

计算机系统结构

第二讲 流水线的性能指标 (1)

冯丹

武汉光电国家研究中心



Computer Architecture

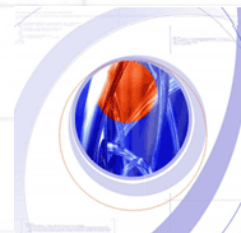
1.吞吐率的定义

- 吞吐率通常使用缩写**TP**表示，是指在单位时间内流水线所完成的任务数量或输出结果的数量。

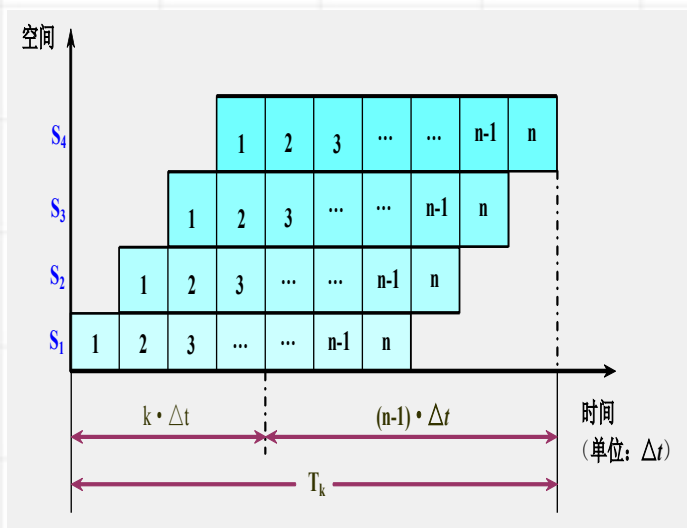
$$TP = \frac{n}{T_k}$$

n: 任务数

T_k: 处理完成**n**个任务所用的时间



2-1. 吞吐率分析：各段时间均等



- (k段线性) 流水线完成n个连续任务所需要的总时间

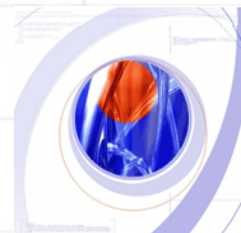
$$T_k = (k + n - 1) \Delta t$$

- 实际吞吐率

$$TP = \frac{n}{(k + n - 1) \Delta t}$$

- 最大吞吐率

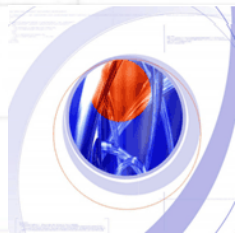
$$TP_{\max} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{(k + n - 1) \Delta t} = \frac{1}{\Delta t}$$



2-2.最大吞吐率与实际吞吐率

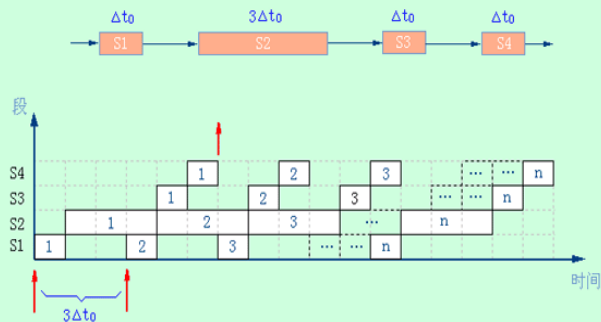
$$TP = \frac{n}{k + n - 1} TP_{\max}$$

- 流水线的实际吞吐率小于最大吞吐率，它除了与每个段的时间有关外，还与流水线的段数 k 以及输入到流水线中的任务数 n 等有关。
- 只有当 $n \gg k$ 时，才有 $TP \approx TP_{\max}$ 。



3. 吞吐率分析：各段时间不全相等

流水线的时-空图
(各段时间不等)



- (k段线性) 流水线完成n个连续任务所需要的总时间为

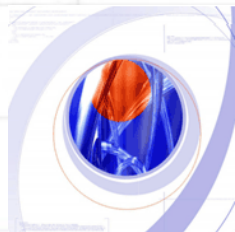
$$\square \quad T_k = \sum \Delta t_i + (n-1) \max(\Delta t_i) \quad (i=1, \dots, k)$$

- 实际吞吐率

$$TP = \frac{n}{\sum_{i=1}^k \Delta t_i + (n-1) \max(\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_k)}$$

- 最大吞吐率

$$TP_{\max} = \frac{1}{\max(\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_k)}$$



4-1. 流水线瓶颈问题

- 流水线中执行时间最长的段称为流水线的**瓶颈段**
- **瓶颈段使得**流水线性能下降

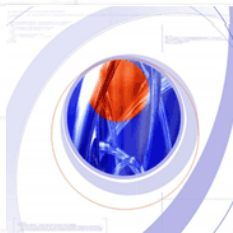
- 各段时间均等的流水线

$$TP_{\max} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n}{(k + n - 1)\Delta t} = \frac{1}{\Delta t}$$

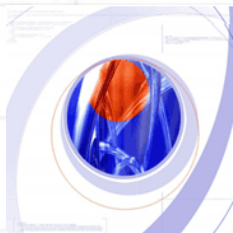
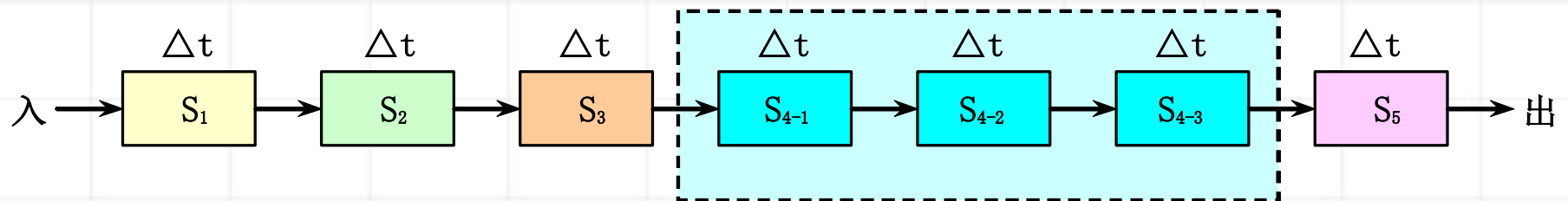
- 各段时间不全相等的流水线

$$TP_{\max} = \frac{1}{\max(\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_k)}$$

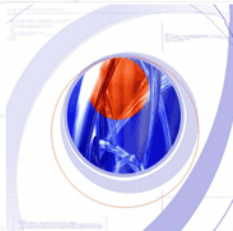
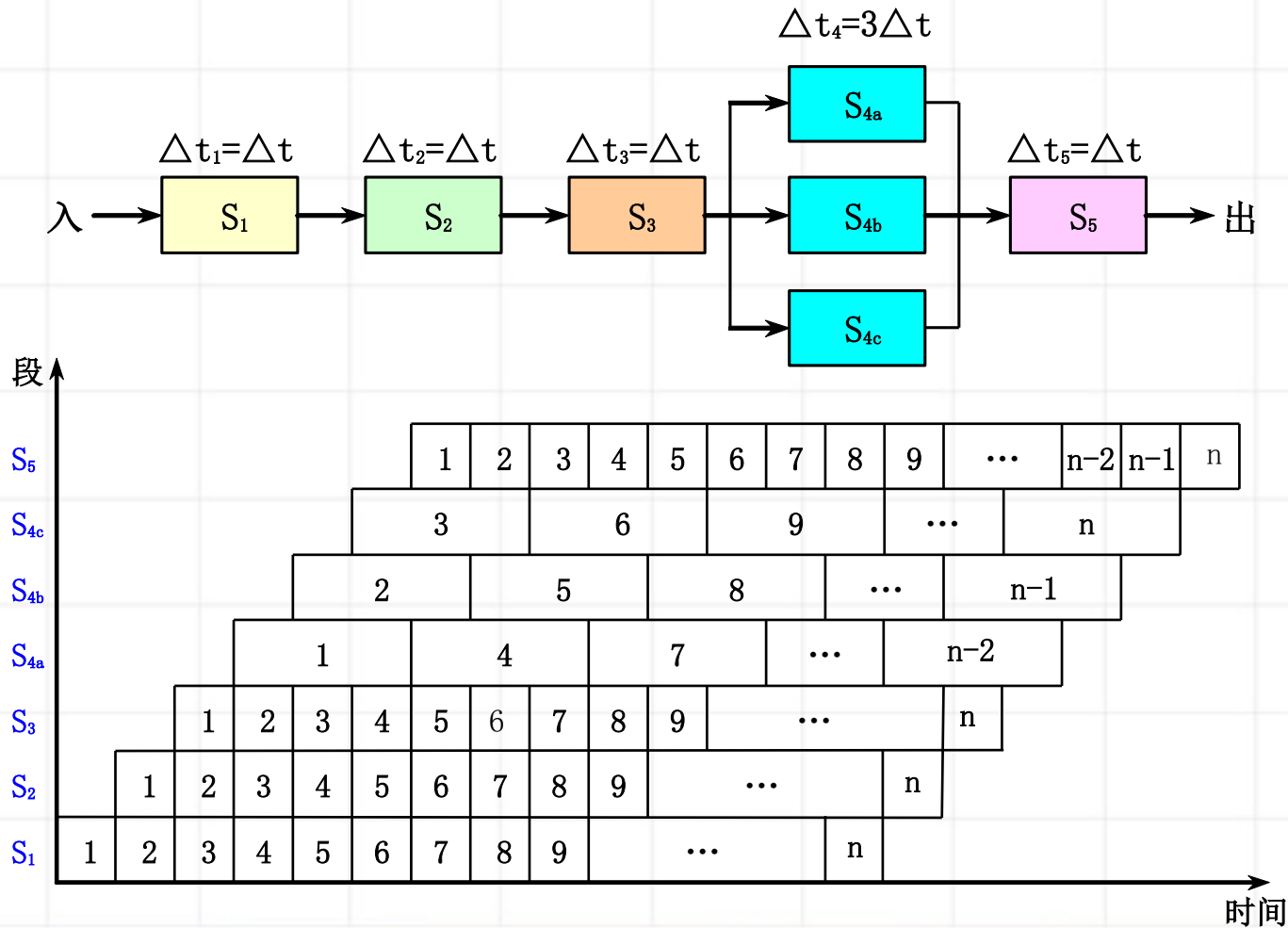
- 解决流水线瓶颈的方法
 - 细分瓶颈段
 - 重复设置瓶颈段



4-2. 细分瓶颈段



4-3. 重复设置瓶颈段



5. 加速比

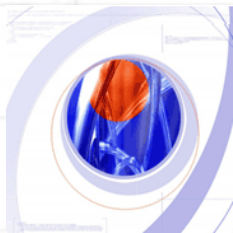
— 加速比 (S)

- 完成同样一批任务，不使用流水线所用的时间与使用流水线所用的时间之比。

$$S = \frac{T_s}{T_k}$$

T_s : 不使用流水线（即顺序执行）所用的时间

T_k : 使用流水线后所用的时间



6.加速比分析：各段时间均等

- 一条 k 段流水线完成 n 个连续任务所需要的时间

- $T_k = (k+n-1)\Delta t$

- 顺序执行 n 个任务所需要的时间

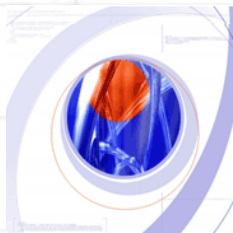
- $T_s = nk\Delta t$

- 实际加速比

$$S = \frac{nk}{k+n-1}$$

- 最大加速比

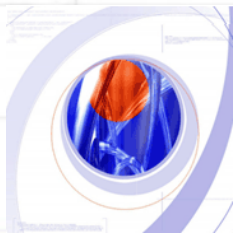
$$S_{\max} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{nk}{k+n-1} = k$$



7.加速比分析：各段时间不全相等

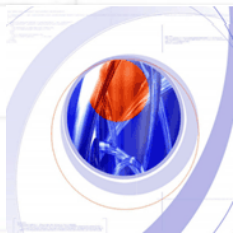
➤ 实际加速比

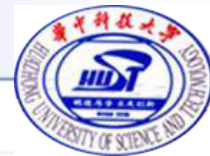
$$S = \frac{n \sum_{i=1}^k \Delta t_i}{\sum_{i=1}^k \Delta t_i + (n-1) \max(\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_k)}$$



8.思考

- 段数越多越好？





谢谢大家

