



计算机原理

COMPUTER PRINCIPLE

第四章 第四节 (1) 什么是流水线？



1. 流水线概述

- 20世纪初美国工程师泰勒发明，管理学界最大的发明
- 1913年10月7日，福特汽车创立了汽车装配流水线，使速度提高了8倍，第一次实现每10秒钟诞生一部汽车的神话



1. 流水线概述

□ IBM Stretch Computer

□ 世界上最早的流水线计算机之一





1. 流水线概述

□ **流水线是一种将多条指令的执行过程相互重叠的实现技巧，使CPU可以通过并行执行多条指令来提高吞吐率。**



1. 流水线概述

□ 流水线是一种将多条指令的执行过程相互重叠的实现技巧，使CPU可以通过并行执行多条指令来提高吞吐率。

□ 例：洗衣店



- 每个步骤 30分钟
- 顾客按排队顺序进入
- 洗衣店每次只允许一个顾客进入



1. 流水线概述

□ 流水线是一种将多条指令的执行过程相互重叠的实现技巧，使CPU可以通过并行执行多条指令来提高吞吐率。

□ 例：洗衣店

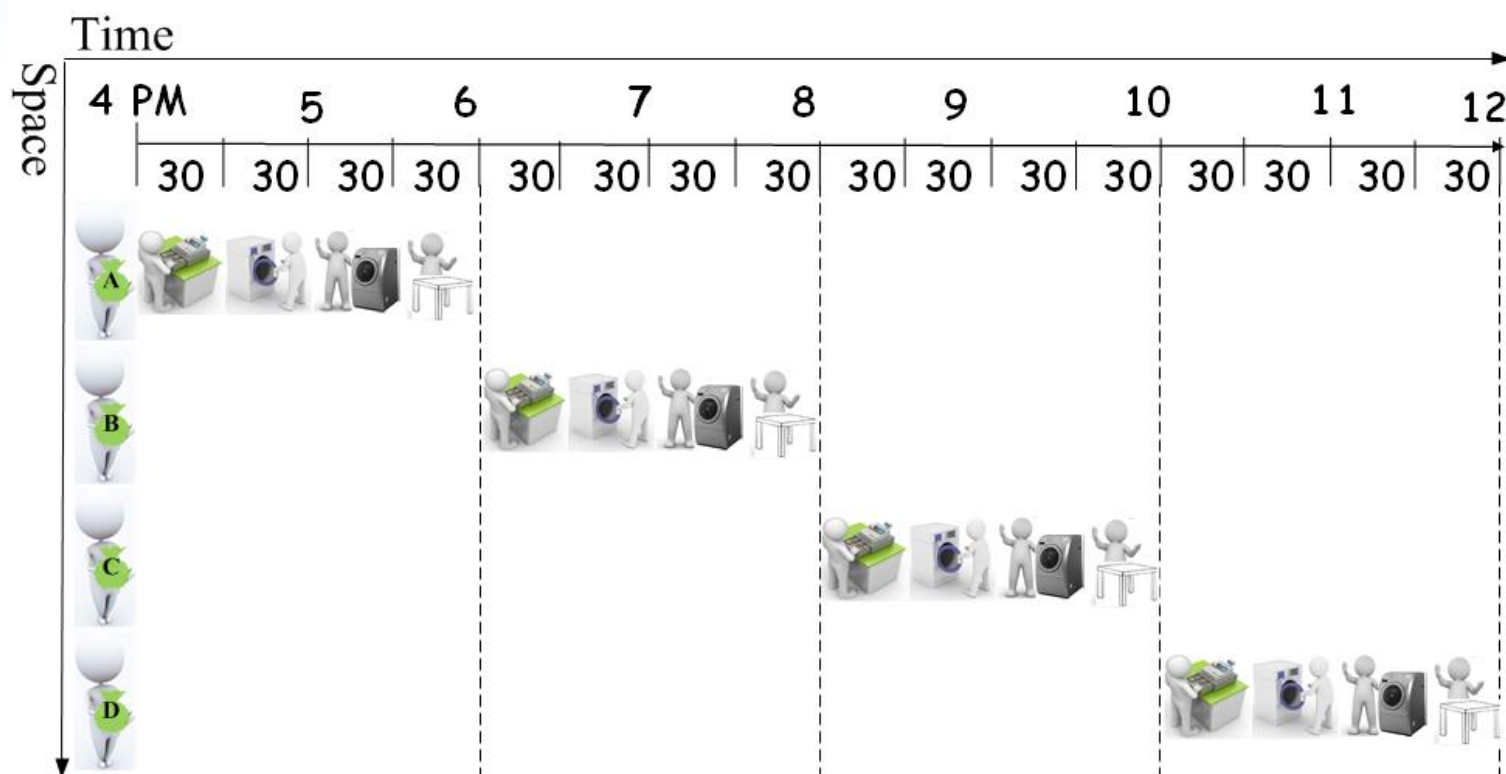


- 每个步骤 30分钟
- 顾客按排队顺序进入
- 洗衣店每次只允许一个顾客进入

如果让你来管理洗衣店，你会如何安排？
使用**流水线技术**是一种很自然的选择。



1. 流水线概述



时(时间)空(顾客)图

(注：这是顺序工作方式)

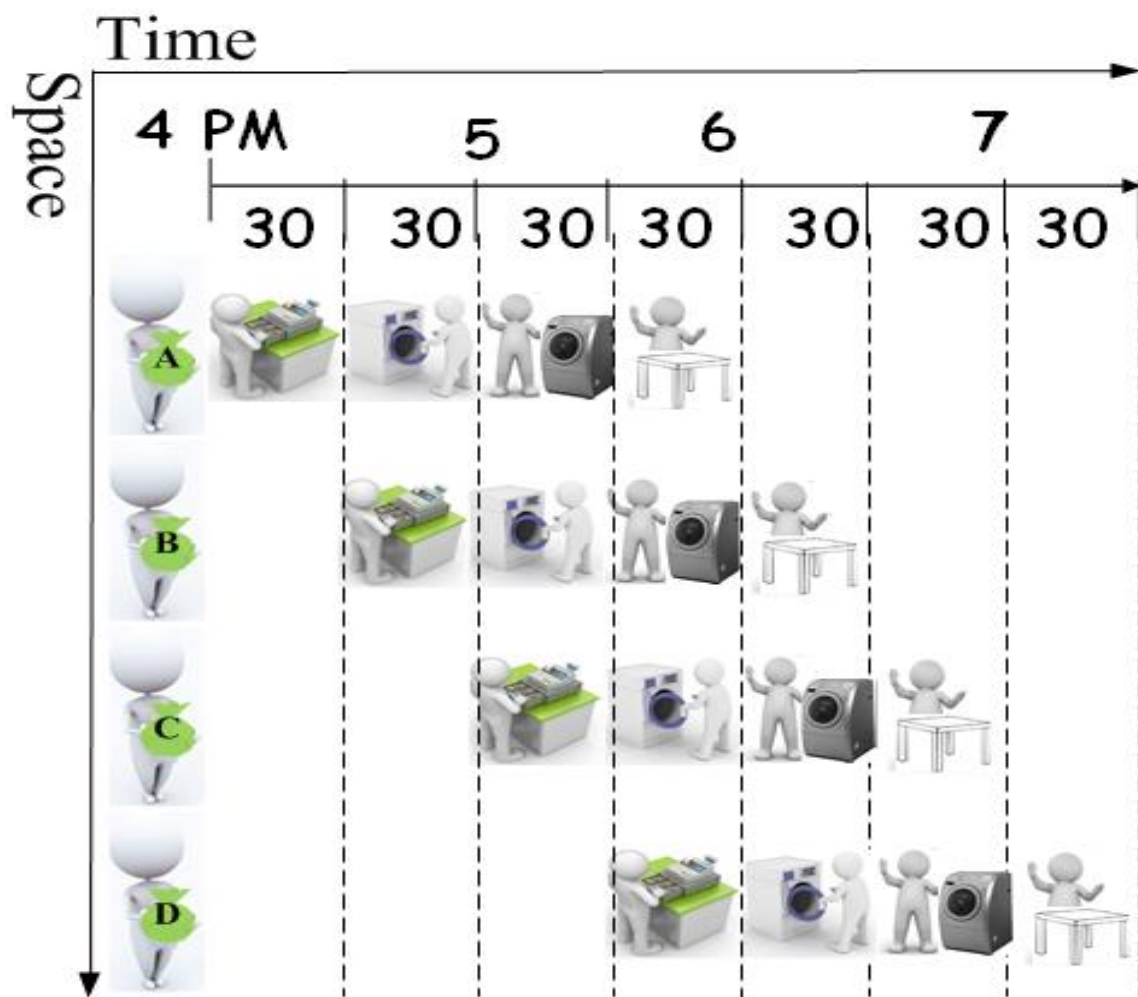
□ 每个洗衣任务的完成时间：2小时

□ 吞吐率：4个洗衣任务/8小时 = 0.5任务/小时

□ 每个设备的使用率都是25%

□ Checker工作2小时、Washer工作2小时、Dryer工作2小时、Folder工作2小时

1. 流水线概述



时空图

如果洗衣店允许多个顾客同时进入

□ 每个洗衣任务的完成时间：2小时

□ 四个洗衣任务可以用3.5小时完成

□ 加速比 = $8 / 3.5 = 2.3$

□ 吞吐率 = $4 / 3.5 = 1.14$ 任务/小时

□ 每个设备的使用率都是57%

□ Checker工作2小时、Washer工作2小时、
Dryer工作2小时、Folder工作2小时



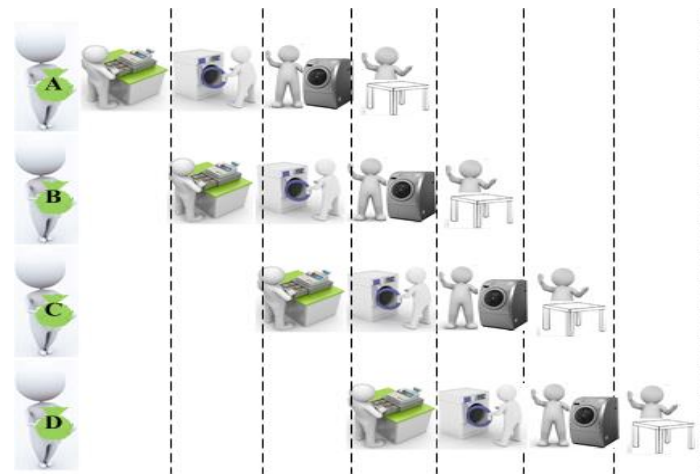
1. 流水线概述

□流水线的奇妙之处在于

- 单个任务执行时，所需的总执行时间没有缩短
- 多个任务执行时，所有工作是并行处理的，因此单位时间内完成的工作量大大增加了
- 在不改变单个任务执行时间的前提下，流水线提高了吞吐率

□流水线适合大量重复的时序过程

□时空图是流水线最好的描述方法



时空图



2. 流水线的图形表示

- 流水线技术比较难以理解，因为在每一个时钟周期内同时会有多条指令在一个数据通路上执行。
- 为了辅助我们理解流水线的原理，有两种图形表示方法。
- 代码实例

LW R10, 20(R1)

SUB R11, R2, R3

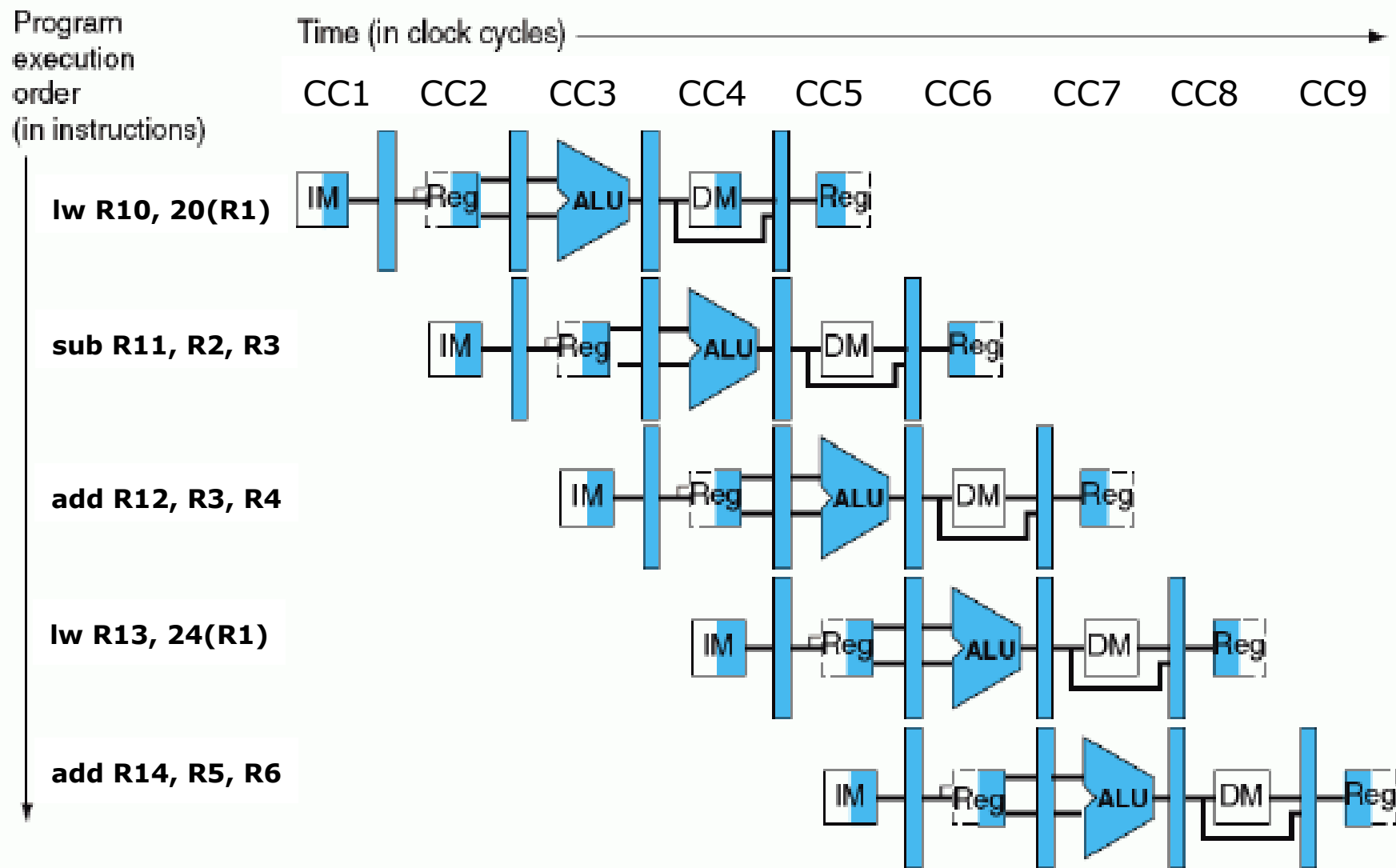
ADD R12, R3, R4

LW R13, 24(R1)

ADD R14, R5, R6

2. 流水线的图形表示

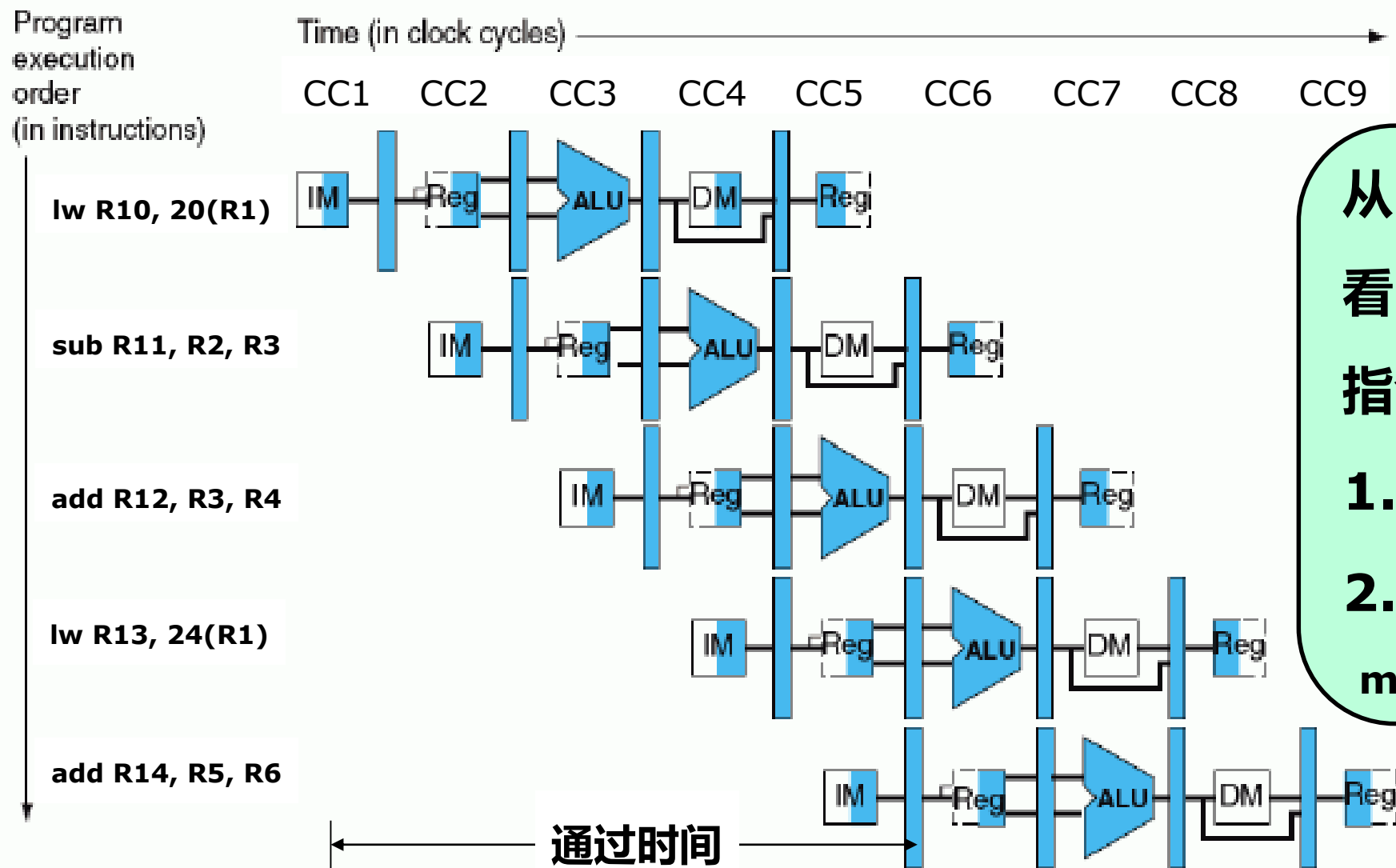
多周期流水线图（流水线时空图）



描述了流水线的
整体情况

2. 流水线的图形表示

多周期流水线图（流水线时空图）



从时空图可以清楚地看出流水线执行一段指令所花的时间：

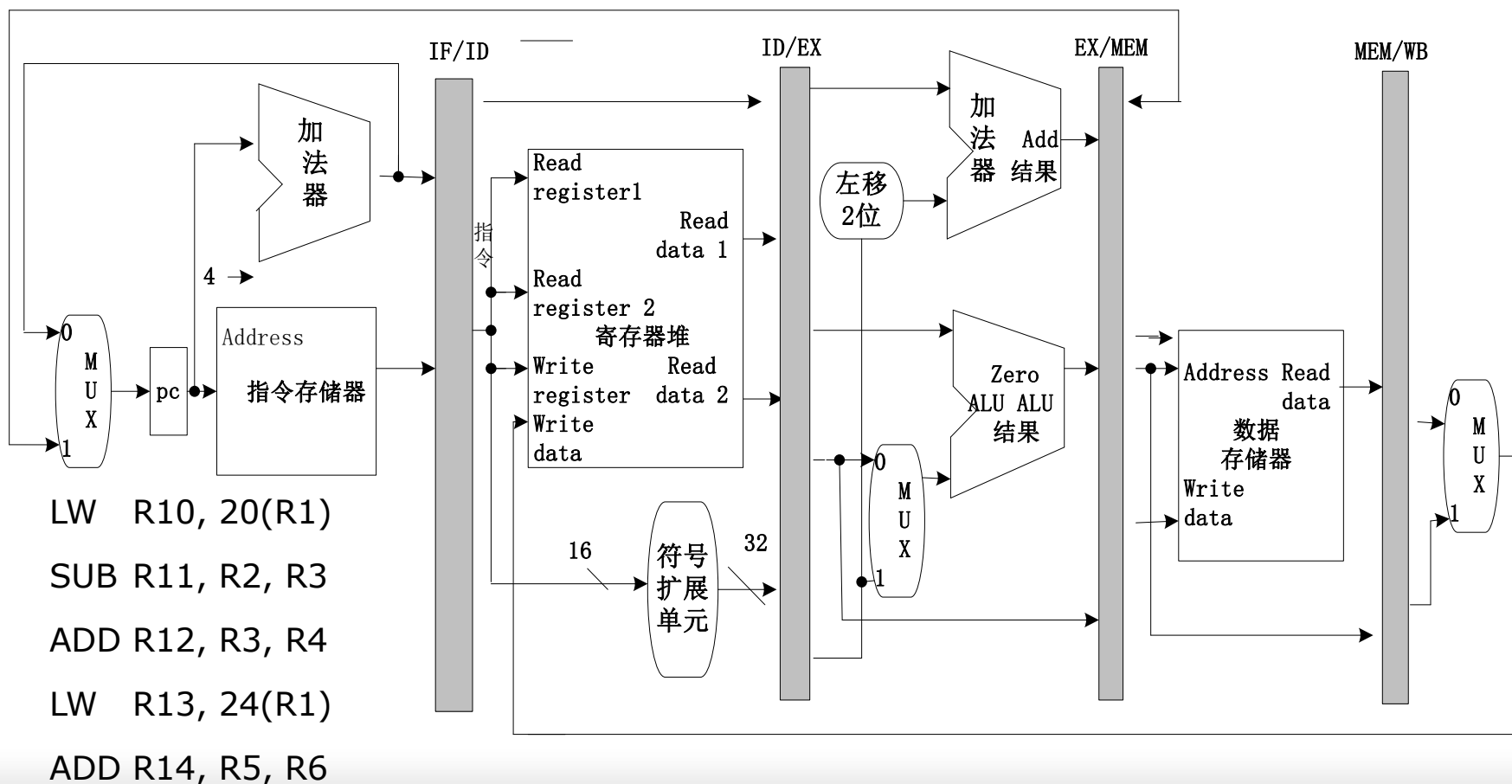
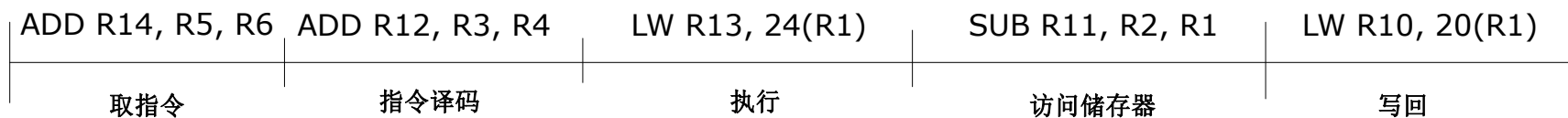
1. 通过时间 = m

2. 总时间 = $m + N - 1$

m - 流水线级数, N - 指令数

2. 流水线的图形表示

单周期流水线图



描述了同一
个时钟周期
内整个数据
通路的状态
和操作



3. 流水线的性能

□假定以下操作所花时间为

■取指：200ps

■寄存器读：100ps

■ALU操作：200ps

■存储器读：200ps

■寄存器写：100ps

□请比较单周期处理器与
流水线处理器的性能。



3. 流水线的性能

□假定以下操作所花时间为

- 取指：200ps
- 寄存器读：100ps
- ALU操作：200ps
- 存储器读：200ps
- 寄存器写：100ps

□请比较单周期处理器与流水线处理器的性能。

□单周期处理器

- 每条指令在一个时钟周期内完成
- 时钟周期时间为800ps
- 执行N条指令需要800Nps



3. 流水线的性能

□假定以下操作所花时间为

- 取指：200ps
- 寄存器读：100ps
- ALU操作：200ps
- 存储器读：200ps
- 寄存器写：100ps

□请比较单周期处理器与流水线处理器的性能。

□单周期处理器

- 每条指令在一个时钟周期内完成
- 时钟周期时间为800ps
- 执行N条指令需要800Nps

□流水线处理器

- 时钟周期时间为200ps
- 每条指令的执行时间为1ns
- 执行N条指令需要 $(4+N)200\text{ps}$

3. 流水线的性能

□假定以下操作所花时间为

- 取指：200ps
- 寄存器读：100ps
- ALU操作：200ps

$$Speedup_{N \rightarrow \infty} =$$

$$\frac{800N}{(4+N) \cdot 200} = \frac{4N}{4+N} = 4$$

□单周期处理器

- 每条指令在一个时钟周期内完成
- 时钟周期时间为800ps
- 执行N条指令需要800Nps

□流水线处理器

- 时钟周期时间为200ps
- 每条指令的执行时间为1ns
- 执行N条指令需要(4+N)200ps

3. 流水线的性能

结论：流水线没有缩短单条指令的执行时间，但却大大提高了吞吐率（减少了CPI）

$$\text{Speedup}_{N \rightarrow \infty} = \frac{800N}{(4+N) 200} = \frac{4N}{4+N} = 4$$

□单周期处理器

- 每条指令在一个时钟周期内完成
- 时钟周期时间为800ps
- 执行N条指令需要800Nps

□流水线处理器

- 时钟周期时间为200ps
- 每条指令的执行时间为1ns
- 执行N条指令需要(4+N)200ps



4. 流水线适合哪种指令集

□具有什么特征的指令集适合以流水方式执行呢？



4. 流水线适合哪种指令集

□ 具有什么特征的指令集适合以流水方式执行呢？

- 指令长度尽量一致，有利于简化取指令和指令译码操作
- 指令格式少，且源寄存器位置相同，有利于在指令未知时就可取操作数
- 只有load/Store指令才能访存，有利于减少操作步骤，规整流水线
- 数据和指令在内存中要“对齐”存放，有利于减少访存次数和流水线的规整



4. 流水线适合哪种指令集

□ 具有什么特征的指令集适合以流水方式执行呢？

- 指令长度尽量一致，有利于简化取指令和指令译码操作
- 指令格式少，且源寄存器位置相同，有利于在指令未知时就可取操作数
- 只有load/Store指令才能访存，有利于减少操作步骤，规整流水线
- 数据和指令在内存中要“对齐”存放，有利于减少访存次数和流水线的规整

**规整、简单和
一致等特性**
有利于指令的
流水执行