

## 1.4 计算机的性能指标

### 1.4.2 CPU执行时间

主讲人：邓倩妮

上海交通大学





## 1.4.2 CPU时间与CPU 性能评测

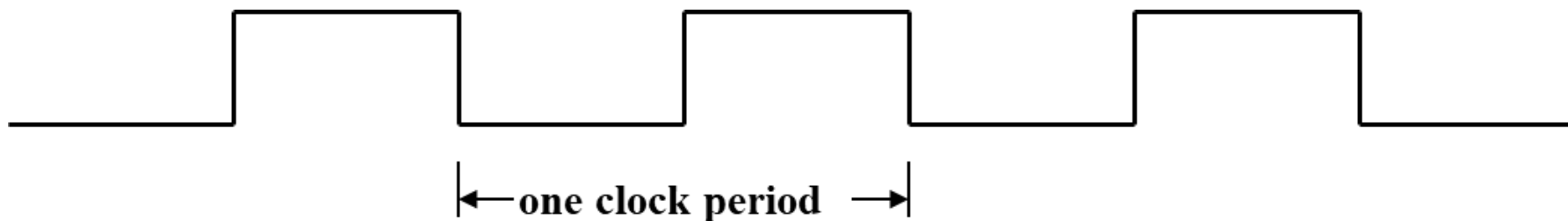
- 多任务系统中，一个程序在等待I/O时，CPU会切换去执行另外一个程序，以提高系统的运行效率，但这可能会延长单个程序的执行时间（从开始执行到结束的时间）。
- 此时，“CPU时间” 合适用于衡量一个程序在系统中的性能。
- CPU时间：CPU执行给定程序所花费的时间，不包含I/O等待时间以及运行其他程序的时间。

什么是影响CPU时间的因素？



## CPU 性能公式

- CPU 执行时间 = CPU 时钟周期数  $\times$  一个时钟周期长度
- CPU execution time = CPU clock cycles  $\times$  Clock cycle time
- 时钟周期长度 =  $1/\text{时钟频率}$       Clock cycle time =  $1 / \text{Clock rate}$



10 nsec clock cycle  $\Rightarrow$  100 MHz clock rate

500 psec clock cycle  $\Rightarrow$  2 GHz clock rate



## 计算题：

- 如果一个程序在时钟频率为3GHz的处理器上运行花了10秒钟，这个程序运行了多少个时钟周期？
- 如果一个程序在一个1.5GHz的处理器上运行了 $2 \times 10^9$ 个时钟周期，它的执行时间是多少秒？



## CPU 性能公式 (续)

- CPU时钟周期数 = 指令数目  $\times$  平均每条指令所花的时钟周期 (CPI)
- CPU clock cycles = number of instrs  $\times$  avg clock cycles per instruction (CPI)

根据性能公式1：

CPU执行时间= CPU 时钟周期数  $\times$  一个时钟周期长度

CPU执行时间 = 一个时钟周期长度  $\times$   
指令数目  $\times$  平均每条指令所花的时钟周期 (CPI)

Execution time = clock cycle time  $\times$  number of instrs  $\times$  avg CPI



## 计算题

- 如果一个主频为2 GHz的处理器每三个周期完成一条指令，一个运行了10秒钟的处理器，总共包含多少条指令？

CPU执行时间 = 一个时钟周期长度 x 指令数目 x 平均每条指令所花的时钟周期 (CPI)



## 影响CPU性能的因素

- CPU执行时间 = 一个时钟周期长度 x
- 指令数目 x 平均每条指令所花的时钟周期 (CPI)
- **时钟周期长度** (Clock cycle time) : 不完全代表处理器的速度, 制造过程与工艺 (晶体管的速度), 每一个处理器流水段能完成的工作量 (以后介绍)
- **指令条数** ( Number of instrs ) : 取决于指令集体系结构、编译器的质量
- **执行一条指令所需时钟周期数** ( CPI: Cycle Per Instruction ) , 取决于每条指令本身的特性、体系结构实现的质量



## 平均CPI : **Effective (Average) CPI**

$$\text{Overall effective CPI} = \sum_{i=1}^n (\text{CPI}_i \times \text{IC}_i)$$

$\text{IC}_i$  : 第*i*类指令在所有指令中所占的比例

$\text{CPI}_i$  : 第*i*类指令的平均CPI (clock cycles per instruction)

$n$ : 指令的类别数

- 不同的程序, 各种类型的指令所占的比例不同, 有效CPI也就不同
- The overall effective CPI varies by instruction mix – a measure of the dynamic frequency of instructions across one or many programs





## 例题

Op	Freq	CPI <sub>i</sub>	Freq x CPI <sub>i</sub>
ALU	50%	1	.5
Load	20%	5	1.0
Store	10%	3	.3
Branch	20%	2	.4
$\Sigma =$			2.2

- How much faster? 如果采用一个更好的 data cache 将平均 load time 下降为 2 cycles?

How much faster? 如果能一次两条 ALU 指令?



## 例题 (续)

Op	Freq	CPI <sub>i</sub>	Freq x CPI <sub>i</sub>
ALU	50%	1	.5
Load	20%	5	1.0
Store	10%	3	.3
Branch	20%	2	.4
$\Sigma =$			2.2

.5      .25  
.4      1.0  
.3      .3  
.4      .4  
1.6      1.95

- How much faster? 如果采用一个更好的 data cache 将平均 load time 下降为 2 cycles?

CPU time new = 1.6 x IC x CC so 2.2/1.6  
means 37.5% faster

How much faster? 如果能一次两条 ALU 指令?

CPU time new = 1.95 x IC x CC so 2.2/1.95  
means 12.8% faster



## 2017研究生入学考试题

- 假定计算机M1和M2具有相同的指令集体系结构（ISA），主频分别为1.5GHz和1.2GHz。在M1和M2上运行某基准程序P，平均CPI分别为2和1，则程序在M1和M2上运行时间的比值是：
- A. 0.4    B. 0.625    C. 1.6    D. 2.5

CPU执行时间 = 一个时钟周期长度  $\times$  指令数目  $\times$  平均每条指令所花的时钟周期（CPI）

(C)



## 处理器运算速度/吞吐量: 性能指标

- MIPS——Million Instruction Per Second, 每秒执行百万条指令数, 为计算机运算速度指标的一种计量单位
- FLOPS——Floating Point Operation Per Second, 每秒浮点运算次数, 计算机运算速度计量单位之一。MFLOPS、GFLOPS、TFLOPS、PFLOPS
- 这两个指标只能对CPU的处理能力进行衡量, 但不能代表处理器的性能的优劣。



## 小测验

- 某程序在两台计算机上的性能测量结果为：

测量内容	计算机A	计算机B
指令数	100亿条	80亿条
时钟频率	4GHz	4GHz
CPI	1.0	1.1

哪台计算机MIPS值更高？

$$A \quad \frac{1}{1} \times 4 > \frac{1}{1.1} \times 4$$

MIPS数 = 一周期完成的指令条数 × 时钟频率

哪台计算机更快？

$$B \quad \frac{1}{4} \times 100 \times 1 > \frac{1}{4} \times 80 \times 1.1$$

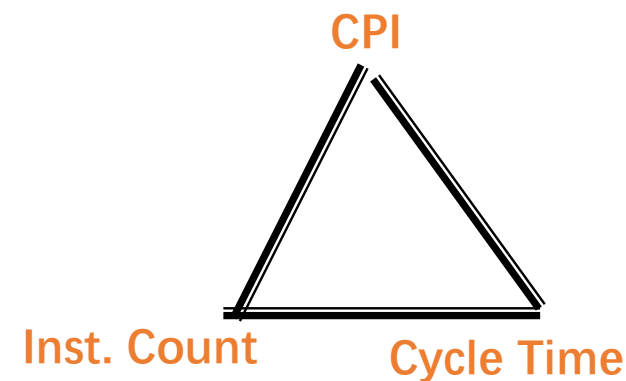
CPU执行时间 = 一个时钟周期长度 × 指令数目  
× 平均每条指令所花的时钟周期 (CPI)



## 小结

- 用**真实程序的执行时间**来衡量性能，是可靠的测定方法
- 多任务系统中，“CPU时间”可以作为衡量程序在系统上的性能指标。
- 任何一个独立的因子都不能确定性能，只有三个因子的乘积（即执行时间）才是可靠的度量标准。
- CPU执行时间 = 一个时钟周期长度 x 指令数目 x 平均每条指令所花的时钟周期（CPI）

Execution time = clock cycle time x number of instrs x avg CPI



谢谢！

