

## 本节主题



# 流水线的优化

北京大学·慕课  
计算机组成  
制作人：陆俊林



# 流水线的分析



时钟周期=1分钟



	流水线方式	非流水线方式
单独一道菜	4+分钟	4分钟
做四道菜	7+分钟	16分钟
连续工作	每1+分钟上一道菜	每4分钟上一道菜

≈

<

≈4倍

# 流水线的平衡性



时钟周期=2分钟



	不平衡的流水线	流水线方式	非流水线方式
单独一道菜		8+分钟	5分钟
做四道菜		14+分钟	20分钟
连续工作		每2+分钟上一道菜	每5分钟上一道菜

≈2.5倍

# 流水线的调整



时钟周期=1分钟



洗菜

1分钟



切菜1

1分钟



切菜2

1分钟



炒菜

1分钟



装盘

1分钟

	平衡的流水线	流水线方式	非流水线方式
单独一道菜		5+分钟	≈ 5分钟
做四道菜		8+分钟	20分钟
连续工作		每1+分钟上一道菜	< 每5分钟上一道菜 ≈5倍

# “超级流水线”



## “超级流水线” 技术 ( Super Pipelining )

- 将五级流水线细分为更多的阶段，增加流水线的深度
- 提升时钟频率，从而提高指令吞吐率

### 五级流水线



- 时钟周期： $200\text{ps} + 50\text{ps} = 250\text{ps}$

### 十级流水线



- 时钟周期： $100\text{ps} + 50\text{ps} = 150\text{ps}$

# 流水线的深度



❏ 流水线的级数是越多越好吗？

。否！

❏ 五级流水线



- 。时钟周期： $200\text{ps} + 50\text{ps} = 250\text{ps}$
- 。单条指令的延迟： $1250\text{ps}$
- 。流水线寄存器延迟所占比例： $50\text{ps} / 250\text{ps} = 20\%$

❏ 十级流水线



- 。时钟周期： $100\text{ps} + 50\text{ps} = 150\text{ps}$
- 。单条指令的延迟： $1500\text{ps}$
- 。流水线寄存器延迟所占比例： $50\text{ps} / 150\text{ps} = 33\%$





# 处理器流水线深度的变化

1986年，R2000: 5级

1988年，R3000: 5级

1991年，R4000 ( 64位 ) : 8级

1993年，Pentium: 5级

取指	译码	地址生成	执行	回写
----	----	------	----	----

1995年，Pentium Pro: 12级

IF1	IF2	IF3	ID1	ID2	RAT	ROB	DIS	EX	WB	RR	RET
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	----	-----

1997年，ARM9: 5级

取指	译码	执行	访存	写回
----	----	----	----	----

2002年，ARM11: 8级

取指1	取指2	译码	发射	执行1	执行2	执行3	写回
-----	-----	----	----	-----	-----	-----	----

2004年，Pentium 4(Prescott) : 31级

2006年，Core 2 Duo(Merom) : 14级

2008年，Core i7(Nehalem) : 16级

2009年，Cortex-A8 : 13级

2010年，Cortex-A9 : 11级

2011年，Cortex-A15 : 15级

2013年，Core i7(Haswell) : 14级

2013年，Cortex-A57 : 15级

## 本节小结



# 流水线的优化

北京大学·慕课  
计算机组成  
制作人：陆俊林

