



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

**ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΘΕΜΑΤΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**  
**Ακ. έτος 2005-2006, 8ο Εξάμηνο ΗΜ&ΜΥ**

**1<sup>η</sup> Σειρά Ασκήσεων (ορθή επανάληψη)**

(Παράδοση στο e-mail [advanced-ca-2006@cslab.ece.ntua.gr](mailto:advanced-ca-2006@cslab.ece.ntua.gr) μέχρι 30/5/06)

**Μέρος Α:**

Εξετάζουμε την εκτέλεση του εξής κώδικα:

```
Repeat:    lw r2, 100(r3)
           sub r2, r2, r5
           sw r2, 100(r3)
           sub r3, r3, r6
           sub r1, r1, r7
           bnez r1, Repeat
```

Exit:

Υποθέτουμε ότι έχουμε αρχιτεκτονική σωλήνωσης (pipelining) 5 σταδίων (IF ID EX MEM WB). Έστω ότι η αρχική τιμή του r1 είναι 500 και του r7 είναι 5, και ότι όλες οι αναφορές στη μνήμη ικανοποιούνται από την κρυφή μνήμη σε 1 κύκλο (δεν υπάρχουν δηλαδή αστοχίες).

α) Αρχικά, υποθέτουμε ότι η αρχιτεκτονική σωλήνωσης δε διαθέτει σχήμα προώθησης (forwarding). Επίσης, η εγγραφή σε κάποιον καταχωρητή γίνεται στο πρώτο μισό ενός κύκλου, ενώ η ανάγνωση από τον ίδιο καταχωρητή στο δεύτερο μισό του ίδιου κύκλου. Επιπλέον, η απόφαση για μια διακλάδωση λαμβάνεται στο στάδιο MEM, και για να γίνει η διακλάδωση πρέπει να “καθαριστεί” (flush) το pipeline.

Για την 1η επανάληψη του παραπάνω βρόχου, μέχρι και το load της 2ης επανάληψης, χρησιμοποιείστε 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 1η);

Β) Για την ίδια ακολουθία εντολών, δείξτε και εξηγήστε όπως και πριν, τον χρονισμό του pipeline, θεωρώντας όμως τώρα ότι υπάρχει σχήμα προώθησης. Θεωρείστε ότι οι αποφάσεις για τις διακλάδώσεις λαμβάνονται στο στάδιο MEM. Πόσοι κύκλοι απαιτούνται συνολικά για να ολοκληρωθεί ο βρόχος;

### Μέρος Β:

Εξετάζουμε το pipeline για μια αρχιτεκτονική συνόλου εντολών (ISA) καταχωρητή-μνήμης (register-memory). Στην αρχιτεκτονική αυτή υπάρχουν 2 μορφές εντολών: καταχωρητή-καταχωρητή (register-register), και καταχωρητή-μνήμης (register-memory). Στην τελευταία περίπτωση, ένας από τους τελεστές για μία πράξη που εκτελείται στην ALU μπορεί να προέρχεται από τη μνήμη. Για τις αναφορές στη μνήμη, υπάρχει ένας μόνο τρόπος διευθυνσιοδότησης:  $offset(base\_reg)$  (δηλ.  $Mem[offset + \$base\_reg]$ ).

Όλες οι διαθέσιμες εντολές καταχωρητή-μνήμης (που δεν είναι εντολές διακλάδωσης) έχουν τη μορφή:

Operation T, S1, S2

ή

Operation T, S1, Mem

όπου “Operation” είναι κάποια πράξη από τις: add, sub, and, or, ld (σε αυτή την περίπτωση ο S1 αγνοείται), st. Οι T (target), S1 (source 1), S2 (source 2) είναι καταχωρητές, ενώ Mem είναι μια αναφορά στη μνήμη με τον τρόπο διευθυνσιοδότησης που αναφέραμε. Για τις εντολές διακλάδωσης υπό συνθήκη, συγκρίνονται δύο καταχωρητές, και ανάλογα με το αποτέλεσμα της σύγκρισης, γίνεται άλμα στην διεύθυνση-στόχο που υποδεικνύεται. Η διεύθυνση-στόχος, μπορεί να προσδιορίζεται είτε από μία ακέραια σταθερά (που υποδηλώνει το offset σε σχέση με την τρέχουσα τιμή του μετρητή προγράμματος), είτε από έναν καταχωρητή (το περιεχόμενο του οποίου αντιστοιχεί στην απόλυτη διεύθυνση-στόχο).

Υποθέτουμε ότι τα στάδια της σωλήνωσης της αρχιτεκτονικής είναι τα εξής: **IF ID AGU MEM ALU WB**. Στο στάδιο AGU (address generation unit) γίνεται ο υπολογισμός των τελικών διευθύνσεων μνήμης, για εντολές αναφοράς στη μνήμη και για εντολές διακλάδωσης. Στο στάδιο ALU γίνεται η εκτέλεση των αριθμητικών πράξεων καθώς και η σύγκριση για εντολές διακλάδωσης υπό συνθήκη. Η εγγραφή σε κάποιον καταχωρητή γίνεται στο πρώτο μισό ενός κύκλου, ενώ η ανάγνωση από τον ίδιον καταχωρητή στο δεύτερο μισό του ίδιου κύκλου.

α) Βρείτε τον αριθμό των αθροιστών που απαιτούνται για την ελαχιστοποίηση των δομικών κινδύνων (structural hazards). Δικαιολογείστε την επιλογή σας αυτή.

β) Βρείτε τον αριθμό των ports για ανάγνωση και εγγραφή των καταχωρητών, και των ports για ανάγνωση και εγγραφή μνήμης, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι δομικοί κίνδυνοι. Δικαιολογείστε αντίστοιχα.

γ) Αν υπήρχε σχήμα προώθησης των αποτελεσμάτων από το στάδιο ALU σε οποιοδήποτε από τα στάδια AGU, MEM, ALU, θα μειώνονταν οι καθυστερήσεις (stalls); Δικαιολογείστε την απάντησή σας για κάθε ένα από τα στάδια αυτά. Σε όποια περίπτωση πιστεύετε ότι θα υπήρχε μείωση ή αποφυγή των καθυστερήσεων, δώστε και ένα παράδειγμα όπου θα γίνεται εμφανές αυτό.

δ) Αν υπήρχε σχήμα προώθησης των αποτελεσμάτων από το στάδιο MEM σε οποιοδήποτε από τα στάδια AGU, MEM, ALU, θα μειώνονταν οι καθυστερήσεις; Δικαιολογείστε την απάντησή σας για κάθε ένα από τα στάδια αυτά. Σε όποια περίπτωση πιστεύετε ότι θα υπήρχε μείωση ή αποφυγή των καθυστερήσεων, δώστε και ένα παράδειγμα όπου θα γίνεται εμφανές αυτό.