

体系结构（2024 秋）-课程作业 2

（涉及：第 4 章 指令级并行）

November 12, 2024

1 习题 1

问题（25 分）

研究流水线的加深如何以两种不同方式影响性能：加快时钟周期，因为数据和控制冒险而延长停顿。假设原机器是一个 5 级流水线，其时钟周期为 $1ns$ 。第二种机器为 12 级流水线，时钟周期为 $0.6ns$ 。由于数据冒险，5 级流水线每 5 条指令经历 1 次停顿，而 12 级流水线每 12 条指令经历 4 次停顿。此外，分支占全部指令的 20%，两台机器的错误预测率都是 5%。

- 仅考虑数据冒险，12 级流水线相对于 5 级流水线的加速比为多少？
- 如果第一台机器的分支错误预测代价为 2 个周期，而第二台机器为 5 个周期，则每台机器的 CPI 为多少？由于分支错误预测而导致的停顿考虑在内。

2 习题 2

问题（25 分）

研究 Tomasulo 算法的各种变体在执行下面代码段中的循环时的表现。功能单元（FU）如下表1所述。

```
DADDIU R4, R1, #800 ;
foo: L.D    F2, 0(R1)  ;
      MUL.D  F4, F2, F0  ;
      L.D    R6, 0(R2)  ;
      ADD.D  F6, F4, F6  ;
      S.D    F6, 0(R2)  ;
      DADDIU R1, R1, #8  ;
      DADDIU R2, R2, #8  ;
      DSLTU  R3, R1, R4  ;
      BNEZ   R3, foo     ;
```

作出如下假设：

- 功能单元未实现流水化；

Table 1: 习题2-表

功能单元类型	EX 中的循环数	功能单元数	保留站数
整数	1	1	5
浮点加法器	10	1	3
浮点乘法器	15	1	2

- 功能单元之间不存在转发，结果由公共数据总线（CDB）传送；
- 执行级（EX）既进行有效地址计算，又进行存储器访问，以完成载入和存储指令。因此，这个流水线为 IF/ID/IS/EX/WB；
- 载入指令需要一个时钟周期；
- 发射（IS）和写回（WB）结果级各需要一个时钟周期；
- 共有 5 个载入缓冲区槽和 5 个存储缓冲区槽；
- 假定“等于/不等于 0 时转移”（BNEZ）指令需要一个时钟周期。

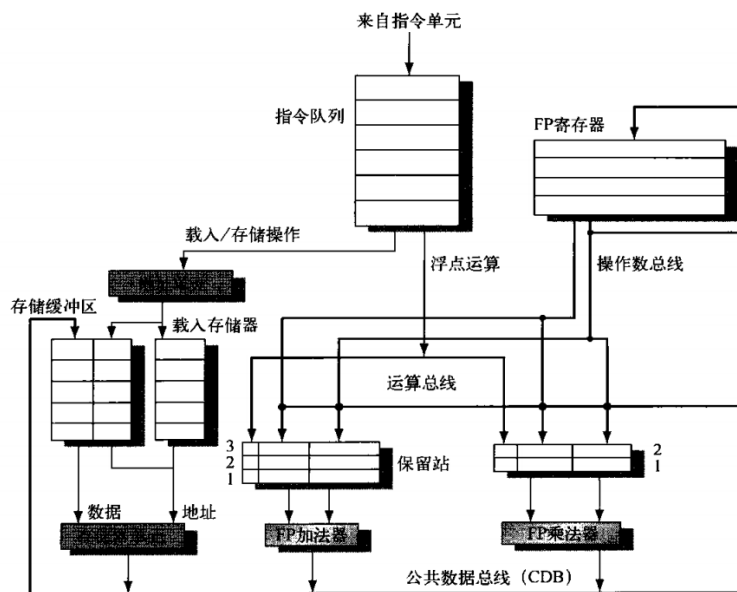


Figure 1: 习题2-Tomasulo MIPS 流水线

对这个问题来说，使用图1的单发射 Tomasulo MIPS 流水线，流水线延迟如上表所示。对于该循环的 3 个迭代，给出每个指令的停顿周期数以及每个指令在哪个时钟周期中开始执行（即，进入它的第一个 EX 周期）。每个循环迭代需要多少个时钟周期？可以忽略第一条指令。以表格方式给出你的答案，表中应当具有如下所示的表头：

- 迭代 (循环迭代数)；
- 指令；

- 发射 (发射指令的周期);
- 执行 (执行指令的周期);
- 访存 (访问存储器的周期);
- 写 CDB(将结果写到 CDB 的周期);
- 注释 (说明目前指令遭遇的问题原因, 比如什么原因导致了数据、结构、控制冒险)。

3 习题 3

问题 (25 分)

使用以下代码段:

```

Loop: LD      R1, 0(R2)      ; 从地址 0+R2 载入 R1
      DADDI R1, R1, #1      ; R1 = R1 + 1
      SD      R1, 0(R2)      ; 将 R1 存储到 0+R2 中
      DADDI R2, R2, #4      ; R2 = R2 + 4
      DSUB   R4, R3, R2      ; R4 = R3 - R2
      BNEZ   R4, Loop        ; 如果 R4 != 0, 则分支到循环

```

假设 R3 的初始值为 R2+396。

ld x1,0(x2)	IF	ID	EX	MEM	WB				
sub x4,x1,x5		IF	ID	EX	MEM	WB			
and x6,x1,x7			IF	ID	EX	MEM	WB		
or x8,x1,x9				IF	ID	EX	MEM	WB	
ld x1,0(x2)	IF	ID	EX	MEM	WB				
sub x4,x1,x5		IF	ID	Stall	EX	MEM	WB		
and x6,x1,x7			IF	Stall	ID	EX	MEM	WB	
or x8,x1,x9				Stall	IF	ID	EX	MEM	WB

Figure 2: 习题3-流水线表示例

a. 数据冒险是由代码中的数据相关性导致的。相关性是否会导致冒险, 取决于机器实现 (比如流水级的数自)。列出上述代码中的所有数据相关。记录寄存器、源指令和目标指令: 例如, 从 LD 到 DADDI, 存在对于寄存器 R1 的数据相关性。

b. 给出这一指令序列对于 **5 级 RISC 流水线**的时序, 该流水线没有任何转发或旁路硬件, 但假定在同一时钟周期中的寄存器读取与写入通过寄存器堆进行“转发”。请参考如表2中所示的流水线时序表。假定该分支是通过冲刷流水线来处理的。如果所有存储器引用耗时 1 个周期, 这一循环的执行需要多少个周期?

c. 给出这一指令序列对于**拥有完整转发、旁路硬件的 5 级 RISC 流水线**的时序。请参考如表2中所示的流水线时序表。假定在处理分支时, 预测它未被选中。如果所有存储器引用耗时 1 个周期, 这一循环的执行需要多少个周期?

d. 给出这一指令序列对于**拥有完整转发、旁路硬件的 5 级 RISC 流水线的时序**。请参考如表2中所示的流水线时序表。**假定在处理分支时，预测它被选中**。如果所有存储器引用耗时 1 个周期，这一循环的执行需要多少个周期？

e. 假定在一个 5 级流水线中，最长的流水级需要 $0.8ns$ ，流水线寄存器延迟为 $0.1ns$ 。这个 5 级流水线的时钟周期时间为多少？

f. 利用第 (d) 部分的答案，判断该循环在 5 级流水线的每指令周期数 (CPI)。确保仅计算从第一条指令到达写回级再到最后的周期数。不要计算第一条指令的开始时间。利用第 (e) 部分计算的时钟周期数，计算每种机器的平均指令执行时间。

4 习题 4

问题 (25 分)

(m,n) 相关分支预测器使用最近执行的 m 个分支的行为来从一个 n 位预测器中进行选择。两级局部预测器以类似的方式工作，但只跟踪每个单独分支的过去行为以预测未来行为。这种预测器涉及一个设计权衡：相关预测器需要很少的历史记忆，这允许它们为大量单个分支维护 2 位预测器（降低分支指令重用相同预测器的概率），而本地预测器需要更多的内存来保存历史，因此仅限于跟踪相对较少的分支指令。对于本练习，请考虑可以跟踪四个分支（需要 16 位）的 (1,2) 相关预测器与可以使用相同数量的内存跟踪两个分支的 (1,2) 本地预测器。对于以下分支结果，提供每个预测、用于进行预测的表条目、作为预测结果对表的任何更新以及每个预测器的最终错误预测率。假设到此为止的所有分支都已被采用。将每个预测器初始化为以下内容：

Branch PC (word address)	Outcome
454	T
543	NT
777	NT
543	NT
777	NT
454	T
777	NT
454	T
543	T

习题4-表 1

Correlating predictor			
Entry	Branch	Last outcome	Prediction
0	0	T	T with one misprediction
1	0	NT	NT
2	1	T	NT
3	1	NT	T
4	2	T	T
5	2	NT	T
6	3	T	NT with one misprediction
7	3	NT	NT

习题4-表 2

Local predictor			
Entry	Branch	Last 2 outcomes (right is most recent)	Prediction
0	0	T,T	T with one misprediction
1	0	T,NT	NT
2	0	NT, T	NT
3	0	NT	T
4	1	T, T	T
5	1	T,NT	T with one misprediction
6	1	NT,T	NT
7	1	NT,NT	NT

习题4-表 3