



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
www.cslab.ece.ntua.gr

**2η ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
Ακ. έτος 2007-2008, 5ο Εξάμηνο Σχολή ΗΜ&ΜΥ

**Τελική Ημερομηνία Παράδοσης: 8 Φεβρουαρίου 2008**

Έστω το ακόλουθο τμήμα C κώδικα:

```
for (i = 0; i < 100; i++)  
    if (x[i] < a)  
        x[i] = a;  
    else  
        x[i] += b;
```

Θεωρούμε ότι οι τιμές των μεταβλητών  $a$ ,  $b$  βρίσκονται αποθηκευμένες στους καταχωρητές  $\$r3$ ,  $\$r5$ . Αρχικά, ο καταχωρητής  $\$r2$  περιέχει τη διεύθυνση του πρώτου στοιχείου του  $x$ , ενώ ο  $\$r6$  δείχνει 800 bytes μπροστά. Ο αντίστοιχος κώδικας σε assembly είναι ο εξής:

```
Loop:   lw     $r1, 0($r2)           ; $r1=x[i]  
        slt  $r4, $r1, $r3       ; if(x[i]<a) $r4=1 else $r4=0  
        beq  $r4, $zero, Else  
        sw   $r3, 0($r2)         ; x[i]=a  
        j    Cont  
Else:   add  $r1, $r1, $r5  
        sw   $r1, 0($r2)         ; x[i]+=b  
Cont:   add  $r2, $r2, #8  
        bne $r2, $r6, Loop  
Exit:
```

**α)** Υποθέτουμε ότι έχουμε αρχιτεκτονική σωλήνωσης (pipelining) 5 σταδίων (IF ID EX MEM WB). Αρχικά, υποθέτουμε ότι η αρχιτεκτονική σωλήνωσης δε διαθέτει σχήμα προώθησης (forwarding). Επίσης, η εγγραφή σε κάποιο καταχωρητή γίνεται στο πρώτο μισό ενός κύκλου, ενώ η ανάγνωση από τον ίδιο καταχωρητή στο δεύτερο μισό του ίδιου κύκλου. Επιπλέον, η ενημέρωση του μετρητή προγράμματος κατά την εκτέλεση μιας εντολής διακλάδωσης γίνεται στο στάδιο MEM και για να γίνει η διακλάδωση πρέπει να εκκενωθεί (flush) το pipeline. Τέλος, στο 75% των περιπτώσεων ισχύει η ανισότητα  $x[i] < a$ .

Χρησιμοποιείστε τα κατάλληλα διαγράμματα χρονισμού για να δείξετε την εκτέλεση των εντολών του παραπάνω κώδικα μέσα στην αρχιτεκτονική αγωγού. Υποδείξτε και εξηγήστε τους πιθανούς κινδύνους (hazards) που μπορούν να προκύψουν κατά την εκτέλεση του κώδικα, καθώς και τον τρόπο με τον οποίον αυτοί αντιμετωπίζονται. Πόσοι κύκλοι απαιτούνται για την εκτέλεση του βρόχου;

**β)** Υποθέτουμε τώρα ότι η αρχιτεκτονική μας διαθέτει όλα τα δυνατά σχήματα προώθησης. Επιπλέον, υποθέτουμε ότι για την πρώτη εντολή διακλάδωσης υπό συνθήκη υπάρχει πρόβλεψη

διακλάδωσης που είναι πάντα NOT TAKEN. Στην περίπτωση αυτή, δηλαδή, στο τέλος του σταδίου IF ο μετρητής προγράμματος θα ανανεώνεται ώστε να δείχνει στην επόμενη σειριακά εντολή. Ο έλεγχος για το αν η πρόβλεψη έγινε σωστά ή όχι γίνεται στο στάδιο MEM. Σε περίπτωση λάθος πρόβλεψης, στο ίδιο στάδιο υπολογίζεται και ο σωστός στόχος της διακλάδωσης, και ανανεώνεται κατάλληλα ο μετρητής προγράμματος. Σε αυτή την περίπτωση, το pipeline πρέπει να εκκενωθεί από τις εντολές που είχαν εισαχθεί σε αυτό εξαιτίας της εσφαλμένης πρόβλεψης.

Όπως και στο προηγούμενο ερώτημα, χρησιμοποιείστε τα κατάλληλα διαγράμματα χρονισμού για να δείξετε την εκτέλεση των εντολών του παραπάνω κώδικα μέσα στην αρχιτεκτονική αγωγού. Πόσοι κύκλοι απαιτούνται τώρα για την εκτέλεση του βρόχου;

**γ)** Έστω ότι επιθυμούμε την προσθήκη μιας νέας εντολής *φόρτωσης-ενημέρωσης* (*lwu*), η οποία εκτός από τη συνηθισμένη ανάγνωση από τη μνήμη πραγματοποιεί και ενημέρωση ενός από τους καταχωρητές με τη υπολογιζόμενη διεύθυνση.

Δηλαδή η:

```
lwu    $r3, 1($r4)
```

πραγματοποιεί τις λειτουργίες:

```
$r3 = Mem[$r4 + 1]
```

```
$r4 = $r4 + 1;
```

Χωρίς να προσθέσετε επιπλέον write ports στο register file, τι άλλες αλλαγές θα κάνατε στην αρχιτεκτονική αγωγού 5 σταδίων του MIPS για την υλοποίηση της εντολής αυτής; Τι συνέπειες θα είχαν οι όποιες αλλαγές για την υλοποίηση της νέας εντολής (σε throughput, latency και hazards);

**δ)** Ξαναγράψτε τον αρχικό κώδικα χρησιμοποιώντας την εντολή *lwu*. Χρησιμοποιείστε τα κατάλληλα διαγράμματα χρονισμού για να δείξετε την εκτέλεση των εντολών του νέου κώδικα μέσα στην τροποποιημένη σωλήνωση του ερωτήματος γ. Όπως και στο ερώτημα β, υποθέστε ότι η σωλήνωση διαθέτει επιπλέον όλα τα δυνατά σχήματα προώθησης, καθώς και πρόβλεψη διακλάδωσης NOT TAKEN για την πρώτη εντολή διακλάδωσης υπό συνθήκη. Πόσοι κύκλοι απαιτούνται για την εκτέλεση του βρόχου;

Παραδοτέο της άσκησης θα είναι ένα ηλεκτρονικό κείμενο (pdf, doc ή odt). Στο ηλεκτρονικό κείμενο να αναφέρετε στην αρχή τα στοιχεία σας (Όνομα, Επώνυμο, ΑΜ).

Η άσκηση να παραδοθεί ηλεκτρονικά στην ιστοσελίδα:

<http://www.cslab.ece.ntua.gr/courses/comparch/submit>.

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