

## 第十章

### 例 10.1

对照图 10.7 中的流水线时空图，假设  $\Delta t=80\text{ns}$ ，要处理的任务数（指令条数）为 20，要求计算图（a）和图（b）对应的流水线性能指标：

- （1） 最大吞吐率。
- （2） 实际吞吐率。
- （3） 加速比。
- （4） 效率。

解：

- （1） 最大吞吐率：

- 10.7（a）图流水线的最大吞吐率为： $TP_{\text{MAX a}}=1/(3\times 80\text{ns})=1/(240\text{ns})\approx 4.17\times 10^6$  条指令/秒

- 10.7（b）图流水线的最大吞吐率为： $TP_{\text{MAX b}}=1/\Delta t=1/80\text{ns}=1.25\times 10^7$  条指令/秒

- （2） 实际吞吐率。

- 10.7（a）图流水线的实际吞吐率为： $TP_a=20/((2+3\times 20+1)\times 80\text{ns})=20/(63\times 80\text{ns})\approx 3.97\times 10^6$  条指令/秒

- 10.7（b）图流水线的实际吞吐率为： $TP_b=20/((6+20-1)\times 80\text{ns})=1/100\text{ns}=10^7$  条指令/秒

- （3） 加速比。

- 10.7（a）图流水线的加速比为： $SP_a=20\times 6\times 80\text{ns}/((2+3\times 20+1)\times 80\text{ns})=120/63\approx 1.90$

- 10.7（b）图流水线的加速比为： $SP_b=20\times 6\times 80\text{ns}/((6+20-1)\times 80\text{ns})=120/25=4.8$

- （4） 效率。

- 10.7（a）图流水线的效率为： $E_a=20\times 6\times 80\text{ns}/4\times ((2+3\times 20+1)\times 80\text{ns})=120/(4\times 63)\approx 47.6\%$

- 10.7（b）图流水线的效率为： $E_b=20\times 6\times 80\text{ns}/6\times ((6+20-1)\times 80\text{ns})=120/(6\times 25)=80\%$

### 例 10.2

假设指令流水线分指令预取（IF）、指令译码（ID）、地址生成（DA）、执行（EX）、回写（WB）5 个过程段，每个过程段的延迟时间相同，共有 10 条指令连续输入此流水线。要求：

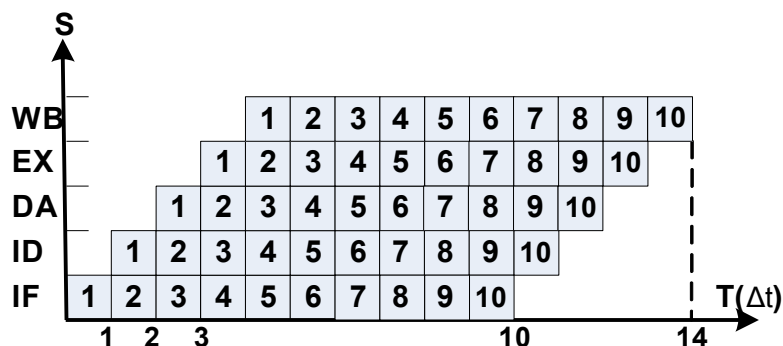
- （1） 画出流水线的连接图。
- （2） 画出流水线时空图。
- （3） 假设流水线的时钟周期为 100ns，求流水线的最大吞吐率和实际吞吐率。
- （4） 求该流水处理器的加速比。
- （5） 求该流水处理器的效率。

解：

- （1） 指令流水线包括 IF、ID、DA、EX、WB 这 5 个子过程，图 10.8（a）为指令流水线的连接图。



(a) 例 10.2 的流水线连接图



(b) 例 10.2 的流水线时空图

图10.1 例 10.2 的流水线图示

- (2) 10 条指令流入流水线的时空图如图 10.8 (b) 所示。由图中可见，第一条指令出结果需要 5 个时钟周期。当流水线满载时，以后每个时钟周期可以出一个结果，即执行完一条指令。
- (3) 流水线的最大吞吐率  $TP_{MAX}=1/100ns=10^7$  条指令/秒钟  
 由图 10.8 (b) 可见，在 14 个时钟周期结束时，CPU 执行完 10 条指令，故流水线的实际吞吐率为  $TP=10/(14 \times 100ns) = 10/1400ns \approx 7.14 \times 10^6$  条指令/秒钟。
- (4) 该流水处理器处理 10 条指令所需的时钟周期数为  $5 + (10-1) = 14$ ，而串行顺序执行 10 条指令所需时钟周期数为  $10 \times 5 = 50$ ，所以流水处理器的加速比  $S_p = 10 \times 5 \times 100ns / ((5+10-1) \times 100ns) = 50/14 \approx 3.57$
- (5) 流水处理器执行 10 条指令，各部件所需的实际执行时间为  $10 \times 5 \times 100ns$ ，而各部件被占用的时间为  $5 \times (5+10-1) \times 100ns$ ，所以流水处理器的效率  $E = 50/70 \approx 71.4\%$ 。