

# 《计算机组成原理》

## （第一讲习题答案）

厦门大学信息学院软件工程系 曾文华

2023年2月27日

# 第1章 计算机系统概述

- 1.1 计算机发展历程
- 1.2 计算机系统的组成
- 1.3 计算机系统的层次结构
- 1.4 计算机性能指标和评价
- 1.5 课程学习的建议

- 例1.1：某程序的目标代码主要由4类指令组成，它们在程序中所占比例和各自CPI如表1.4所示（见教材）。请问：
  - ① 求该程序的CPI。
  - ② 若该CPU的主频为400MHz，求该计算机的MIPS。

表1.4

指令类型	CPI	所占比例
算术逻辑运算指令	1	60%
访存指令	2	18%
转移指令	4	12%
其他指令	8	10%

• 答：

$$CPI = \sum_{i=1}^4 (CPI_i \times P_i) = 1 \times 0.6 + 2 \times 0.18 + 4 \times 0.12 + 8 \times 0.1 = 2.24$$

$$MIPS = \frac{f}{CPI} = \frac{400 \times 10^6}{2.24} \times 10^{-6} = 178.6$$

- 例1.2: 若计算机A和B是基于相同指令集设计的两种不同类型的计算机, A的时钟周期为2ns, 某程序在A上运行时的CPI为3; B的时钟周期为4ns, 同一程序在B上运行时的CPI为2。请问, 对这个程序而言, 计算机A与B哪个更快? 快多少?

- 答:

- 该程序在计算机A和计算机B上的运行时间分别为:

$$T_{CPUA} = CPI_A \times IC_A \times T_A$$

$$T_{CPUB} = CPI_B \times IC_B \times T_B$$

- 因为是同一个程序, 故:

$$IC_A = IC_B = IC$$

- 因此有:

$$\frac{T_{CPUA}}{T_{CPUB}} = \frac{CPI_A \times IC_A \times T_A}{CPI_B \times IC_B \times T_B} = \frac{3 \times IC \times 2ns}{2 \times IC \times 4ns} = 0.75$$

- 即: 计算机A比计算机B快, 快 $1/0.75 \approx 1.3333$ 倍。

- 例1.3：设某计算机中A、B、C三类指令的CPI如表1.5所示（见教材）。现有两类不同的编译器将同一高级语言的语句编译成两种不同类型的代码序列，其中包含上述三类指令的数量如表1.6所示（见教材）。请问：

- ① 两种代码序列的CPI分别是多少？
- ② 哪种代码的执行速度快？

表1.5

指令	A	B	C
CPI	1	2	3

表1.6

代码序列	代码中3类指令的数量		
	A	B	C
1	2	1	2
2	4	1	1

答：

- 两种代码序列的CPI分别为：

$$CPI_1 = \sum_{i=1}^3 (CPI_i \times P_i) = 1 \times \left(\frac{2}{5}\right) + 2 \times \left(\frac{1}{5}\right) + 3 \times \left(\frac{2}{5}\right) = 2$$

$$CPI_2 = \sum_{i=1}^3 (CPI_i \times P_i) = 1 \times \left(\frac{4}{6}\right) + 2 \times \left(\frac{1}{6}\right) + 3 \times \left(\frac{1}{6}\right) = 1.5$$

- 两种代码序列的运行时间分别为（因为是同一个计算机，故时钟周期相同）：

$$T_{CPU1} = CPI_1 \times IC_1 \times T_1 = 2 \times 5 \times T = 10T$$

$$T_{CPU2} = CPI_2 \times IC_2 \times T_2 = 1.5 \times 6 \times T = 9T$$

$$IC_1 = 2 + 1 + 2 = 5 \quad IC_2 = 4 + 1 + 1 = 6 \quad T_1 = T_2 = T$$

- 即：第2种代码的执行速度快。尽管第2种代码的数量（6条）比第1种代码的数量（5条）多，但是执行速度却要快，原因是第2种代码中CPI小的指令所占比例更高（A类指令）。

# 习题 (P17-18)

- 1.2
- 1.4
- 1.5
- 1.6

## 习题 1

1.1 解释下列名词。

摩尔定律 汇编器 编译器 解释器 链接器 时钟周期 机器字长 主存容量 CPI IPC MIPS MFLOPS CPU 时间

→ 1.2 选择题（考研真题）。

(1) [2018] 冯·诺依曼结构计算机中数据采用二进制编码表示，其主要原因是\_\_\_\_\_。

I. 二进制运算规则简单

II. 制造两个稳态的物理器件较为容易

III. 便于逻辑门电路实现算术运算

A. 仅 I、II

B. 仅 I、III

C. 仅 II、III

D. I、II、III

(2) [2019] 下列关于冯·诺依曼结构计算机基本思想的叙述中，错误的是\_\_\_\_\_。

A. 程序的功能都通过中央处理器执行指令实现

B. 指令和数据都用二进制表示，形式上无差别

C. 指令按地址访问，数据都在指令中直接给出

D. 程序执行前，指令和数据需预先存放在存储器中

(3) [2016] 高级语言源程序转换为机器级目标代码文件的程序称为\_\_\_\_\_。

A. 汇编程序

B. 链接程序

C. 编译程序

D. 解释程序

(4) [2015] 计算机硬件能够直接执行的是\_\_\_\_\_。

I. 机器语言程序

II. 汇编语言程序

III. 硬件描述语言程序

A. 仅 I

B. 仅 I、II

C. 仅 I、III

D. I、II、III

(5) [2011] 下列选项中，描述浮点数操作速度指标的是\_\_\_\_\_。

A. MIPS

B. CPI

C. IPC

D. MFLOPS

(6) [2010] 下列选项中，能缩短程序执行时间的措施是\_\_\_\_\_。

I. 提高 CPU 时钟频率

II. 优化数据通路结构

III. 对程序进行编译优化

A. 仅 I 和 II

B. 仅 I 和 III

C. 仅 II 和 III

D. I、II、III

(7) [2013] 某计算机主频为 1.2GHz，其指令分为 4 类，它们在基准程序中所占比例及 CPI 如表 1.7 所示。

表 1.7 各类指令在基准程序中所占比例及 CPI

指令类型	所占比例	CPI	指令类型	所占比例	CPI
A	50%	2	C	10%	4
B	20%	3	D	20%	5

该机的 MIPS 数是\_\_\_\_\_。

A. 100

B. 200

C. 400

D. 600

(8) [2012] 假定基准程序 A 在某计算机上的运行时间为 100 秒，其中 90 秒为 CPU 时间，其余为 I/O

时间。若 CPU 速度提高 50%，I/O 速度不变，则运行基准程序 A 所耗费的时间是\_\_\_\_\_。

- A. 55 秒                      B. 60 秒                      C. 65 秒                      D. 70 秒

(9) [2014] 程序 P 在机器 M 上的执行时间是 20 秒，编译优化后，P 执行的指令数减少到原来的 70%，而 CPI 增加到原来的 1.2 倍，则 P 在 M 上的执行时间是\_\_\_\_\_。

- A. 8.4 秒                      B. 11.7 秒                      C. 14.0 秒                      D. 16.8 秒

(10) [2017] 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 P 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

1.3 冯·诺依曼结构计算机的基本思想是什么？按此思想设计的计算机硬件系统应由哪些部件组成？它们各有何作用？

→ 1.4 计算机系统从功能上可划分为哪些层次？各层次在计算机系统中起什么作用？

→ 1.5 假定某计算机 1 和计算机 2 以不同的方式实现了相同的指令集，该指令集中共有 A、B、C、D 4 类指令，它们所占的比例分别为 40%、20%、15% 和 25%。计算机 1 和计算机 2 的时钟周期分别为 600MHz 和 800MHz，各类指令在两计算机上的 CPI 如表 1.8 所示。

表 1.8 各类指令在两计算机上的 CPI

指令类型	A	B	C	D
CPI1	2	3	4	5
CPI2	2	2	3	4

求两计算机的 MIPS 各为多少？

→ 1.6 若某程序编译后生成的目标代码由 A、B、C、D 4 类指令组成，它们在程序中所占比例分别为 40%、20%、15%、25%。已知 A、B、C、D 四类指令的 CPI 分别为 1、2、2、2。现需要对程序进行编译优化，优化后的程序中 A 类指令数量减少了一半，而其他指令数量未发生变化。假设运行该程序的计算机 CPU 主频为 500MHz。回答下列各题。

- (1) 优化前后程序的 CPI 各为多少？
- (2) 优化前后程序的 MIPS 各为多少？
- (3) 通过上面的计算结果，你能得出什么结论？

## 实践训练

调查主流 CPU 厂商常用的性能测试工具，从网上下载合适的计算机系统性能测试工具对计算机进行性能测试，尝试对比分析不同性能测试工具对同一计算机进行测试的不同结果。结合自己所学的知识，分析性能测试软件的关键是什么。



# 习题答案 (P17-18)

## • 1.1 解释下列名词:

- ① 摩尔定律: 当价格不变时, 集成电路上可容纳的晶体管数量大约18至24个月翻一番, 性能也将提升一倍。
- ② 汇编器: 汇编程序负责将汇编语言翻译成机器语言目标程序, 也称为汇编器。
- ③ 编译器: 编译程序负责将高级语言翻译成汇编代码代码, 也称为编译器。
- ④ 解释器: 解释程序用于将源程序中的语句按执行顺序逐条翻译成机器指令并执行, 且不生成目标程序, 也称为解释器。
- ⑤ 链接器: 链接器是一个程序, 将一个或多个由编译器或汇编器生成的目标文件外加库链接为一个可执行文件。
- ⑥ 时钟周期: 时钟周期是计算机中最基本的、最小的时间单位。在一个时钟周期内, CPU仅完成一个最基本的动作。
- ⑦ 机器字长: 字长指CPU一次处理的数据位数, 字长一般与计算机内部的寄存器、运算器、数据总线的位宽相等。
- ⑧ 主存容量: 主存容量是指主存能存储的最大信息量, 一般用M×N表示, M表示存储单元数, 也称字容量; N表示每个存储单元存储的二进制位数, 也称位容量。
- ⑨ CPI: CPI (Clock Cycles Per Instruction) 是指执行每条指令所需要的平均时钟周期数。
- ⑩ IPC: IPC (Instructions Per Cycle) 是指某个时钟周期CPU能执行的指令条数, 是CPI的倒数。
- ⑪ MIPS: MIPS (Million Instructions Per Second) 为每秒执行百万条指令。
- ⑫ MFLOPS: MFLOPS (Million Floating-point Operations per Second) 为每秒执行百万 (10<sup>6</sup>) 浮点运算次数。
- ⑬ CPU时间: 假设某段程序执行所需的时钟周期数为m, 时钟周期为T, 时钟频率为f, 则该段程序的CPU时间T<sub>CPU</sub>为:

$$T_{CPU} = m \times T = \frac{m}{f}$$

$$T_{CPU} = CPI \times IC \times T = \frac{CPI \times IC}{f}$$

## • 1.2 选择题

(1) [2018] 冯·诺依曼结构计算机中数据采用二进制编码表示，其主要原因是\_\_\_\_\_。

- I. 二进制运算规则简单
- II. 制造两个稳态的物理器件较为容易
- III. 便于逻辑门电路实现算术运算

A. 仅 I、II                      B. 仅 I、III                      C. 仅 II、III                      D. I、II、III

答案：D（三个原因都是对的）

(2) [2019] 下列关于冯·诺依曼结构计算机基本思想的叙述中，错误的是\_\_\_\_\_。

- A. 程序的功能都通过中央处理器执行指令实现
- B. 指令和数据都用二进制表示，形式上无差别
- C. 指令按地址访问，数据都在指令中直接给出
- D. 程序执行前，指令和数据需预先存放在存储器中

答案：C（数据也可以不在指令中）

(3) [2016] 高级语言源程序转换为机器级目标代码文件的程序称为\_\_\_\_\_。

A. 汇编程序                      B. 链接程序                      C. 编译程序                      D. 解释程序

答案：C（编译程序）

- 1.2 选择题

(4) [2015] 计算机硬件能够直接执行的是\_\_\_\_\_。

- |           |            |               |             |
|-----------|------------|---------------|-------------|
| I. 机器语言程序 | II. 汇编语言程序 | III. 硬件描述语言程序 |             |
| A. 仅 I    | B. 仅 I、II  | C. 仅 I、III    | D. I、II、III |

答案: A (机器语言程序)

(5) [2011] 下列选项中, 描述浮点数操作速度指标的是\_\_\_\_\_。

- |         |        |        |           |
|---------|--------|--------|-----------|
| A. MIPS | B. CPI | C. IPC | D. MFLOPS |
|---------|--------|--------|-----------|

答案: D (MFLOPS)

(6) [2010] 下列选项中, 能缩短程序执行时间的措施是\_\_\_\_\_。

- |                |              |                |             |
|----------------|--------------|----------------|-------------|
| I. 提高 CPU 时钟频率 | II. 优化数据通路结构 | III. 对程序进行编译优化 |             |
| A. 仅 I 和 II    | B. 仅 I 和 III | C. 仅 II 和 III  | D. I、II、III |

答案: D (三个措施都是对的)

- 1.2 选择题

(7) [2013] 某计算机主频为 1.2GHz，其指令分为 4 类，它们在基准程序中所占比例及 CPI 如表 1.7 所示。

表 1.7 各类指令在基准程序中所占比例及 CPI

指令类型	所占比例	CPI	指令类型	所占比例	CPI
A	50%	2	C	10%	4
B	20%	3	D	20%	5

该机的 MIPS 数是\_\_\_\_\_。

A. 100

B. 200

C. 400

D. 600

答案：C（ $CPI=50\% \times 2 + 20\% \times 3 + 10\% \times 4 + 20\% \times 5 = 3$ ， $MIPS = (f/CPI) \times 10^{-6} = (1.2 \times 10^9 / 3) \times 10^{-6} = 400$ ）

(8) [2012] 假定基准程序 A 在某计算机上的运行时间为 100 秒，其中 90 秒为 CPU 时间，其余为 I/O 时间。若 CPU 速度提高 50%，I/O 速度不变，则运行基准程序 A 所耗费的时间是\_\_\_\_\_。

A. 55 秒

B. 60 秒

C. 65 秒

D. 70 秒

答案：D（CPU 速度提高 50%，则 CPU 时间从 90 秒变为  $90 / 1.5 = 60$  秒， $70 = 60 + 10$ ）

- 1.2 选择题

(9) [2014] 程序 P 在机器 M 上的执行时间是 20 秒, 编译优化后, P 执行的指令数减少到原来的 70%, 而 CPI 增加到原来的 1.2 倍, 则 P 在 M 上的执行时间是\_\_\_\_\_。

A. 8.4 秒

B. 11.7 秒

C. 14.0 秒

D. 16.8 秒

答案: **D** (编译优化前, 执行时间= $CPI \times IC \times T = 20$ 秒; 编译优化后, 执行时间= $1.2 \times CPI \times 70\% \times IC \times T = 0.84 \times 20 = 16.8$ 秒)

(10) [2017] 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 P 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

答案: **C** (程序 P 在 M1 上的运行时间= $CPI \times IC / f = (2 / 1.5) \times IC = 1.33 \times IC$ , 程序 P 在 M2 上的运行时间= $CPI \times IC / f = (1 / 1.2) \times IC = 0.83 \times IC$ ,  $1.33 / 0.83 = 1.6$ )

- **1.3 冯·诺依曼结构计算机的基本思想是什么？按此思想设计的计算机硬件系统应由哪些部件组成？它们各有何作用？**

- 答：

- 数学家冯·诺依曼提出了计算机制造的三个基本原则，即采用二进制逻辑、程序存储执行（存储程序和程序控制）以及计算机由五个部分组成（运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备），这套理论被称为冯·诺依曼体系结构。
- 计算机硬件系统应由运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备等组成。
- 运算器是一种用于信息加工处理的部件，它对数据进行算术运算和逻辑运算。运算器通常由算术逻辑单元（**ALU, Arithmetic and Logic Unit**）和一系列寄存器组成。通常将运算器一次运算能处理的二进制位数称为机器字长。现代计算机具有多个寄存器，称为寄存器组。
- 控制器是整个计算机的指挥中心，它可使计算机各部件协调工作。计算机中有两股信息在流动，一股是控制流信息，另一股是数据流信息。控制流信息的发源地是控制器，控制器产生控制流信息的依据来自3个方面：指令寄存器、状态寄存器和时序电路。
- 存储器的主要功能是存放程序和数据，目前计算机的主存储器都是半导体存储器。
- 输入设备就是将信息输入计算机的外部设备，它将人们熟悉的信息形式转换成计算机能接收并识别的信息形式。
- 输出设备就是将计算机运算结果转换成人们和其他设备能接收和识别的信息形式的设备，如字符、文字、图形、图像、声音等。

- **1.4 计算机系统从功能上可划分为哪些层次？各层次在计算机系统中起什么作用？**

- 答：

- 自上至下可分为高级语言层、汇编语言层、操作系统层、指令集架构层、微代码层、硬件逻辑层（逻辑门层）。
- 高级语言层，是面向用户的抽象层次。用户使用与机器无关的高级语言编程，编程过程中不需要知道机器的技术细节，只需掌握高级语言的语法规则、算法和数据结构等就可以编程。
- 汇编语言层，该层为用户提供基于助记符表示的汇编语言编程。汇编语言与机器结构直接相关，用户必须在了解机器内部的详细技术细节（如寄存器、寻址方式）后才能编程。
- 操作系统层，该层用于对计算机系统的硬件和软件资源进行统一管理和调度，提高计算机系统的使用效率，方便用户使用计算机。
- 指令集架构层，该层可通过机器语言编写程序实现对计算机硬件的控制，也称为传统机器层或ISA（**Instruction Set Architecture**，指令集体系结构）层，是计算机中软件系统和硬件系统之间的界面和纽带。
- 微代码层，该层是实际的机器层，该层的用户使用微指令编写微程序，用户所编写的微程序由硬件直接执行（只有采用微程序设计的计算机系统才有这一层）。
- 硬件逻辑层（逻辑门层），该层是计算机系统最底层的硬件系统，由逻辑门、触发器等逻辑电路组成，它是由逻辑设计者采用布尔代数设计的硬件内核。

- 1.5 假设某计算机1和计算机2以不同的方式实现了相同的指令集，该指令集中共有A、B、C、D等4类指令，它们所占的比例分别是40%、20%、15%、25%。计算机1和计算机2的时钟周期分别为600MHz和800MHz，各类指令在计算机上的CPI如表1.8所示。

表1.8 各类指令在两台计算机上的CPI

指令类型	A	B	C	D
CPI <sub>1</sub>	2	3	4	5
CPI <sub>2</sub>	2	2	3	4

- 求两计算机的MIPS各为多少？
- 答：
  - 计算机1的CPI<sub>1</sub>=40%×2+20%×3+15%×4+25%×5=3.25
  - 计算机2的CPI<sub>2</sub>=40%×2+20%×2+15%×3+25%×4=2.65

$$MIPS = \frac{f}{CPI}$$

- 计算机1的MIPS<sub>1</sub>=f<sub>1</sub>/CPI<sub>1</sub>=600MHz/3.25=184.62
- 计算机2的MIPS<sub>2</sub>=f<sub>2</sub>/CPI<sub>2</sub>=800MHz/2.65=301.88



- 1.6 若某程序编译后生成的目标代码由A、B、C、D等4类指令组成，它们在程序中所占比例分别为40%、20%、15%、25%。已经A、B、C、D等4类指令的CPI分别为1、2、2、2，现需要对程序进行编译优化，优化后的程序中A类指令数量减少了一半，而其它指令数量未发生变化。假设运行该程序的计算机CPU主频为500MHz。回答以下问题：

- (1) 优化前后程序的CPI各为多少？
- (2) 优化前后程序的MIPS各为多少？
- (3) 通过上面的计算结果，你能得出什么结论？

• 答：

— (1)

- 假设程序有100条指令，优化前A、B、C、D类指令的数量分别为40、20、15、25条。
- 优化前的CPI=40%x1+20%x2+15%x2+25%x2=1.6
- 优化后A、B、C、D类指令的数量分别为20、20、15、25条，共80条。
- 优化后的CPI=(20/80)x1+(20/80)x2+(15/80)x2+(25/80)x2=1.75

— (2) 
$$MIPS = \frac{f}{CPI}$$

- 优化前的MIPS=f/CPI=500/1.6=312.5
- 优化后的MIPS=f/CPI=500/1.75=285.71

— (3)

- 优化前，程序的执行时间= CPIxICxT=1.6x100xT=160T；优化后，程序的执行时间= CPIxICxT=1.75x80xT=140T。
- 结论：如果从优化前后的程序执行时间来看，优化是成功的。但是，优化后，CPI却增加，MIPS却减少，如果从CPI和MIPS这两个指标看，好像优化后，性能变差。因此，不能简单的通过CPI和MIPS指标来评价计算机性能。

**Thanks**