转移指令对性能的影响*

设有一 k 个流水段的流水线，执行 n 条指令

设条件转移指令在程序中所占的比例为 p，转移成功概率为 q。

最坏情况，一次转移造成 k-1 个时钟周期的“断流”。

n 条指令的程序，条件转移需要额外增加的时钟周期数是 pqn(k-1)Δt，

因条件转移,完成 n 条指令的总执行时间

$$T_{kB} = (k+n-1)\Delta t + pqn(k-1)\Delta t$$

- 相应的流水线吞吐率为

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

- 当 n→∞时，流水线最大吞吐率为 （分析公式意义）

$$P_{B\max} = \frac{1}{[1+pq(k-1)]\Delta t}$$

流水线吞吐率下降率为：

$$D = \frac{P_{\max} - P_{B\max}}{P_{\max}} = \frac{pq(k-1)}{1+pq(k-1)}$$

流水线预测典型例题：

例题： 在一台单流水线处理机上执行下面程序。指令经取指、译码、执行、写结果四个流水段，每个流水段延迟时间 5ns 。但 LS 和 ALU 部件的执行段只能一个工作，LS 部件完成 LOAD 和 STORE 操作，ALU 部件完成其它操作。两个操作部件的输出端和输入端有直接输出通路相互切换连接， ALU 部件产生的条件码能直接送入控制器。假定采用静态分支预测技术，每次都预测转移不成功。画出指令流水线的时空图.

I1	SUB R0， R0	；R0 ← 0
I2	LOAD R1， #8	；R1 ← 向量长度 8
I3	LOOP：LOAD R2， A（R1）	； A：向量的一个元素
I4	MUL R2，R1	;R2 ← （R2） ×（R1）
I5	ADD R0， R2	；R0 ← （R0） + （R2）
I6	DNE R1， LOOP	；R1 ← R1 - 1，若（R1） ≠0 转向 LOOP
I7	STORE R0， S	；保存结果

好难啊!

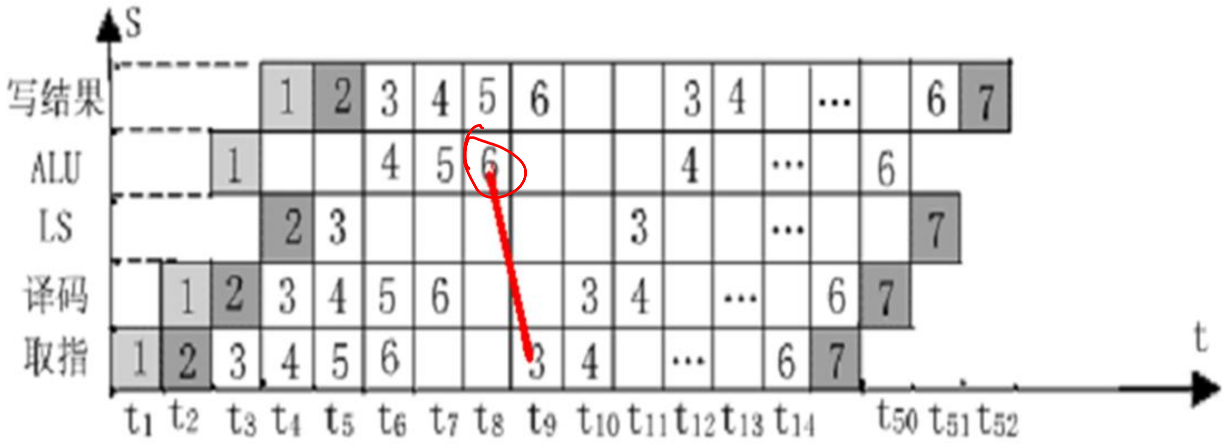

图　　流水线时空图

每次预测不成功　　最后一次成功 8+7 *6（错） + 2（对）　=52 个时钟周期

吞吐率：　P=(3+4*8)/(52*5ns)=135(MPIS)

这里的任务数就是执行的指令条数。　　任务数即执行指令数.

例题 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下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：

CPI = 1+20%*2+5%*1 = 1.33

（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

CPI = 1+20%*(60%*1+40%*2) +5%*1 = 1.33　　为何?

（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：

CPI = 1+20%*(60%*2 + 40%*0) +5%*1 = 1.29

加速比 S=CPI/1 = 1.29