



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

**3η ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Ακ. έτος 2007-2008, 5ο Εξάμηνο Σχολή ΗΜ&ΜΥ**

**Τελική Ημερομηνία Παράδοσης: 14 Μαρτίου 2008**

**Μέρος Α'**

Εξετάζουμε την εκτέλεση του ακόλουθου βρόχου ο οποίος αντιμετωπίζει έναν 4x4 πίνακα a και αποθηκεύει το αποτέλεσμα σε έναν πίνακα b.

```
for(i=0; i<4; i++)  
    for(j=0; j<4; j++)  
        b[i][j] = a[j][i];
```

Οι πίνακες περιέχουν στοιχεία κινητής υποδιαστολής μονής ακρίβειας, μεγέθους 4 bytes το καθένα. Κάνουμε τις εξής υποθέσεις:

- Το πρόγραμμα εκτελείται σε έναν επεξεργαστή με μόνο ένα επίπεδο κρυφής μνήμης δεδομένων, η οποία αρχικά είναι άδεια. Η κρυφή μνήμη είναι πλήρως συσχετιστική (fully associative), αποτελείται από 4 blocks δεδομένων, και έχει LRU πολιτική αντικατάστασης. Το μέγεθος του block είναι 16 bytes.
- 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.
- Οι πίνακες είναι αποθηκευμένοι στην κύρια μνήμη κατά γραμμές. Επιπλέον, είναι "ευθυγραμμισμένοι" ώστε το πρώτο στοιχείο του καθενός να απεικονίζεται στην αρχή μιας γραμμής της κρυφής μνήμης.

**α)** Βρείτε ποιες από τις αναφορές στα στοιχεία των πινάκων, για όλη την εκτέλεση του παραπάνω κώδικα, καταλήγουν σε misses στην cache και ποιες σε hits.

**β)** Ποιες από τις ακόλουθες αλλαγές στο σχεδιασμό της cache θα βοηθούσαν στην μείωση των misses;

- αλλαγή της οργάνωσης σε ευθείας αντιστοίχισης
- αύξηση του αριθμού των blocks
- αύξηση του μεγέθους του block

Δικαιολογείστε τις απαντήσεις σας.

## Μέρος Β'

Εξετάζουμε τις ακόλουθες περιπτώσεις οργάνωσης της cache:

1. Πλήρως συσχετιστική (fully associative), χωρητικότητας 64KB, με μέγεθος block ίσο με 64 bytes και LRU πολιτική αντικατάστασης.

2. Ευθείας αντιστοίχισης (direct mapped), χωρητικότητας 8KB και μέγεθος block ίσο με 64 bytes.

3. Συσχέτισης 2 δρόμων (2-way set associative), χωρητικότητας 8KB, με μέγεθος block ίσο με 64 bytes και LRU πολιτική αντικατάστασης.

Σε όλες τις παραπάνω οργανώσεις, η μικρότερη μονάδα δεδομένων που μπορεί να διευθυνσιοδοτηθεί είναι το 1 byte, ενώ οι διευθύνσεις μνήμης έχουν εύρος 32 bits.

Για κάθε μία από τις οργανώσεις αυτές:

**α)** Υπολογίστε τον αριθμό των bits καθενός από τα επιμέρους πεδία στα οποία χωρίζεται μία διεύθυνση μνήμης. Παρουσιάστε ένα διάγραμμα που να δείχνει πώς διαχωρίζεται η διεύθυνση στα πεδία αυτά, και εξηγήστε τη σημασία του καθενός.

**β)** Βρείτε το συνολικό ποσοστό αστοχίας (miss rate) για τις αναφορές που γίνονται στη μνήμη από την εκτέλεση του ακόλουθου προγράμματος:

```
double a[1024], b[1024], c[1024];
int i;
for(i=0; i<1000; i++)
    a[i] = b[i] + c[i+1];
```

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.
2. 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.
3. Σε επίπεδο εντολών assembly, η σειρά με την οποία γίνονται οι αναφορές στους πίνακες είναι η εξής: b, c, a.
4. Οι πίνακες a, b, c είναι αποθηκευμένοι με αυτή τη σειρά συνεχόμενα στη μνήμη, δηλαδή εκεί που τελειώνει ο ένας, αρχίζει ο επόμενος από την επόμενη θέση μνήμης.
5. Αρχικά, η κρυφή μνήμη δεδομένων είναι άδεια.

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.*