



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
[www.cslab.ece.ntua.gr](http://www.cslab.ece.ntua.gr)

## 2η ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ακ. έτος 2023-2024 5ο Εξάμηνο, Σχολή ΗΜ&ΜΥ

Τελική Ημερομηνία Παράδοσης: 29/12/2023

Δίνεται ο παρακάτω κώδικας :

```
1. LOOP:   LW    $t4, 8($t2)
2.         ADD   $t2, $t4, $t6
3.         SW    $t2, 8($t4)
4.         ADD   $t5, $t5, $t3
5.         LW    $t6, 0($t5)
6.         SW    $t6, 4($t2)
7.         ADD   $t6, $t6, $t5
8.         ADDI  $t9, $t9, -4
9.         BNEZ  $t9, LOOP
```

Δίνεται η αρχική τιμή του καταχωρητή  $\$t9=0x400$ . Υποθέστε την κλασική αρχιτεκτονική σωλήνωσης του MIPS αποτελούμενη από τα στάδια IF, ID, EX, MEM, WB. Όλα τα στάδια διαρκούν ένα κύκλο. Κατά τον εντοπισμό μιας εντολής άλματος υπό συνθήκη, ο επεξεργαστής κάνει stall τη σωλήνωση μέχρι την επίλυση, η οποία πραγματοποιείται στο στάδιο EX. Τέλος, υποθέστε ότι η εγγραφή σε ένα καταχωρητή γίνεται στο πρώτο μισό ενός κύκλου, ενώ η ανάγνωση από τον ίδιο καταχωρητή πραγματοποιείται στο δεύτερο μισό του κύκλου.

1) Αρχικά, υποθέτουμε ότι η αρχιτεκτονική σωλήνωσης δε διαθέτει σχήμα προώθησης (forwarding). Για την 1<sup>η</sup> επανάληψη του παραπάνω βρόχου (μέχρι και την πρώτη εντολή της 2<sup>ης</sup> επανάληψης), συμπληρώστε ένα διάγραμμα χρονισμού όπως αυτό που παρουσιάζεται στη συνέχεια, για να δείξετε τα διάφορα στάδια του pipeline από τα οποία διέρχονται οι εντολές σε αυτό το διάστημα εκτέλεσης. Υποδείξτε και εξηγήστε τους πιθανούς κινδύνους (hazards) που μπορούν να προκύψουν κατά την εκτέλεση, καθώς και τον τρόπο με τον οποίον αυτοί αντιμετωπίζονται.

Κύκλος	1	2	3	4	5	6	...
Εντολή 1	IF	ID	EX	MEM	WB		
Εντολή 2		IF	ID	EX	MEM	WB	
Εντολή 3			...	...	...	...	...

Πόσοι κύκλοι απαιτούνται συνολικά για να ολοκληρωθεί ο παραπάνω βρόχος (για όλες τις επαναλήψεις του, όχι μόνο για την 1<sup>η</sup>);

2) Υποθέστε τώρα ότι υπάρχουν όλα τα δυνατά σχήματα προώθησης. Δείξτε όπως και πριν το διάγραμμα χρονισμού για την 1<sup>η</sup> επανάληψη του βρόχου, υποδεικνύοντας τις προωθήσεις που γίνονται. Πόσοι κύκλοι απαιτούνται τώρα για την εκτέλεση του κώδικα;

3) Δίνονται οι παρακάτω καθυστερήσεις για το κάθε κομμάτι του datapath:

IF: 320ps, ID: 200ps, EX: 380ps, MEM: 480ps, WB: 200ps

Υπολογίστε τη διάρκεια του κύκλου της σωλήνωσης, λαμβάνοντας υπόψη πως στο τέλος κάθε σταδίου απαιτούνται επιπλέον 20ps για την ανανέωση (χρόνοι set-up και hold) των καταχωρητών μεταξύ των σταδίων.

4) Σε μια προσπάθεια βελτίωσης της επίδοσης του επεξεργαστή, σας προτείνουν το σπάσιμο ενός σταδίου σε δύο ίσα, μισής καθυστέρησης στάδια, ώστε να μειωθεί η διάρκεια του κύκλου. Ποιο στάδιο θα επιλέξετε να σπάσετε και ποια η διάρκεια του κύκλου στην καινούρια σωλήνωση που θα προκύψει;

Εκτελέστε τον κώδικα στη καινούρια σωλήνωση των 6 σταδίων υποθέτοντας πως υπάρχουν όλα τα δυνατά σχήματα προώθησης. Δείξτε όπως και πριν το διάγραμμα χρονισμού για την 1<sup>η</sup> επανάληψη του βρόχου, υποδεικνύοντας τις προωθήσεις που γίνονται; Πόσοι κύκλοι απαιτούνται τώρα για την εκτέλεση του κώδικα; Βελτιώθηκε η επίδοση του επεξεργαστή;

5) Θεωρώντας την ίδια σωλήνωση με το ερώτημα 2, μπορείτε να βελτιστοποιήσετε την επίδοση αναδιατάσσοντας τον κώδικα (με τις απαραίτητες βέβαια μετατροπές για να μην αλλάξετε την σημασιολογία του προγράμματος); Δείξτε όπως και πριν το διάγραμμα χρονισμού για την 1<sup>η</sup> επανάληψη του βρόχου, υποδεικνύοντας τις προωθήσεις που γίνονται.

Ποιον τρόπο θα διαλέγατε τελικά για να επιτύχετε καλύτερη επίδοση; Την αλλαγή του υλικού ή την αλλαγή του κώδικα;

6) Μπορείτε να βελτιστοποιήσετε και την επίδοση της σωλήνωσης του ερωτήματος 4 αναδιατάσσοντας τον κώδικα; Ποια είναι τελικά η καλύτερη επίδοση που μπορείτε να πετύχετε για την εκτέλεση του βρόχου;

Παραδοτέο της άσκησης θα είναι ένα ηλεκτρονικό κείμενο (**pdf**, **docx** ή **odt**) που θα περιέχει όλα τα διαγράμματα χρονισμού της άσκησης.

Στο ηλεκτρονικό κείμενο να αναφέρετε στην αρχή τα στοιχεία σας (Όνομα, Επώνυμο, ΑΜ).

Η άσκηση θα παραδοθεί ηλεκτρονικά στο moodle του μαθήματος:

<https://helios.ntua.gr/course/view.php?id=1038>

*Δουλέψτε ατομικά. Έχει ιδιαίτερη αξία για την κατανόηση του μαθήματος να κάνετε μόνοι σας την εργασία. Μην προσπαθήσετε να την αντιγράψετε από άλλους συμφοιτητές σας.*