

作业 5 参考答案

邵艾然 <sar13@mails.tsinghua.edu.cn>

2016-06-14

作业中提到的“教材”均指：《计算机系统结构教程》，张晨曦等编著，清华大学出版社。

第 1 题（教材-习题-4.5）

在 Cray-1 机器上，按照链接方式执行下述 4 条向量指令（括号中给出了相应功能部件的执行时间），如果向量寄存器和功能部件之间的数据传送需要一拍，试求此链接流水线的通过时间是多少拍？如果向量长度为 64，则需多少拍才能得到全部结果？

$V_0 \leftarrow$ 存储器	//从存储器中取数：7 拍
$V_2 \leftarrow V_0 + V_1$	//向量加：3 拍
$V_3 \leftarrow V_2 \ll A_3$	//按 (A_3) 左移：4 拍
$V_5 \leftarrow V_3 \wedge V_4$	//向量逻辑乘：2 拍

参考解答

链接流水线的通过时间为

$$(1 + 7 + 1) + (1 + 3 + 1) + (1 + 4 + 1) + (1 + 2 + 1) = 24$$

得到全部结果所需时间为

$$24 + (64 - 1) = 87$$

常见问题

- 1) 题目给出的 4 条指令可以全部链接在一起。有些同学好像认为可以把题目给出的指令两两链接在一起然后并行执行，这是错误的，因为 4 条指令间存在数据相关，不能并行执行。
- 2) 题目给出了在向量寄存器和功能部件之间传送数据所需的时间。注意每一条指令在执行开始时需要读向量寄存器，在执行结束时需要写向量寄存器，以上两项操作各需一拍的时间。有些同学没有考虑完整。
- 3) 有些同学可能受教材例题的影响，认为链接流水线的通过时间为 23，即不包括最后一条指令写寄存器的时间。这种理解也是可以的。但在计算得到全部结果所需的时间时，就不能不考虑最后一条指令写寄存器的时间了。有些同学认为得到全部结果所需的时间为 86，这是错误的。还有些同学认为得到全部结果所需的时间为 $24 + 64 = 88$ ，这也是错误的，没有搞清流水线执行时间的计算方法。
- 4) 有些同学给出的答案只有 24。注意 24 只是计算向量的一个分量所需的时间，剩余 63 个分量的计算还需通过流水线的方式花更多的时间完成。

第 2 题（教材-习题-4.8）

在一台向量处理机上实现 $\vec{A} = \vec{B} \times S$ 计算，其中 \vec{A} 和 \vec{B} 是长度为 $N = 200$ 的向量， S 是一个标量。向量寄存器长度 $MVL = 64$ ，各功能部件的启动时间为：取数和存数部件为 12 个时钟周期、乘法部件为 7 个时钟周期，执行标量代码的开销 $T_{loop} = 15$ 个时钟周期，对一个向量元素执行一次操作的时间 $T_g =$ 一个时钟周期。求计算 \vec{A} 的总执行时间。

参考解答

解法 1

\vec{A} 的计算过程需要 LV、MULTSV、SV 三条指令。

不考虑链接，执行 3 条指令需要 3 个编队。总执行时间为

$$T_n = \lceil \frac{n}{MVL} \rceil \times (T_{loop} + T_{start}) + mn = \lceil \frac{200}{64} \rceil \times (15 + 12 + 7 + 12) + 3 \times 200 = 4 \times 46 + 600 = 784$$

解法 2

\vec{A} 的计算过程需要 LV、MULTSV、SV 三条指令。

LV 与 MULTSV 可形成链接，因此执行 3 条指令需要两个编队。

总执行时间为

$$T_n = \lceil \frac{n}{MVL} \rceil \times (T_{loop} + T_{start}) + mn = \lceil \frac{200}{64} \rceil \times (15 + 12 + 7 + 12) + 2 \times 200 = 4 \times 46 + 400 = 584$$

解法 3

\vec{A} 的计算过程需要 LV、MULTSV、SV 三条指令。

LV、MULTSV、SV 可全部链接在一起，因此执行 3 条指令需要

1 个编队。总执行时间为

$$T_n = \lceil \frac{n}{MVL} \rceil \times (T_{loop} + T_{start}) + mn = \lceil \frac{200}{64} \rceil \times (15 + 12 + 7 + 12) + 1 \times 200 = 4 \times 46 + 200 = 384$$

常见问题

- 1) 题目没有说明是否考虑链接，因此考虑和不考虑链接的方法都是可以的。在考虑链接的情况下，SV 可不可以与前两条指令链接到一起也存在不同理解。有些同学认为，每计算完一个分量就可以将该分量写回，因此可以链接；还有些同学认为，需要把所有分量都计算完毕再整体写回，因此不能链接。实际情况取决于向量处理机的实现，因此本题用任意一种理解来求解都可以。
- 2) 本题没有特别说明在向量寄存器和功能部件之间传送数据所需的时间，因此可以不考虑这部分操作的耗时。
- 3) 用些同学在计算 T_{start} 时出错，可能是没有搞清 \vec{A} 的计算过程需要哪几条指令。
- 4) 公式中的 m 是指编队数，而不是循环次数。有些同学对这一点理解错误，计算时令 $m = 4$ 。
- 5) 在计算循环次数时要注意向上取整。有些同学认为是向下取整，这会导致少计算 1 次循环的时间。

第 3 题（教材-习题-9.8）

在有 16 个处理器的混洗交换网络中，若要使第 0 号处理器与第 15 号处理器相连，需要经过多少次混洗和交换？

参考解答

0000 --交换--> 0001 --混洗--> 0010 --交换--> 0011 --混洗--> 0110
--交换--> 0111 --混洗--> 1110 --交换--> 1111

因此需要 4 次交换、3 次混洗。

常见问题

- 1) 有些同学可能是认为“混洗交换网络”就是“Omega 网络”，因此两种操作需要按照“先混洗后交换”的顺序成对出现，从而给出“4 次交换、4 次混洗”的答案。关于“混洗交换网络”确实没有找到明确的定义，参考答案相当于认为“Omega 网络”是一种特殊的“混洗交换网络”，一般的“混洗交换网络”可以任意规定两种操作发生的顺序。
- 2) 在“混洗交换网络”中，混洗操作通过连线实现，交换操作通过 2×2 开关实现（参考教材中“Omega 网络”的结构图）。虽然连线和开关是交替出现的，但因为开关可以使用“直送”连接方式，因此混洗和交换两种操作并不是必须交替出现。
- 3) 交换操作翻转的是节点编号的最低比特。有的同学考虑，能否认为交换操作可以对其它高比特位进行翻转？考虑到交换操作是通过 2×2 开关实现的，因此翻转高比特位应该是不可以的。
- 4) 有些同学给出的解不是最优的，其中包含无意义的操作。虽然题目确实没有写明如“至少”这样的关键词，但最好还是使用操作数最少的解法。

第 4 题（教材-习题-9.12）

具有 $N = 2^n$ 个输入端的 Omega 网络，采用单元控制。

- (1) N 个输入总共应有多少种不同的排列？

- (2) 该 Omega 网络通过一次可以实现的置换总共可有多少种？
 (3) 若 $N = 8$ ，通过计算一次能实现的置换数占全部排列的百分比。

参考解答

N 个输入总共有 $N!$ 种不同的排列。

Omega 网络有 $\log_2 N$ 级，每级有 $N/2$ 个 2×2 开关。实现置换时，开关可用的状态只有两种。每种不同的开关状态配置都形成一种不同的排列。因此 Omega 网络可实现的置换种数为

$$2^{\log_2 N \times \frac{N}{2}} = N^{\frac{N}{2}}$$

当 $N = 8$ 时，通过计算一次能实现的置换数占全部排列的百分比为

$$\frac{N^{\frac{N}{2}}}{N!} = \frac{8^4}{8!} = 10.16\%$$

常见问题

- 1) Omega 网络是多层网络。第 2 问中“通过一次可以实现的置换”指的应该是通过 Omega 网络的所有“层”后，能够实现多少种置换。
- 2) 本题只考虑用 Omega 网络实现置换，因此需要考虑的开关状态只有两种。
- 3) 有些同学在写表达式时混淆了 N 和 n ， $N = 2^n$ 。
- 4) $2^{\log_2 N \times \frac{N}{2}}$ 到底等于多少？很多同学在这里出现计算错误。