

第一章 计算机系统结构的基础知识

系统结构的相关概念

- ◆ 计算机系统的层次结构
- ◆ 计算机系统结构基本概念(广义机器、透明性、编译)
- ◆ 计算机系统结构、组织和实现的定义
- ◆ 计算机系统分类方法\ **Flynn** 分类法

基本原理和性能公式

- ◆ 大概率事件优先
- ◆ **Amdahl**定律
- ◆ 程序的局部性原理
- ◆ **CPU**性能计算
- ◆ 加速比公式应用

$$S_p = \frac{T_0}{T_p} = \frac{1}{1 - F_s + F_s / S_s}$$

性能评价标准

- ◆ 性能指标 (**CPU**时间, **CPI**, **MIPS**,**MFLOPS**)

例1：计算机系统有三个部件可改进，这三个部件的加速比如下：部件1加速比 $S_1=10$ ；部件2加速比 $S_2=20$ ；部件3加速比 $S_3=30$ ；问：

（1）如果部件1和部件2的所占比例为25%，那么当部件3所占比例为多少时，系统的加速比才可以达到5？

（2）如果三个部件所占比例为10%、20%和30%，当三个部件改进后，原系统中不可加速部分的执行时间在总执行时间中所占的比例变为多少？

解：多部件改进情况下Amdahl定理为，

$$S = \frac{1}{(1 - \sum_i F_i) + \sum_i \frac{F_i}{S_i}}$$

2023-6-17
设部件3原所占为 F_3 （ F_i 为可加速部件 i 在未优化系统中的比例）²

例2 某台主频为400MHz的计算机执行标准测试程序，程序中指令类型、执行数量和平均时钟周期数如下：求该计算机的有效CPI、MIPS和程序执行时间。

指令类型	指令执行数量/条	平均时钟周期数
整数	45 000	1
数据传送	75 000	2
浮点	8 000	4
分支	1 500	2

解：（1） $CPI = (45000 \times 1 + 75000 \times 2 + 8000 \times 4 + 1500 \times 2) / 129500 = 1.776$

（2）MIPS速率 = $f / CPI = 400 / 1.776 = 225.225 \text{ MIPS}$

（3）程序执行时间 = $(45000 \times 1 + 75000 \times 2 + 8000 \times 4 + 1500 \times 2) / 400 \times 1000000 = 0.000575 \text{ s}$

$$CPI = \sum_{i=1}^n (CPI_i \times I_i) / I_N = \sum_{i=1}^n (CPI_i \times I_i / I_N)$$

第三章 流水线技术

流水线的基本概念及分类： 静（动）态流水线、单（多）流水线、（非）线性流水线

流水线表示--时空图、连接图

流水线性能计算和分析： 吞吐率、加速比、效率

多功能\静（动）态流水线时空图

流水线相关与冲突

经典五段流水线： 各段完成的操作

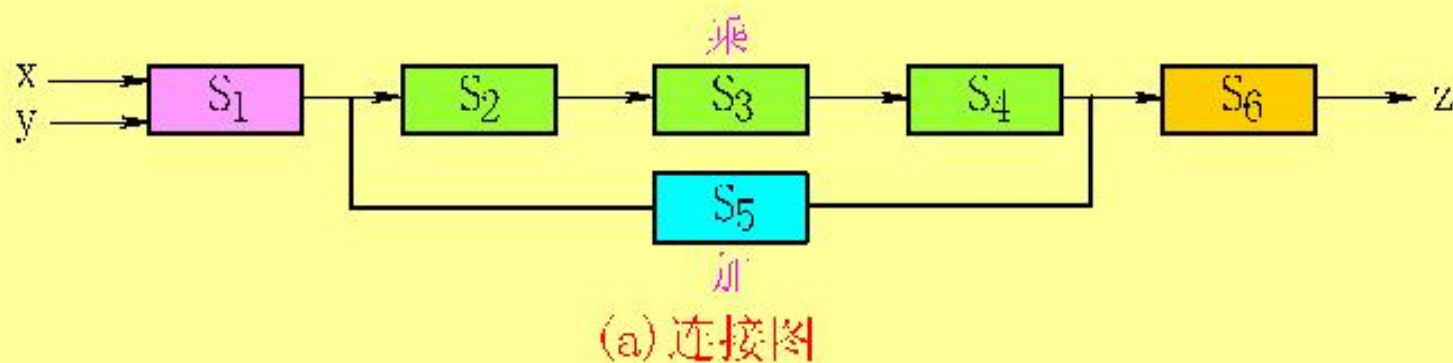
- 数据相关（真相关）/名相关/控制相关
- 结构冲突、数据冲突、控制冲突：
- 数据冲突的各种形式（写后读，写后写，读后写等）

减少数据冲突的方法： 延迟、定向、编译

解决控制冲突的方法： 排空、预测、延迟分支、编译

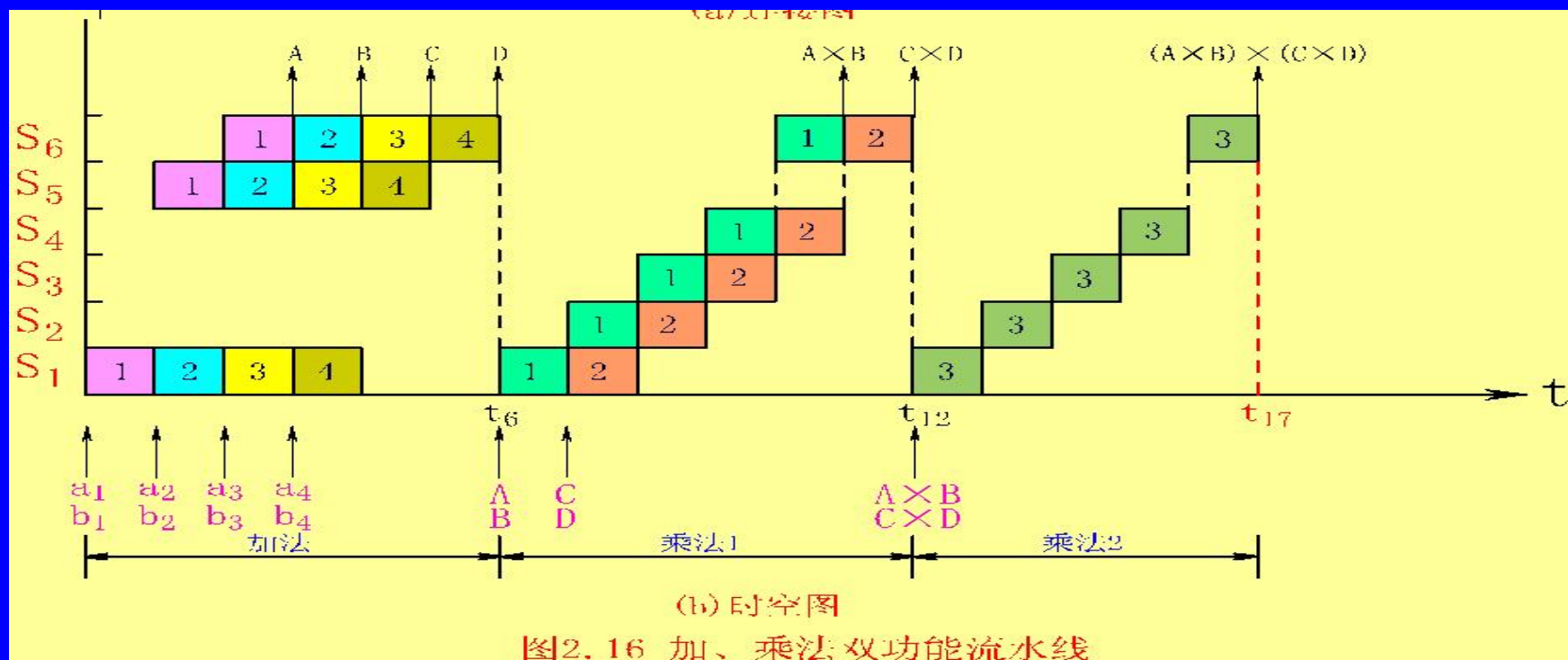
例1 下图所示为静态加、乘双功能流水线，段S1、S2、S3、S4、S6组成乘法流水线，S1、S5、S6组成加法流水线。设向量 $\mathbf{a}=(a_1, a_2, a_3, a_4)$ ，向量 $\mathbf{b}=(b_1, b_2, b_3, b_4)$

计算 $\prod_{i=1}^4 (a_i + b_i)$ 。画出流水线时空图，求 P 、 S 、 E



解： 1 分析: 先进行4次加法,再进行乘法.

2 画出流水线时空图



静态: 加法完成后再进行乘法

动态: 不要求加法完成

1) 由时空图，17个 Δt 时间内输出7个结果，因此

$$P = \frac{n}{T_k} = \frac{7}{17\Delta t}$$

2) 串行方法完成，需4次加法和3次乘法，总时间为

$$T_0 = 4 \times 3\Delta t + 3 \times 5\Delta t = 27\Delta t$$

加速比

3) 效率

$$\therefore S = \frac{T_0}{T_k} = \frac{27\Delta t}{17\Delta t} = 1.88$$

$$E = \frac{\text{有效时空区面积}}{\text{全部时空区总面积}} = \frac{3 \times 4\Delta t + 5 \times 3\Delta t}{6 \times 17\Delta t} = \frac{27}{102} = 0.264$$

例2 一条段数为4的流水线，无条件分支在第二个时钟周期结束时就被解析出来，条件分支要到第三个时钟周期结束时才能够被解析出来。所有类型的指令都必须经过第一个流水段的处理。问在没有任何控制相关的情况下，该流水线相对于存在上述控制相关情况下的加速比是多少？假设各种分支指令数占有所有指令数的百分比如下：
（假设没有控制相关时流水线的平均CPI=1）

条件分支	20% (其中的 60% 是分支成功的)
跳转和调用	5%

控制相关时：无条件分支在第二个时钟周期结束时被解析出来，条件分支要到第3个时钟周期结束时才能被解析出来。

解：（1）若使用排空流水线策略，则对条件分支，有两个额外的stall，对无条件分支，有一个额外的stall：

$$\text{CPI} = 1 + 20\% * 2 + 5\% * 1 = 1.45$$

（2）若使用预测分支成功策略，则对不成功的条件分支，有两个额外的stall，对无条件分支和成功的条件分支，有一个额外的stall

$$\text{CPI} = 1 + 20\% * (60\% * 1 + 40\% * 2) + 5\% * 1 = 1.33$$

（3）若使用预测分支失败策略，则对于成功的条件分支，有两个额外的stall；对无条件分支，有一个额外的stall；对不成功的条件分支，无延迟：

$$\text{CPI} = 1 + 20\% * (60\% * 2 + 40\% * 0) + 5\% * 1 = 1.29$$

$$\text{加速比 } S = \text{CPI} / 1 = 1.29$$

第五章 指令级并行及其开发

指令级并行基概念；

指令的动态调度技术（硬件方法）

乱序执行调度的概念

记分牌动态调度算法

Tomasulo算法

基于硬件的前瞻执行

动态分支预测技术

- ◆ 分支历史表BHT
- ◆ 分支目标缓冲器BTB

多流处技术（超标量，超流水，VLIW，静态指令调度）