkommaoperation an.

# Leistungsbewertung 4 (forts.)

Berechnung des Gewinns (Speedup) durch die Verwendung der Alternative (b) gegenüber dem vorherigen System (base):

$$\begin{aligned} \text{Speedup}_{(b)} &= \frac{\text{CPU time}_{\text{base}}}{\text{CPU time}_{(b)}} \\ &= \frac{i * \text{Taktrate} * \text{CPI}_{\text{base}}}{i * \text{Taktrate} * \text{CPI}_{(b)}} \\ &= \frac{\text{CPI}_{\text{base}}}{\text{CPI}_{(b)}} \end{aligned}$$

Eingesetzt ergibt sich:

$$\text{Speedup}_{(b)} = \frac{2,00}{1,62} \approx 1,23$$

→ Alternative (b) ist 1,23-mal schneller als bisheriges System.

# Leistungsbewertung 6

Für eine Rechenanlage soll ein geeigneter Plattenspeicher angeschafft werden. Mithilfe eines Warteschlangenmodells sollen hierzu der **Durchsatz D** und die **Auslastung U** der Plattensysteme berechnet werden unter der Annahme, die durchschnittliche **Ankunftsrate A** von Schreib-/Leseaufträgen im System liegt bei 40/s. Zur Auswahl stehen Festplatten mit folgenden Daten:

- Platte 1: Zugriffszeit 12 ms, Datenrate 6 MByte/s
- Platte 2: Zugriffszeit 10 ms, Datenrate 7,5 MByte/s
- Platte 3: Zugriffszeit 8 ms, Datenrate 8 MByte/s

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Berechnen Sie für die drei Festplatten die Bedienzeit  $X_i$ , wenn der Schreib-/Leseauftrag im Schnitt 100 kB groß ist.
- Platte 1: Zugriffszeit 12 ms, Datenrate 6 MByte/s
- Platte 2: Zugriffszeit 10 ms, Datenrate 7,5 MByte/s
- Platte 3: Zugriffszeit 8 ms, Datenrate 8 MByte/s

■ **Bedienzeiten:**  $X_i = t_{\text{Zugriff}} + t_{\text{Übertragung}}$

$$X_1 = 12 \text{ ms} + \frac{100 \text{ kB}}{6000 \text{ kB/s}} = 28,67 \text{ ms}$$

$$X_2 = 10 \text{ ms} + \frac{100 \text{ kB}}{7500 \text{ kB/s}} = 23,33 \text{ ms}$$

$$X_3 = 8 \text{ ms} + \frac{100 \text{ kB}}{8000 \text{ kB/s}} = 20,5 \text{ ms}$$

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Berechnen Sie für die drei Festplatten die Bedienzeit  $X_j$ , wenn der Schreib-/Leseauftrag im Schnitt 100 kB groß ist.
- Platte 1: Zugriffszeit 12 ms, Datenrate 6 MByte/s
- Platte 2: Zugriffszeit 10 ms, Datenrate 7,5 MByte/s
- Platte 3: Zugriffszeit 8 ms, Datenrate 8 MByte/s

- **Bedienzeiten:**  $X_j = t_{\text{Zugriff}} + t_{\text{Übertragung}}$

$$X_1 = 12 \text{ ms} + \frac{100 \text{ kB}}{6000 \text{ kB/s}} = 28,67 \text{ ms}$$

$$X_2 = 10 \text{ ms} + \frac{100 \text{ kB}}{7500 \text{ kB/s}} = 23,33 \text{ ms}$$

$$X_3 = 8 \text{ ms} + \frac{100 \text{ kB}}{8000 \text{ kB/s}} = 20,5 \text{ ms}$$

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Berechnen Sie für die drei Festplatten die Bedienzeit  $X_j$ , wenn der Schreib-/Leseauftrag im Schnitt 100 kB groß ist.
- Platte 1: Zugriffszeit 12 ms, Datenrate 6 MByte/s
- Platte 2: Zugriffszeit 10 ms, Datenrate 7,5 MByte/s
- Platte 3: Zugriffszeit 8 ms, Datenrate 8 MByte/s

- **Bedienzeiten:**  $X_j = t_{\text{Zugriff}} + t_{\text{Übertragung}}$

$$X_1 = 12 \text{ ms} + \frac{100 \text{ kB}}{6000 \text{ kB/s}} = 28,67 \text{ ms}$$

$$X_2 = 10 \text{ ms} + \frac{100 \text{ kB}}{7500 \text{ kB/s}} = 23,33 \text{ ms}$$

$$X_3 = 8 \text{ ms} + \frac{100 \text{ kB}}{8000 \text{ kB/s}} = 20,5 \text{ ms}$$

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Wie groß sind die Durchsätze  $D_i$  der einzelnen Festplatten?  
Welche Festplatten wären aufgrund der Berechnung im System einsetzbar?

- **Maximaler Durchsatz:**  $D_{imax} = \frac{1}{X_i}$

$$D_{1max} = \frac{1}{28,67 \text{ ms}} = 34,88/s$$

$$D_{2max} = \frac{1}{23,33 \text{ ms}} = 42,86/s$$

$$D_{3max} = \frac{1}{20,5 \text{ ms}} = 48,78/s$$

Nur Platten mit  $D_{max} > A$  können eingesetzt werden, da sonst die Festplatte nicht genügend Zeit hat, um alle Aufträge rechtzeitig zu bedienen.

Aufgrund von  $A = 40/s$  sind nur die Platten 2 und 3 einsetzbar.

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Wie groß sind die Durchsätze  $D_i$  der einzelnen Festplatten?  
Welche Festplatten wären aufgrund der Berechnung im System einsetzbar?
- **Maximaler Durchsatz:**  $D_{imax} = \frac{1}{X_i}$

$$D_{1max} = \frac{1}{28,67 \text{ ms}} = 34,88/s$$

$$D_{2max} = \frac{1}{23,33 \text{ ms}} = 42,86/s$$

$$D_{3max} = \frac{1}{20,5 \text{ ms}} = 48,78/s$$

Nur Platten mit  $D_{max} > A$  können eingesetzt werden, da sonst die Festplatte nicht genügend Zeit hat, um alle Aufträge rechtzeitig zu bedienen.

Aufgrund von  $A = 40/s$  sind nur die Platten 2 und 3 einsetzbar.

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Wie groß sind die Durchsätze  $D_i$  der einzelnen Festplatten?  
Welche Festplatten wären aufgrund der Berechnung im System einsetzbar?
- **Maximaler Durchsatz:**  $D_{imax} = \frac{1}{X_i}$

$$D_{1max} = \frac{1}{28,67 \text{ ms}} = 34,88/s$$

$$D_{2max} = \frac{1}{23,33 \text{ ms}} = 42,86/s$$

$$D_{3max} = \frac{1}{20,5 \text{ ms}} = 48,78/s$$

Nur Platten mit  $D_{max} > A$  können eingesetzt werden, da sonst die Festplatte nicht genügend Zeit hat, um alle Aufträge rechtzeitig zu bedienen.

Aufgrund von  $A = 40/s$  sind nur die Platten 2 und 3 einsetzbar.

## Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Wie groß sind die Durchsätze  $D_i$  der einzelnen Festplatten?  
Welche Festplatten wären aufgrund der Berechnung im System einsetzbar?
- **Maximaler Durchsatz:**  $D_{imax} = \frac{1}{X_i}$

$$D_{1max} = \frac{1}{28,67 \text{ ms}} = 34,88/s$$

$$D_{2max} = \frac{1}{23,33 \text{ ms}} = 42,86/s$$

$$D_{3max} = \frac{1}{20,5 \text{ ms}} = 48,78/s$$

Nur Platten mit  $D_{max} > A$  können eingesetzt werden, da sonst die Festplatte nicht genügend Zeit hat, um alle Aufträge rechtzeitig zu bedienen.

Aufgrund von  $A = 40/s$  sind nur die Platten 2 und 3 einsetzbar.

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Wie groß ist die Auslastung der einsetzbaren Festplatten?

- **Auslastung:**  $U_i = D/D_{imax} = D * X_i$ , hier  $D = A$

$$U_2 = D * X_2 = 40/s * 23,33 \text{ ms} = 0,93,$$

d.h. 93% Auslastung

$$U_3 = D * X_3 = 40/s * 20,5 \text{ ms} = 0,82,$$

d.h. 82% Auslastung

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Wie groß ist die Auslastung der einsetzbaren Festplatten?

- **Auslastung:**  $U_i = D/D_{imax} = D * X_i$ , hier  $D = A$

$$U_2 = D * X_2 = 40/s * 23,33 \text{ ms} = 0,93,$$

d.h. 93% Auslastung

$$U_3 = D * X_3 = 40/s * 20,5 \text{ ms} = 0,82,$$

d.h. 82% Auslastung

## Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Wie groß ist die Auslastung der einsetzbaren Festplatten?

- **Auslastung:**  $U_i = D/D_{imax} = D * X_i$ , hier  $D = A$

$$U_2 = D * X_2 = 40/s * 23,33 \text{ ms} = 0,93,$$

d.h. 93% Auslastung

$$U_3 = D * X_3 = 40/s * 20,5 \text{ ms} = 0,82,$$

d.h. 82% Auslastung

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Das Betriebssystem stelle eine FIFO-basierte Warteschlange zur Verfügung. Mit einem Monitor wurden im Betrieb hierzu ermittelt, dass die Warteschlange  $Q_2$  von Festplatte 2 drei Aufträge umfasst,  $Q_3$  von Festplatte 3 fasse zwei Aufträge. Berechnen Sie die Zeit der Aufträge in der Warteschlange und die Reaktionszeit des Gesamtsystems aus Warteschlange und Festplatte.

- **Gesetz von Little:**  $Q = W * D$

Q: Anzahl von Aufträgen in der Warteschlange

W: Wartezeit

D: Durchsatz

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Das Betriebssystem stelle eine FIFO-basierte Warteschlange zur Verfügung. Mit einem Monitor wurden im Betrieb hierzu ermittelt, dass die Warteschlange  $Q_2$  von Festplatte 2 drei Aufträge umfasst,  $Q_3$  von Festplatte 3 fasse zwei Aufträge. Berechnen Sie die Zeit der Aufträge in der Warteschlange und die Reaktionszeit des Gesamtsystems aus Warteschlange und Festplatte.
- **Gesetz von Little:**  $Q = W * D$

Q: Anzahl von Aufträgen in der Warteschlange

W: Wartezeit

D: Durchsatz

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

## ■ Gesetz von Little: $Q = W * D$

Q: Anzahl von Aufträgen in der Warteschlange

W: Wartezeit

D: Durchsatz

d.h.  $W_i = \frac{Q_i}{D}$ , wobei abermals gilt  $D = A$  und somit

$$W_2 = \frac{Q_2}{D} = \frac{3}{40/s} = 75 \text{ ms}$$

$$W_3 = \frac{Q_3}{D} = \frac{2}{40/s} = 50 \text{ ms}$$

# Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Reaktionszeit des Gesamtsystems aus Warteschlange und Festplatte:  $Reaktionszeit_i = Wartezeit_i + Bedienzeit_i$

- bereits berechnet:

$$W_2 = 75 \text{ ms}, W_3 = 50 \text{ ms} \text{ und} \\ X_2 = 23,33 \text{ ms}, X_3 = 20,5 \text{ ms}$$

- einsetzen ergibt:

$$Reaktionszeit_2 = 75 \text{ ms} + 23,33 \text{ ms} = 98,33 \text{ ms} \\ Reaktionszeit_3 = 50 \text{ ms} + 20,5 \text{ ms} = 70,5 \text{ ms}$$

Damit ist das System mit Platte 3 vorzuziehen, da es schneller reagiert.

## Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Reaktionszeit des Gesamtsystems aus Warteschlange und Festplatte:  $Reaktionszeit_i = Wartezeit_i + Bedienzeit_i$
- bereits berechnet:  
 $W_2 = 75\ ms$ ,  $W_3 = 50\ ms$  und  
 $X_2 = 23,33\ ms$ ,  $X_3 = 20,5\ ms$
- einsetzen ergibt:  
 $Reaktionszeit_2 = 75\ ms + 23,33\ ms = 98,33\ ms$   
 $Reaktionszeit_3 = 50\ ms + 20,5\ ms = 70,5\ ms$

Damit ist das System mit Platte 3 vorzuziehen, da es schneller reagiert.

## Leistungsbewertung 6 (forts.)

- Reaktionszeit des Gesamtsystems aus Warteschlange und Festplatte:  $Reaktionszeit_i = Wartezeit_i + Bedienzeit_i$

- bereits berechnet:

$$W_2 = 75 \text{ ms}, W_3 = 50 \text{ ms} \text{ und} \\ X_2 = 23,33 \text{ ms}, X_3 = 20,5 \text{ ms}$$

- einsetzen ergibt:

$$Reaktionszeit_2 = 75 \text{ ms} + 23,33 \text{ ms} = 98,33 \text{ ms} \\ Reaktionszeit_3 = 50 \text{ ms} + 20,5 \text{ ms} = 70,5 \text{ ms}$$

Damit ist das System mit Platte 3 vorzuziehen, da es schneller reagiert.