

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

(2020-2021)

2^η Σειρά Ασκήσεων

Ονοματεπώνυμο, Α.Μ., στοιχεία επικοινωνίας:

- Χρήστος Τσούφης
 - 03117176
 - el17176@mail.ntua.gr

Disclaimer: Παρακάτω παρουσιάζονται δύο διαφορετικές εκδοχές για την επίλυση των ερωτημάτων. Η διαφοροποιήσεις εντοπίζονται στις διαφορετικές παραδοχές που έγιναν όπως θα φανεί και στην συνέχεια. Είναι πιθανό κάποιες εκτιμήσεις να μην είναι ορθές ωστόσο παρουσιάζονται και οι δύο εκδοχές για πληρότητα και σύγκριση των διαφορετικών τρόπων σκέψης.

Δόθηκε ο παρακάτω κώδικας και οι αρχικοί καταχωρητές: \$t9 = 0x300:

```

1. LOOP:   ADDI   $t1, $t1, 4
2.         LW     $t2, 200($t1)
3.         LW     $t3, 0($t2)
4.         ADD    $t2, $t2, $t3
5.         LW     $t4, 100($t2)
6.         ADD    $t3, $t3, $t4
7.         ADD    $t3, $t3, $t2
8.         SW     $t3, 200($t1)
9.         ADDI   $t9, $t9, -4
10.        BNEZ   $t9, LOOP

```

1^ο Ερώτημα

1^η Εκδοχή Υλοποίησης:

Κύκλος	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Εντολή 1	IF	ID	EX	MEM	WB					
Εντολή 2		IF	ID			EX	MEM	WB		
Εντολή 3			IF			ID			EX	MEM
Εντολή 4						IF			ID	
Εντολή 5									IF	
Εντολή 6										
Εντολή 7										
Εντολή 8										
Εντολή 9										
Εντολή 10										
Εντολή 1										

Κύκλος	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Εντολή 1										
Εντολή 2										
Εντολή 3	WB									
Εντολή 4		EX	MEM	WB						
Εντολή 5		ID			EX	MEM	WB			
Εντολή 6		IF			ID			EX	MEM	WB
Εντολή 7					IF			ID		
Εντολή 8								IF		
Εντολή 9										
Εντολή 10										
Εντολή 1										

Κύκλος	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Εντολή 1										
Εντολή 2										
Εντολή 3										
Εντολή 4										
Εντολή 5										
Εντολή 6										
Εντολή 7	EX	MEM	WB							
Εντολή 8	ID			EX	MEM	WB				
Εντολή 9	IF			ID	EX	MEM	WB			
Εντολή 10				IF	ID			EX	MEM	WB
Εντολή 1									IF	ID

Κύκλος	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Εντολή 1										
Εντολή 2										
Εντολή 3										
Εντολή 4										
Εντολή 5										
Εντολή 6										
Εντολή 7										
Εντολή 8										
Εντολή 9										
Εντολή 10										
Εντολή 1	EX	MEM	WB							

Πιθανοί hazards & Τρόποι Αντιμετώπισης:

- Οι πιθανοί κίνδυνοι είναι:
 - λόγω της εξάρτησης του καταχωρητή \$t1, αφού η Εντολή 2 διαβάζει το \$t1, χωρίς να έχει ολοκληρωθεί η εκτέλεση της Εντολής 1, η οποία αλλάζει του περιεχόμενό του.
 - όμοια, λόγω της εξάρτησης του καταχωρητή \$t2 από τις Εντολές 3 και 2.
 - όμοια, λόγω της εξάρτησης του καταχωρητή \$t3 από τις Εντολές 4 και 3.
 - όμοια, λόγω της εξάρτησης του καταχωρητή \$t2 από τις Εντολές 5 και 4.
 - όμοια, λόγω της εξάρτησης του καταχωρητή \$t4 από τις Εντολές 6 και 5.
 - όμοια, λόγω της εξάρτησης του καταχωρητή \$t3 από τις Εντολές 7 και 6.
 - όμοια, λόγω της εξάρτησης του καταχωρητή \$t3 από τις Εντολές 8 και 7.
 - όμοια, λόγω της εξάρτησης του καταχωρητή \$t9 από τις Εντολές 10 και 9.
- Ο μοναδικός τρόπος αντιμετώπισης των πιθανών κινδύνων είναι η καθυστέρηση του pipeline (stalling). Με αυτή τη μέθοδο, η εντολή 1 που γράφει, κάνει τον υπολογισμό και επιστρέφει την τιμή στο στάδιο WB ενώ, η εντολή 2 περιμένει να συνεχιστεί μέχρι το στάδιο EX της βρεθεί ένα κύκλο μετά από τον κύκλο της WB της εντολής 1 ώστε να γίνει ορθή λειτουργία αλλά με μια μικρή καθυστέρηση.

Αριθμός Επαναλήψεων & Κύκλοι:

Σε κάθε επανάληψη το \$t_9\$ μειώνεται κατά 4, άρα: $\frac{0 \times 300}{4} = \frac{3 \times 16^2}{4} = 192$ επαναλήψεις.

Οι κύκλοι που συνολικά απαιτούνται για να ολοκληρωθεί ο παραπάνω βρόχος είναι οι εξής: για τις πρώτες 191 επαναλήψεις: $191 \cdot 28 \text{ cc} = 5.348 \text{ cc}$, ενώ για την τελευταία θα είναι 30 cc. Οπότε συνολικά θα είναι: 5.378 cc.

2^η Εκδοχή Υλοποίησης:

Η διαφοροποίηση με την 1^η εκδοχή φαίνεται παρακάτω:

Κύκλος	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Εντολή 1										
Εντολή 2										
Εντολή 3										
Εντολή 4										
Εντολή 5										
Εντολή 6										
Εντολή 7	EX	MEM	WB							
Εντολή 8	ID	EX	MEM	WB						
Εντολή 9	IF	ID			EX	MEM	WB			
Εντολή 10		IF			ID			EX	MEM	WB
Εντολή 1										IF

Αριθμός Επαναλήψεων & Κύκλοι:

Οι επαναλήψεις είναι πάλι 192.

Όμως, οι κύκλοι που συνολικά απαιτούνται για να ολοκληρωθεί ο παραπάνω βρόχος είναι οι εξής: για τις πρώτες 191 επαναλήψεις: $191 \cdot 29 \text{ cc} = 5.539 \text{ cc}$, ενώ για την τελευταία θα είναι 30 cc. Οπότε συνολικά θα είναι: 5.569 cc.

2^ο Ερώτημα

1^η Εκδοχή Υλοποίησης:

Κύκλος	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Εντολή 1	IF	ID	EX	MEM	WB					
Εντολή 2		IF	ID	EX	MEM	WB				
Εντολή 3			IF	ID		EX	MEM	WB		
Εντολή 4				IF		ID		EX	MEM	WB
Εντολή 5						IF		ID	EX	MEM
Εντολή 6								IF	ID	
Εντολή 7									IF	
Εντολή 8										
Εντολή 9										
Εντολή 10										
Εντολή 1										

Κύκλος	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Εντολή 1										
Εντολή 2										
Εντολή 3										
Εντολή 4										
Εντολή 5	WB									
Εντολή 6	EX	MEM	WB							
Εντολή 7	ID	EX	MEM	WB						
Εντολή 8	IF	ID	EX	MEM	WB					
Εντολή 9		IF	ID	EX	MEM	WB				
Εντολή 10			IF	ID	EX	MEM	WB			
Εντολή 1						IF	ID	EX	MEM	WB

Πιθανοί hazards & Τρόποι Αντιμετώπισης:

- Οι πιθανοί κίνδυνοι είναι οι ίδιοι.
- Ένας διαφορετικός τρόπος αντιμετώπισης είναι η χρήση της προώθησης (forwarding). Με αυτή, η εντολή χρησιμοποιεί το γεγονός ότι τα αποτελέσματα της 1 υπάρχουν ήδη στα στάδια EX και MEM κι έτσι, αν προωθηθούν τα δεδομένα από εκεί απευθείας στο στάδιο EX της 2, τότε θα γίνει μικρότερο ή και καθόλου stalling. Με άλλα λόγια, το pipeline έχει σταματήσει στα μαυρισμένα κελιά ώστε να υπολογιστεί κάποια τιμή από τη μνήμη. Εδώ υπάρχει και το MEM → MEM στάδιο.

Αριθμός Επαναλήψεων & Κύκλοι:

Οι επαναλήψεις είναι πάλι 192.

Οι κύκλοι που συνολικά απαιτούνται για να ολοκληρωθεί ο παραπάνω βρόχος είναι οι εξής: Για τις πρώτες 191 επαναλήψεις: $191 \cdot 15 \text{ cc} = 2.865 \text{ cc}$, ενώ για την τελευταία θα είναι 17 cc. Οπότε συνολικά θα είναι: 2.882 cc.

2^η Εκδοχή Υλοποίησης:

Η διαφοροποίηση με την 1^η εκδοχή φαίνεται παρακάτω:

Κύκλος	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Εντολή 1										
Εντολή 2										
Εντολή 3										
Εντολή 4										
Εντολή 5	WB									
Εντολή 6	EX	MEM	WB							
Εντολή 7	ID	EX	MEM	WB						
Εντολή 8	IF	ID	EX	MEM	WB					
Εντολή 9		IF	ID	EX	MEM	WB				
Εντολή 10			IF	ID	EX	MEM	WB			
Εντολή 1							IF			

Αριθμός Επαναλήψεων & Κύκλοι:

Οι επαναλήψεις είναι πάλι 192.

Οι κύκλοι που συνολικά απαιτούνται για να ολοκληρωθεί ο παραπάνω βρόχος είναι οι εξής: Για τις πρώτες 191 επαναλήψεις: $191 \cdot 16 \text{ cc} = 3.056 \text{ cc}$, ενώ για την τελευταία θα είναι 17 cc. Οπότε συνολικά θα είναι: 3.073 cc.

3^ο Ερώτημα

Ακολουθεί ο παραλλαγμένος κώδικας. Οι όποιες αλλαγές έγιναν με στόχο την αντιμετώπιση των κινδύνων στους οποίους σταμάτησε το pipeline και δεν επηρεάζουν τη λειτουργία του.

```
1. LOOP:   LW      $t2, 204($t1)
2.         ADDI    $t1, $t1, 4
3.         LW      $t3, 0($t2)
4.         ADDI    $t9, $t9, -4
5.         ADD     $t2, $t2, $t3
6.         LW      $t4, 100($t2)
7.         ADD     $t3, $t3, $t2
8.         ADD     $t3, $t3, $t4
9.         SW      $t3, 200($t1)
10.        BNEZ    $t9, LOOP
```

Οι αλλαγές που έγιναν είναι η ανταλλαγή των γραμμών εντολών και η αύξηση του offset της LW κατά 4.

1^η Εκδοχή Υλοποίησης:

Κύκλος	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Εντολή 1	IF	ID	EX	MEM	WB					
Εντολή 2		IF	ID	EX	MEM	WB				
Εντολή 3			IF	ID	EX	MEM	WB			
Εντολή 4				IF	ID	EX	MEM	WB		
Εντολή 5					IF	ID	EX	MEM	WB	
Εντολή 6						IF	ID	EX	MEM	WB
Εντολή 7							IF	ID	EX	MEM
Εντολή 8								IF	ID	EX
Εντολή 9									IF	ID
Εντολή 10										IF
Εντολή 1										

Κύκλος	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Εντολή 1										
Εντολή 2										
Εντολή 3										
Εντολή 4										
Εντολή 5										
Εντολή 6										
Εντολή 7	WB									
Εντολή 8	MEM	WB								
Εντολή 9	EX	MEM	WB							
Εντολή 10	ID	EX	MEM	WB						
Εντολή 1			IF	ID	EX	MEM	WB			

Πιθανοί hazards & Τρόποι Αντιμετώπισης:

- Οι πιθανοί κίνδυνοι είναι οι ίδιοι.
- Ένας εναλλακτικός τρόπος αντιμετώπισης είναι η χρήση της προώθησης (forwarding) σε συνδυασμό με την εναλλαγή εντολών (instruction rearrangement). Με αυτή, γίνεται ρύθμιση στον compiler ώστε να αποφευχθούν οι καθυστερήσεις.

Αριθμός Επαναλήψεων & Κύκλοι:

Οι επαναλήψεις είναι πάλι 192.

Οι κύκλοι που συνολικά απαιτούνται για να ολοκληρωθεί ο παραπάνω βρόχος είναι οι εξής: Για τις πρώτες 191 επαναλήψεις: $191 \cdot 12 \text{ cc} = 2.292 \text{ cc}$, ενώ για την τελευταία θα είναι 14 cc. Οπότε συνολικά θα είναι: 2.306 cc.

2^η Εκδοχή Υλοποίησης:

Η διαφοροποίηση με την 1^η εκδοχή φαίνεται παρακάτω:

Κύκλος	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Εντολή 1										
Εντολή 2										
Εντολή 3										
Εντολή 4										
Εντολή 5										
Εντολή 6										
Εντολή 7	WB									
Εντολή 8	MEM	WB								
Εντολή 9	EX	MEM	WB							
Εντολή 10	ID	EX	MEM	WB						
Εντολή 1				IF						

Αριθμός Επαναλήψεων & Κύκλοι:

Οι επαναλήψεις είναι πάλι 192.

Οι κύκλοι που συνολικά απαιτούνται για να ολοκληρωθεί ο παραπάνω βρόχος είναι οι εξής: Για τις πρώτες 191 επαναλήψεις: $191 \cdot 13 \text{ cc} = 2.483 \text{ cc}$, ενώ για την τελευταία θα είναι 14 cc. Οπότε συνολικά θα είναι: 2.497 cc.