

# Προηγμένη Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

## ΕΡΓΑΣΙΑ I : Υλοποίηση αλγορίθμου επεξεργασίας πινάκων στον επεξεργαστή MIPS με διοχέτευση

Τετάρτη, 12 Νοεμβρίου 2025

### I Εισαγωγή

Η εργασία ασχολείται με την υλοποίηση ενός αλγορίθμου που περιλαμβάνει πράξεις πινάκων σε γλώσσα assembly του επεξεργαστή MIPS. Η εργασία θα εκτελεστεί στο περιβάλλον του web-based simulator του MIPS (*QtMips*) που ενσωματώνει τόσο την υλοποίηση μηχανισμού διοχέτευσης όσο και τη λειτουργία κρυφών μνημών. Ο προσομοιωτής QtMips μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να υποστηρίζει μεταξύ άλλων: pipeline, hazard detection unit, forwarding, delay slot, data cache, instruction cache. Χρησιμοποιώντας τον προσομοιωτή θα μελετήσετε την απόδοση του μηχανισμού διοχέτευσης του MIPS και θα τροποποιήσετε τον κώδικα ώστε να επιταχύνετε την εκτέλεση του προγράμματος.

Μπορείτε να εκτελέσετε τον προσομοιωτή QtMips από την ιστοσελίδα <https://comparch.edu.cvut.cz/qtmips/app/>.

### II Τα Ζητούμενα - Τι πρέπει να παραδώσετε

Υλοποιείτε ένα πρόγραμμα το οποίο δέχεται σαν είσοδο τρεις πίνακες A, B, C ακέραιων αριθμών μεγέθους  $N \times N$  και εκτελεί τον παρακάτω αλγόριθμο:

```
for (i = 1; i < N; i++)
    for (j = 1; j < N; j++)
        MAX[i][j] = max{A[i][j], B[i][j], C[i][j]};
        MIN[i][j] = min{A[i][j], B[i][j], C[i][j]};
```

Οι πίνακες εισόδου A, B και C είναι αποθηκευμένοι στη μνήμη δεδομένων. Οι πίνακες εξόδου MAX και MIN θα πρέπει επίσης να αποθηκευτούν στη μνήμη δεδομένων. Η διάσταση N των πινάκων δεν είναι σταθερή, αλλά δηλώνεται σε μεταβλητή η οποία είτε είναι αποθηκευμένη στη μνήμη δεδομένων είτε διαβάζεται μέσω του τερματικού. Τα στοιχεία των πινάκων είναι τύπου word (64-bit).

#### Μέρος 1<sup>ο</sup>:

Υλοποιήστε το πρόγραμμά σας με στόχο το ελάχιστο μέγεθος κώδικα (Κώδικας A).

- Υπολογίστε το συνολικό αριθμό κύκλων εκτέλεσης του προγράμματος και το CPI.
- Παρατηρήστε και σχολιάστε σε ποιες περιπτώσεις προκαλούνται καθυστερήσεις (stalls) κατά την εκτέλεση του προγράμματος.

#### Σημειώσεις:

- Ενεργοποιήστε τις παρακάτω ρυθμίσεις στον επεξεργαστή (core): Pipelined, Delay Slot, Hazard Unit (Stall or Forward when hazard is detected).
- Επειδή με την ενεργοποίηση του pipeline, ενεργοποιείται αυτόματα και το Delay Slot, για να εκτελεστεί σωστά το πρόγραμμα, τοποθετήστε μια nop εντολή μετά από κάθε εντολή διακλάδωσης.
- Μην ενεργοποιήσετε τις κρυφές μνήμες (caches)
- Μην κάνετε καμία αλλαγή στη σειρά εκτέλεσης των εντολών ώστε να μειώσετε τους κύκλους καθυστέρησης.

---

**Μέρος 2°:** Μελετήστε την επίδραση του Delay Slot στην απόδοση του προγράμματος. Αφαιρέστε τις εντολές nop και προσπαθήστε να βρείτε χρήσιμες εντολές για να τις εισάγετε στο Delay Slot (κώδικας B).

- Υπολογίστε το συνολικό αριθμό κύκλων εκτέλεσης, το CPI και την αύξηση της απόδοσης που επιτύχατε (έναντι του κώδικα A).

**Μέρος 3°:** Τροποποιήστε το πρόγραμμά σας με στόχο τον *ελάχιστο χρόνο εκτέλεσης*.

- Χρησιμοποιήστε την τεχνική loop unrolling: ξετυλίξτε τον εσωτερικό βρόχο **2** φορές (4 πολλαπλασιασμοί σε κάθε επανάληψη του βρόχου).
- Προσπαθήστε να αποφύγετε τους κύκλους καθυστέρησης λόγω εξάρτησης δεδομένων αναδιατάσσοντας τις εντολές.
- Υπολογίστε το συνολικό αριθμό κύκλων εκτέλεσης, το CPI και την αύξηση της απόδοσης που επιτύχατε (έναντι του κώδικα A). Αναλύστε τους κύκλους καθυστέρησης που αποφύγατε με την τροποποίηση του προγράμματος.

Σημείωση: Θεωρήστε ότι το N είναι πολλαπλάσιο του 4.

Η επαλήθευση του κώδικα και οι παραπάνω υπολογισμοί της απόδοσης θα πρέπει να γίνουν για πίνακες 16x16 (N=16) με τυχαία δεδομένα.

Πρέπει να παραδώσετε (σε ηλεκτρονική μορφή):

1. Τους (3) κώδικες του προγράμματος
2. Τεκμηρίωση της εργασίας που θα περιλαμβάνει τις απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα.

Σημείωση: Μην ξεχάσετε να περιλάβετε στην τεκμηρίωσή σας τα ονόματα των μελών της ομάδας, τους αριθμούς μητρώου και e-mails ή τηλέφωνα για επικοινωνία.

### III Σύσταση Ομάδων – Παράδοση Εργασιών – Βαθμολόγηση

Κάθε ομάδα μπορεί να αποτελείται από **1** έως και **3** άτομα.

Η τελική ημερομηνία παράδοσης της εργασίας είναι στις **3 Δεκεμβρίου 2025**.

Η εξέταση της εργασίας θα γίνει την **Πέμπτη 4 Δεκεμβρίου 2025 (στις 2μμ)**. Το ακριβές πρόγραμμα της εξέτασης θα ανακοινωθεί αμέσως μετά το πέρας της προθεσμίας υποβολής. Στην εξέταση θα πρέπει να συμμετέχουν όλα τα μέλη της ομάδας.

Στα πλαίσια του μαθήματος θα δοθούν και άλλες 2 εργασίες. **Και οι τρεις** εργασίες είναι υποχρεωτικές. Δεν υπάρχει γραπτή εξέταση.

Ο τελικός βαθμός θα υπολογιστεί ως εξής :

$$\mathbf{0.4 \times \text{Εργασία 1} + 0.3 \times \text{Εργασία 2} + 0.3 \times \text{Εργασία 3}}$$

Για να είναι προβιβάσιμος ο τελικός βαθμός πρέπει ο βαθμός όλων των εργασιών να είναι μεγαλύτερος ή ίσος του 5.

Σε περίπτωση που μια ομάδα δεν παραδώσει και τις 3 εργασίες (ή κάποια από τις εργασίες βαθμολογηθεί κάτω του 5) τότε έχει το δικαίωμα να διατηρήσει τον βαθμό των εργασιών που παρέδωσε και βαθμολογήθηκαν με προβιβάσιμο βαθμό (>5) και στην εξεταστική του Σεπτεμβρίου να παραδώσει και τις υπόλοιπες εργασίες. Ο βαθμός των εργασιών δεν διατηρείται για την επόμενη ακαδημαϊκή χρονιά.

Η παράδοση της εργασίας θα γίνει ηλεκτρονικά μέσω της ιστοσελίδας του μαθήματος.

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Εάν διαπιστωθεί αντιγραφή εργασιών μεταξύ ομάδων θα μηδενίζονται αυτόματα ΟΛΕΣ οι εργασίες.

Μιχάλης Ψαράκης - [mpsarak@unipi.gr](mailto:mpsarak@unipi.gr)