



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
www.cslab.ece.ntua.gr

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
Κανονική Εξέταση Φεβρουαρίου 2010
Διάρκεια 2,5 ώρες

Οι εξετάσεις θα πραγματοποιηθούν ΧΩΡΙΣ την παρουσία βιβλίων, βοηθημάτων ή άλλου είδους σημειώσεων. Το μόνο που επιτρέπεται να έχετε μαζί σας είναι ένα φύλλο Α4 στο οποίο μπορείτε να έχετε γράψει ό,τι έχετε κρίνει πιο σημαντικό για το μάθημα και θέλετε να το έχετε ως βοήθημά σας. Απαγορεύεται η ανταλλαγή οποιουδήποτε αντικειμένου κατά την ώρα της εξέτασης, ούτε και των φύλλων Α4 που είναι ατομικά.

Θέμα 1ο (20 %)

A) Τι ορίζεται σαν write-after-read (WAR) κίνδυνος ανάμεσα σε δύο εντολές; Εξηγήστε γιατί αυτό το είδος κινδύνων δεν είναι δυνατόν να εμφανιστεί στην αρχιτεκτονική αγωγού 5 σταδίων του MIPS. Αναφέρατε μια πιθανή περίπτωση σωλήνωσης όπου θα μπορούσε να εμφανιστεί ο κίνδυνος αυτός.

B) Θεωρήστε μία δίοδο δεδομένων (datapath) αποτελούμενη από 6 στάδια διάρκειας 50ns, 50ns, 60ns, 60ns, 50ns και 50ns. Βρείτε το ρυθμό ολοκλήρωσης εντολών, καθώς και το χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση 100 εντολών, όταν η δίοδος δεδομένων υλοποιείται σαν: α) single-cycle datapath, β) pipelined-datapath.

Γ) Ορίστε τα διαφορετικά είδη των αστοχιών (misses) σε μια οργάνωση κρυφής μνήμης (cache). Αναφέρατε μία τεχνική που θα βοηθούσε στην μείωση για κάθε είδος, δικαιολογώντας την απάντησή σας.

Δ) Δίνεται μια 4-way 32KB cache με 256 sets. Η μικρότερη μονάδα δεδομένων που μπορεί να διευθυνσιοδοτηθεί είναι το 1 byte. Για μια αρχιτεκτονική των 64 bit, ποιο είναι το συνολικό μέγεθος (σε bits ή bytes) του tag array;

Θέμα 2ο (30 %)

Υποθέτουμε ότι έχουμε αρχιτεκτονική σωλήνωσης αποτελούμενη από τα εξής στάδια: IF ID EX MEM WB. 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 επίλυση των διακλαδώσεων υπό συνθήκη γίνεται στο στάδιο MEM, και για να γίνει η διακλάδωση πρέπει να εκκενωθεί (flush) το pipeline. Οι αναφορές στη μνήμη πραγματοποιούνται στο στάδιο MEM, το οποίο διαρκεί έναν κύκλο σε περίπτωση ευστοχίας στην κρυφή μνήμη (cache hit), και δύο κύκλους σε περίπτωση αστοχίας στην κρυφή μνήμη (cache miss). Ο επεξεργαστής διαθέτει ένα μόνο επίπεδο κρυφής μνήμης δεδομένων, η οποία αρχικά είναι άδεια. Η κρυφή μνήμη είναι ευθείας αντιστοίχισης και έχει μέγεθος 1KB. Το μέγεθος του block είναι 8 bytes.

Δίνεται το ακόλουθο κομμάτι κώδικα:

```
1.          li $1, #0
2.          li $4, #2
```

```

3.   Loop:      lw $3, 0($2)
4.                   add $5, $5, $3
5.                   mul $5, $5, $4
6.                   addi $2, $2, #4
7.                   addi $1, $1, #1
8.                   bne $1, #1024, Loop

```

Ο καταχωρητής \$2 περιέχει τη διεύθυνση του πρώτου στοιχείου ενός πίνακα A η οποία είναι η 0x00001000. Κάθε στοιχείο του πίνακα έχει μέγεθος 4 bytes.

A) Βρείτε όλες τις εξαρτήσεις στο παραπάνω κομμάτι κώδικα καθώς και την κατηγορία στην οποία ανήκουν (true dependence, output dependence, anti-dependence, control dependence).

B) Υποθέστε ότι δεν υπάρχει σχήμα προώθησης. Χρησιμοποιήστε ένα διάγραμμα χρονισμού για να δείξετε τα διάφορα στάδια του pipeline από τα οποία διέρχονται οι εντολές του παραπάνω κώδικα. Πόσοι κύκλοι απαιτούνται συνολικά για την εκτέλεση του loop;

Υπόδειξη: πραγματοποιήστε το διάγραμμα χρονισμού μόνο για τον απαραίτητο (ελάχιστο) αριθμό επαναλήψεων. Δε χρειάζεται να επαναλάβετε το διάγραμμα για επαναλήψεις πανομοιότυπες με τις προηγούμενες.

Γ) Υποθέστε τώρα ότι υπάρχουν όλα τα δυνατά σχήματα προώθησης. Πόσοι κύκλοι απαιτούνται συνολικά για την εκτέλεση του loop; Δείξτε όπως και πριν το διάγραμμα χρονισμού, υποδεικνύοντας τις προωθήσεις που γίνονται.

Θέμα 3ο (20 %)

Το inclusive prefix sum είναι μια λειτουργία σε πίνακες με την οποία το στοιχείο με δείκτη i στον πίνακα εξόδου προκύπτει αθροίζοντας όλα τα στοιχεία του πίνακα εισόδου μέχρι και το στοιχείο με δείκτη i . Για παράδειγμα, αν ως είσοδο έχουμε τον πίνακα $A=[2,4,1,5]$ η έξοδος του prefix sum θα είναι ο πίνακας $B=[2,6,7,12]$. Η βασική λειτουργία ενός απλού αλγορίθμου που υλοποιεί το prefix sum για έναν πίνακα με πλήθος στοιχείων N είναι η εξής:

```

1. B[0] ← A[0]
2. i = 1
3. B[i] ← A[i] + B[i-1]
4. i ← i + 1
5. αν i < N πήγαινε στο 3

```

Καλείστε να υλοποιήσετε τον παραπάνω αλγόριθμο σε γλώσσα assembly του MIPS. Υποθέστε ότι ο καταχωρητής \$1 περιέχει το πλήθος N των στοιχείων των πινάκων (κοινό για τους πίνακες εισόδου και εξόδου), ο καταχωρητής \$2 τη διεύθυνση του πρώτου στοιχείου του A (πίνακας εισόδου), και ο καταχωρητής \$3 τη διεύθυνση του πρώτου στοιχείου του πίνακα B (πίνακας εξόδου). Επιπλέον, κάθε στοιχείο του A αποτελείται από 4 bytes. Συνοδέψτε τον κώδικά σας μαζί με τα απαραίτητα σχόλια

Θέμα 4ο (30 %)

Εξετάζουμε την εκτέλεση του ακόλουθου κώδικα C.

```

double A[9][8], B[8][8], C[8][8];

for(i=0; i<8; i++)
    for(j=0; j<8; j++)
        B[i][j] = A[i][j] + C[i][j] * A[i+1][j];

```

Οι πίνακες περιέχουν στοιχεία κινητής υποδιαστολής διπλής ακρίβειας, μεγέθους 8 bytes το καθένα. Κάνουμε τις εξής υποθέσεις:

1. Το πρόγραμμα εκτελείται σε έναν επεξεργαστή με μόνο ένα επίπεδο κρυφής μνήμης δεδομένων, η οποία αρχικά είναι άδεια. Η κρυφή μνήμη είναι συσχετίσης δύο δρόμων (2-way set associative), write-allocate, αποτελείται από 32 blocks δεδομένων, και έχει LRU πολιτική αντικατάστασης. Το μέγεθος του block είναι 32 bytes, ενώ η μικρότερη μονάδα δεδομένων που μπορεί να διευθυνσιοδοτηθεί είναι το 1 byte.

2. Υποθέτουμε ότι όλες οι μεταβλητές, πλην των στοιχείων των πινάκων, μπορούν να αποθηκευτούν σε καταχωρητές του επεξεργαστή, οπότε οποιαδήποτε αναφορά σε αυτές δεν συνεπάγεται προσπέλαση στην κρυφή μνήμη. Επίσης, σε επίπεδο εντολών assembly οι αναγνώσεις γίνονται με τη σειρά που εμφανίζονται στον κώδικα.

3. Οι πίνακες είναι αποθηκευμένοι στην κύρια μνήμη κατά γραμμές. Το πρώτο στοιχείο του πίνακα A βρίσκεται στη διεύθυνση 0x00000300, του πίνακα B στη διεύθυνση 0x00001500, και του πίνακα C στη διεύθυνση 0x00002100.

A) Βρείτε ποιες από τις αναφορές στα στοιχεία των πινάκων, για όλη την εκτέλεση του παραπάνω κώδικα, καταλήγουν σε misses. Υποδείξτε ποια είναι compulsory, ποια είναι capacity και ποια conflict.

B) Αν η κρυφή μνήμη γίνει write no allocate, διατηρώντας τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της ίδια, πώς θα επηρεαστεί ο ρυθμός αστοχίας; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

Γ) Αν η κρυφή μνήμη αντικατασταθεί με μια κρυφή μνήμη ευθείας αντιστοίχισης (direct mapped), write allocate, με ίδιο συνολικό αριθμό blocks δεδομένων και ίδιο μέγεθος blocks, πώς θα επηρεαστεί ο ρυθμός αστοχίας; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.