

2. 解:

	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$L_5$	$L_6$
$L_1$						
$L_2$						
$L_3$		RAW				
$L_4$						
$L_5$			RAW	RAW		
$L_6$					RAW	

4. 解: (1)  $S = \frac{T_A}{T_B} = \frac{N \cdot CPL_A \cdot T_A \text{cycle} + T_A \text{stall}}{N \cdot CPL_B \cdot T_B \text{cycle} + T_B \text{stall}}$

$$= \frac{N \cdot \frac{N+K_A-1}{N} \cdot T_A \text{cycle} + \frac{N}{5} \cdot T_A \text{cycle}}{N \cdot \frac{N+K_B-1}{N} \cdot T_B \text{cycle} + \frac{N}{8} \cdot 3T_B \text{cycle}}$$

$$= \frac{6N + 20}{\frac{33}{8}N + 33}$$

当  $N$  足够大时,  $S = \frac{16}{11}$

因此处理器 B 相比处理器 A 的加速比为  $\frac{16}{11}$

(2) 不考虑分支指令时

$$CPL_A = \frac{6}{5}, CPL_B = \frac{11}{8}$$

由于分支指令占所有指令的 20%

$$\text{故 } CPL_A = \frac{\frac{N}{5} + 0.4(N+k_A-1) + 0.2[95\% \times (N+k_A-1) + 5\%(3N+k_A-1)]}{N}$$
$$= \frac{1.22N + 4}{N}$$

当  $N$  充分大, 得  $CPL_A = 1.22$

$$\text{同理 } CPL_B = \frac{\frac{3N}{8} + 0.4(N+k_B-1) + 0.2[0.95(N+k_B-1) + 0.05(6N+k_B-1)]}{N}$$
$$= \frac{1.425N + 9.02}{N}$$

当  $N$  充分大, 得  $CPL_B = 1.425$

因此处理器 A 的 CPL 为 1.22, 处理器 B 的 CPL 为 1.425

6. 编程:

① RAW: ① addi a1, a1, 1 依赖 ld a1, 0(a2) 的结果

② sd a1, 0(a2) 依赖 addi a1, a1, 1 的结果

③ sub a4, a3, a2 依赖 addi a2, a2, 4 的结果

④ bneq a4, Loop 依赖 sub a4, a3, a2 的结果

WAR ① addi a1, a1, 1 改变了 a1 的值, 而 sd a1, 0(a2) 需读取 a1

② addi a2, a2, 4 改变了 a2 的值, 而 ld a1, 0(a2) 需读取 a2

WAW ① ld a1, 0(a2) 与 addi a1, a1, 1 均改变 a1 的值, 后续的 sd a1, 0(a2) 需读取 a1 的值

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ld a1, 0(a2)	IF	LD	EX	MEM	WB									
addi a1, a1, 1	IF	LD	S	S	EX	MEM	WB							
sd a1, 0(a2)		IF	S	S	LD	EX	S	MEM	WB					
addi a2, a2, 4			S	S	IF	LD	S	EX	MEM	WB				
sub a4, a3, a2			S	S	IF	LD	S	LD	S	S	EX	MEM	WB	
bnez a4, Loop			S	S	S	S	IF	S	S	LD	S	S		
	15	16	17											
	EX	MEM	WB											

该代码共执行 21 轮循环，执行所有循环的时钟周期数为  $17 \times 21 = 357$

7. 解：(1)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ld a1, 0(a2)	IF	LD	EX	MEM	WB						
addi a1, a1, 1	IF	LD	S	EX	MEM	WB					
sd a1, 0(a2)		IF	S	LD	EX	MEM	WB				
addi a2, a2, 4			S	IF	LD	EX	MEM	WB			
sub a4, a3, a2			S	S	IF	LD	EX	MEM	WB		
bnez a4, Loop			S	S	IF	LD	EX	MEM	WB		

执行完所有循环要 231 个周期

(2) 由于流水线中存在 1 个工作于 IF 级的固定预测跳转且能记录跳转位置的分支预测器

因此当预测正确时，bnez 指令的 IF 后，即执行 ld 指令的 IF 预测失败时，冲刷流水线，当前循环重新执行

因此执行完所有循环的周期数为  $7 \times 20 + 3 + 1 = 154$

8. 解: (1)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ld a <sub>1</sub> , 0(a <sub>2</sub> )	ZF	ZF2	ZD1	ZD2	EX1	EX2	MEM1	MEM2	WB1	WB2										
addi a <sub>1</sub> , a <sub>1</sub> , 1	ZF1	ZF2	ZD1	ZD2	S	S	S	S	EX1	EX2	MEM1	MEM2	WB1	WB2						
sd a <sub>1</sub> , 0(a <sub>2</sub> )	AN	ZF1	ZF2	ZD1	S	S	S	S	ZD2	EX1	EX2	MEM1	MEM2	WB1	WB2					
addi a <sub>2</sub> , a <sub>2</sub> , 4		ZF1	ZF2	S	S	S	S	ZD1	ZD2	EX1	EX2	MEM1	MEM2	WB1	WB2					
sub a <sub>4</sub> , a <sub>3</sub> , a <sub>2</sub>		ZF1	S	S	S	S	ZF2	ZD1	ZD2	S	EX1	EX2	MEM1	MEM2	WB1	WB2				
bneq a <sub>4</sub> , Loop			S	S	S	S	ZF1	ZF2	ZD1	S	LD2	S	EX1	EX2	MEM1	MEM2	WB1	WB2		

单个循环有 20 个时钟周期

共进行 21 次循环，同时考虑静态分支预测器。

执行所有循环的时钟周期数为  $9 + 11 \times 9 + 8 + 20 = 136$

$$(2) ① 题 6 情况下 \quad CPL = \frac{357}{21 \times 6} = 2.83$$

$$② 题 7 情况下 \quad CPL = \frac{154}{21 \times 6} = 1.22$$

$$③ 题 8 情况下 \quad CPL = \frac{136}{21 \times 6} = 1.08$$

19. 解:(1)	add	addi	ld	sd	bne	jal	jalr
是否需要 2 周期?	是	否	否	否	是	否	否

(3) 为流水线引入前馈，则

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
lw a <sub>4</sub> , 0(a <sub>3</sub> )	ZF	ZD	EX	MEM	WB					
addw a <sub>1</sub> , a <sub>4</sub> , a <sub>1</sub>	ZF	ZD	S	EX	MEM	WB				
addiw a <sub>2</sub> , a <sub>2</sub> , -1	ZF	S	S	ZD	EX	MEM	WB			
addiw a <sub>3</sub> , a <sub>3</sub> , 4		S	S	ZF	ZD	EX	MEM	WB		
bneq a <sub>2</sub> , Loop			S	ZF	ZD	EX	MEM	WB		

此时上述代码单次迭代需要的周期数为 8

lw a <sub>4</sub> , 0(a <sub>3</sub> )	ZF	ZD	EX	MEM	WB			
addw a <sub>1</sub> , a <sub>4</sub> , a <sub>1</sub>	ZF	ZD	S	EX	MEM	WB		
addiw a <sub>2</sub> , a <sub>2</sub> , -1	ZF	S	S	ZD	EX	MEM	WB	
addiw a <sub>3</sub> , a <sub>3</sub> , 4		S	S	ZF	ZD	EX	MEM	WB
bneq a <sub>2</sub> , Loop			S	ZF	ZD	EX	MEM	WB

循环单次迭代需要的周期数为 10