



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

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

11 Φεβρουαρίου 2019

**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ**  
Εξετάσεις Κανονικής Περιόδου Ακ. Έτους 2018-2019

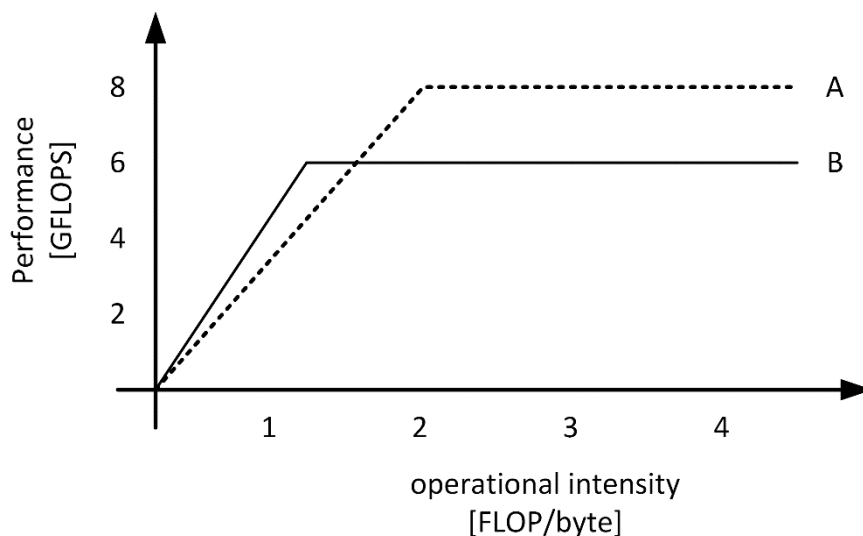
Η εξέταση γίνεται με κλειστά βιβλία και σημειώσεις. Μπορείτε να έχετε μαζί σας μόνο μία κόλλα Α4. Διάρκεια εξέτασης  $2^{3/4}$  ώρες.

**Θέμα 1<sup>ο</sup> (60%)**

Σας δίνεται ο παρακάτω ψευδοκώδικας:

```
for (k = 0; k < n; k++) {  
    for (i = k+1; i < n; i++) {  
        A[i,k] = A[i,k] / A[k,k];  
        A[k,i] = A[k,i] / A[k,k];  
    }  
    for (i = k+1; i < n; i++)  
        for (j = k+1; j < n; j++)  
            A[i,j] = A[i,j] + A[k,i] * A[j,k];  
}
```

A (20%). Θεωρήστε ότι το πρόγραμμα αυτό εκτελείται για προβλήματα με  $n = 1024$ . Καλείστε να επιλέξετε μία από τις αρχιτεκτονικές A ή B για τις οποίες σας δίνεται το μοντέλο roofline στο Σχήμα 1.



**Σχήμα 1:** Μοντέλο roofline για τα συστήματα A και B.

Επιπρόσθετα σας δίνεται:

- Για την αρχιτεκτονική A ισχύει: πρόσθεση = 1 FLOP, πολλαπλασιασμός = 8 FLOP
- Για την αρχιτεκτονική B ισχύει πρόσθεση = 1 FLOP, πολλαπλασιασμός = 4 FLOP.
- Και οι δύο αρχιτεκτονικές έχουν μέγεθος κρυφής μνήμης 1 MB. Θεωρήστε ότι αν τα δεδομένα χωρούν ολόκληρα στην κρυφή μνήμη, τότε δεν υπάρχει μεταφορά δεδομένων, ενώ αν δεν χωρούν στην κρυφή μνήμη, τότε μεταφέρονται εξολοκλήρου από την κύρια μνήμη.
- Ο πίνακας A περιέχει πραγματικούς αριθμούς απλής ακρίβειας (4 bytes).
- Υπενθυμίζεται ότι:  $1^2 + 2^2 + \dots + m^2 = m(m+1)(2m+1)/6$

B (25%). Καλείστε να σχεδιάσετε και να υλοποιήσετε παράλληλο πρόγραμμα για την εκτέλεση του παραπάνω αλγορίθμου σε υπολογιστική πλατφόρμα με πολλαπλούς επεξεργαστές που υποστηρίζει το μοντέλο κοινού χώρου διευθύνσεων.

- I. Δώστε το γράφο των εξαρτήσεων για  $n = 5$  αναδεικνύοντας το μέγιστο δυνατό παραλληλισμό. Επισημάνετε σε κάθε κόμβο του γράφου τον υπολογισμό που εκτελείται. (15%)
- II. Δώστε έκφραση για τη μέγιστη δυνατή επιτάχυνση λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική διαφορά ανάμεσα στις πράξεις. Εργαστείτε με την αρχιτεκτονική A. (5%)
- III. Υλοποιήστε παράλληλη έκδοση χρησιμοποιώντας *parallel for*. Πέτυχατε παραλληλισμό ίδιο με το γράφο των εξαρτήσεων του ερωτήματος I; (5%)

Γ (25%). Αντίστοιχα με το ερώτημα B, καλείστε να σχεδιάσετε και να υλοποιήσετε παράλληλο πρόγραμμα για σύστημα που υποστηρίζει προγραμματιστικό μοντέλο ανταλλαγής μηνυμάτων.

- I. Επισημάνετε τις εξαρτήσεις των δεδομένων πάνω στον πίνακα A. (5%)
- II. Επιλέξτε μία από τις τέσσερις δυνατές κατανομές του πίνακα που προκύπτουν από τους συνδυασμούς κατά γραμμές/στήλες και συνεχόμενα/κυκλικά και αιτιολογήστε την επιλογή σας. (5%)
- III. Δώστε ψευδοκώδικα υλοποίησης στο μοντέλο της ανταλλαγής μηνυμάτων. (15%)

### Θέμα 2<sup>ο</sup> (25%)

Θεωρήστε διπλά συνδεδεμένη λίστα η οποία υποστηρίζει λειτουργίες *insert*, *delete* και *search*. Για τις παραπάνω λειτουργίες συγκρίνεται το κλειδί που συμμετέχει στη λειτουργία με τα κλειδιά της αρχής και του τέλους της λίστας και επιλέγεται το σημείο εκκίνησης της λειτουργίας (αρχή ή τέλος) ώστε αυτή τη ξεκινήσει από το πιο «κοντινό» σημείο.

- I. Περιγράψτε πως μπορεί να μετατραπεί η συγκεκριμένη λίστα σε ταυτόχρονη (concurrent) με κάθε μία από τις στρατηγικές: α) coarse-grain locking, β) fine-grain locking, γ) lazy synchronization και δ) transactional memory. (10%)
- II. Αξιολογήστε τις παραπάνω στρατηγικές για τη συγκεκριμένη δομή ως προς τις μετρικές *επίδοση*, *προγραμματιστική ευκολία* και *στιβαρότητα* (robustness) και αναφέρετε συγκεκριμένα προβλήματα που έχετε να αντιμετωπίσετε κατά την υλοποίηση. (10%)
- III. Έστω ότι ένα πρόγραμμα χειρίζεται δύο τέτοιες δομές και χρειάζεται να μεταφέρει ένα στοιχείο από τη μία δομή στην άλλη. Τι κίνδυνος δημιουργείται σε αυτή την περίπτωση και πως μπορεί να αντιμετωπιστεί; (10%)

### Θέμα 3<sup>ο</sup> (25%)

Το 2018 εμφανίστηκε στη λίστα Top500 ο πρώτος υπερυπολογιστής που βασίζεται σε αρχιτεκτονική ARM. Πρόκειται για τον Astra, το νέο υπερυπολογιστή των Sandia National Laboratories. Το σύστημα αποτελείται από 2592 υπολογιστικούς κόμβους, που διασυνδέονται σε τοπολογία fat-tree τριών επιπέδων με δίκτυο InfiniBand. Σε κάθε επίπεδο, χρησιμοποιούνται διακόπτες των 36 θυρών.

I) Τα ανώτερα δύο επίπεδα του fat-tree συνενώνονται σε μεγάλα switches των 540 θυρών, που αποτελούνται από μικρότερα switches των 36 θυρών. Δώστε την τοπολογία ενός μεγάλου switch. Πόσα μικρότερα switches θα χρησιμοποιήσετε; Πόσα από αυτά θα ανήκουν στο 2ο επίπεδο και πόσα στο 3ο; Πώς συνδέονται μεταξύ τους; (10%)

II) Το κατώτερο επίπεδο του fat-tree χρησιμοποιεί switches των 36 θυρών. Κάθε κόμβος συνδέεται σε μια θύρα του 1ου επιπέδου. Επιπλέον, στο κατώτερο επίπεδο του fat-tree, δεν τηρείται η αναλογία 1:1 μεταξύ downlinks και uplinks, αλλά 2:1 downlinks:uplinks (το δίκτυο είναι blocking). Πόσα switches χρειάζονται για το 1ο επίπεδο του fat-tree; Δώστε συνολικά την τοπολογία του συστήματος. (10%)

III) Τι επίδραση έχει η αναλογία 2:1 στο κατώτερο επίπεδο στο εύρος τομής του δικτύου; Αν οι σχεδιαστές επιδίωκαν πλήρες εύρος τομής, τι επίδραση θα είχε αυτό στο κόστος του δικτύου; Συγκρίνετε την επίδραση στην επίδοση και στο κόστος. Τι είδους επικοινωνία μεταξύ κόμβων μπορεί να οδήγησε τους σχεδιαστές του συστήματος στη συγκεκριμένη σχεδιαστική επιλογή; (10%)

#### Σημείωση για το σχήμα βαθμολόγησης:

- Γράφετε με άριστα το 110.
- Το άθροισμα των βαθμών των επιμέρους ερωτημάτων κάθε θέματος είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο βαθμό του θέματος. Ο βαθμός που θα πάρετε σε κάθε θέμα είναι ο  $\min(\text{βαθμοί που συλλέξατε}, \text{μέγιστος βαθμός θέματος})$ .