

计系3 期末速通教程

1. 计算机概要与技术

1.1 半导体技术

[集成电路的成本]

$$(1) \text{ 每芯片的价格} = \frac{\text{每晶圆的价格}}{\text{每晶圆的芯片数} \times \text{成品率}} .$$

$$(2) \text{ 每晶圆的芯片数} \approx \frac{\text{晶圆面积}}{\text{芯片面积}} .$$

$$(3) \text{ 成品率} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\text{单位面积的瑕疵数} \times \text{芯片面积}}{2}\right)^2} , \text{ 即芯片面积与缺陷率非线性相关.}$$

1.2 性能

1.2.1 响应时间、吞吐率与性能

[响应时间与吞吐率]

- (1) **响应时间**(又称**执行时间**), 指计算机完成某任务所需的总时间.
- (2) **吞吐率**(又称**带宽**), 指单位时间内完成的任务数, 单位如 "任务数 /h".
- (3) 应先关注响应时间(流水), 再关注吞吐率(多核).

[执行时间]

- (1) **执行时间**指总响应时间, 包括处理、I/O操作、OS开销、空闲时间等方面, 决定了系统的性能.
- (2) ① **CPU执行时间**指执行某任务在CPU上花费的时间, 即除掉I/O和其它任务共享花费的时间.
 - ② 分类: 用户CPU时间、系统CPU时间.
 - ③ 不同程序受CPU性能和系统性能的影响不同.

[相对性能]

$$(1) \text{ 性能} = \frac{1}{\text{执行时间}} .$$

$$(2) \text{ 计算机 } X \text{ 比计算机 } Y \text{ 快 } n \text{ 倍} \Leftrightarrow \frac{\text{性能}_X}{\text{性能}_Y} = \frac{\text{执行时间}_Y}{\text{执行时间}_X} = n .$$

[例1.2.1.1] 对一个程序, 计算机 X 、 Y 运行它分别需 10 s、15 s. 比较 X 和 Y 的性能.

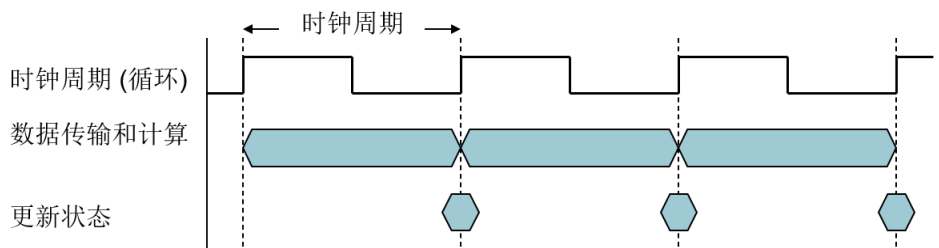
[解] $\frac{\text{性能}_X}{\text{性能}_Y} = \frac{\text{执行时间}_Y}{\text{执行时间}_X} = 1.5$, 即 X 的性能是 Y 的 1.5 倍.

1.2.2 CPU时间

[CPU时钟]

(1) 计算机由一个恒定速率的时钟控制数字硬件的运行.

(2) **时钟周期**是计算机一个时钟周期的时间.



(3) **时钟频率**是每秒钟的时钟周期数.

[例1.2.2.1] 若某计算机的时钟周期为 250 ps , 求它的时钟频率.

[解] 时钟周期 $= 250 \text{ ps} = 0.25 \text{ ns} = 250 \times 10^{-12} \text{ s}$.

$$\text{时钟频率} = \frac{1}{250 \times 10^{-12} \text{ s}} = 4 \times 10^9 \text{ Hz} = 4000 \text{ MHz} = 4 \text{ GHz}.$$

[CPU时间]

(1) $\text{CPU时间} = \text{CPU时间周期数} \times \text{时钟周期时间} = \frac{\text{CPU时间周期数}}{\text{时钟频率}}.$

(2) 改进性能的方法:

- ① 减少时钟周期数.
- ② 提高时钟频率.
- ③ 需平衡时钟周期数和时钟频率.

[例1.2.2.2] 若计算机 A 的时钟频率为 2 GHz , 它运行某程序需CPU时间 10 s .

现要设计一台计算机 B , ① 通过提高时钟频率, $s. t.$ 运行上述程序的CPU时间为 6 s , ② B 运行该程序所需的时钟周期数是 A 的 1.2 倍. 求 B 的时钟频率.

[解] 时钟周期数 $_A = \text{CPU时间}_A \times \text{时钟频率}_A = (10 \text{ s}) \cdot (2 \times 10^9 \text{ Hz}) = 2 \times 10^{10}.$

$$\text{时钟频率}_B = \frac{1.2 \times \text{时钟周期数}_A}{\text{CPU时间}_B} = \frac{1.2 \times 2 \times 10^{10}}{6 \text{ s}} = 4 \text{ GHz}.$$

[指令数与CPI]

(1) CPU时钟周期数 = 程序的指令数 \times 每条指令的平均时钟周期数.

(2) CPU时间 = 程序的指令数 \times CPI \times 时钟周期时间 = $\frac{\text{程序的指令数} \times \text{CPI}}{\text{时钟频率}}$.

(3) ① 程序的指令数取决于程序、ISA和编译器.

② 平均每条指令的时钟周期数由CPU硬件决定.

③ 若不同指令的CPI不同, 则平均CPI受指令组合的影响.

(4) CPU时间 = $\frac{\text{秒数}}{\text{程序个数}} = \frac{\text{指令数}}{\text{程序个数}} \times \frac{\text{时钟周期数}}{\text{指令数}} \times \frac{\text{秒数}}{\text{时钟周期}}$.

[例1.2.2.3] 设计计算机 A 和计算机 B 的ISA相同, 其中 A 的时钟周期 = 250 ps, CPI = 2.0, B 的时钟周期 = 500 ps, CPI = 1.2. 对固定的程序, 哪台计算机执行速度更快, 快多少?

[解] 设执行该程序所需的指令数为 I .

CPU时间 _{A} = 指令数 \times CPI _{A} \times 时钟周期时间 _{A} = 500 I ps.

CPU时间 _{B} = 指令数 \times CPI _{B} \times 时钟周期时间 _{B} = 600 I ps > 500 I ps, 即 A 更快.

$\frac{\text{CPU时间}_B}{\text{CPU时间}_A} = 1.2$, 即 A 的执行速度是 B 的 1.2 倍.

[加权平均CPI] 若有编号 $1 \sim n$ 的 n 种指令, 其中 i ($1 \leq i \leq n$) 号指令所需的指令数为 C_i , 所需的平均时钟周期数为 CPI _{i} , 则:

(1) 总CPU时钟周期数 = $\sum_{i=1}^n C_i \times \text{CPI}_i$.

(2) 加权平均CPI = $\frac{\text{总CPU时钟周期数}}{\text{指令数}n} = \sum_{i=1}^n \text{CPI}_i \times \frac{C_i}{\text{指令数}n}$.

[例1.2.2.4] 已知 A, B, C 三类指令的CPI和代码序列 1, 2 所需的指令数. 比较两代码序列的效率.

指令类型	A	B	C
CPI	1	2	3
代码序列 1 的指令数 IC	2	1	2
代码序列 2 的指令数 IC	4	1	1

[解]

(1) 代码序列 1: 总时钟周期数 $= 2 \times 1 + 1 \times 2 + 2 \times 3 = 10$,

$$\text{平均CPI} = \frac{\text{总时钟周期数}}{\text{IC}_1} = \frac{10}{2 + 1 + 2} = 2.$$

(2) 代码序列 2: 总时钟周期数 $= 4 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 3 = 9$,

$$\text{平均CPI} = \frac{\text{总时钟周期数}}{\text{IC}_2} = \frac{9}{4 + 1 + 1} = 1.5 < 2, \text{故代码序列 2 更快.}$$

1.3 功耗

1.3.1 功耗

[功耗]

(1) 动态功耗 $\propto \frac{1}{2} \times \text{负载电容} \times \text{电压}^2 \times \text{开关频率}$.

[例1.3.1.1] 设新CPU的负载电容是旧CPU的 85%, 电压降低了 15%, 频率降低了 15%. 比较新旧CPU的功耗.

[解]
$$\frac{P_{\text{new}}}{P_{\text{old}}} = \frac{(0.85 \times C_{\text{old}}) \cdot (0.85 \times V_{\text{old}})^2 \cdot (0.85 \times f_{\text{old}})}{C_{\text{old}} \cdot V_{\text{old}}^2 \cdot f_{\text{old}}} = 0.85^4 \approx 0.52.$$

1.3.2 Amdahl定律

[Amdahl定律] 改进计算机的某方面时, 期望总性能的提高与改进大小成正比.

具体地, 改进后的执行时间 $= \frac{\text{受改进影响的执行时间}}{\text{改进量}} + \text{不受影响的执行时间}.$

1.3.3 MIPS

[MIPS]

(1) MIPS指每秒百万条指令.

$$(2) \text{MIPS} = \frac{\text{指令数}}{\text{执行时间} \times 10^6} = \frac{\text{指令数}}{\frac{\text{指令数} \times \text{CPI}}{\text{时钟频率}} \times 10^6} = \frac{\text{时钟频率}}{\text{CPI} \times 10^6}.$$

(3) 在给定的CPU上, 程序间的CPI会改变.

