



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

---

## ΕΜ 361: ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ (PARALLEL COMPUTING)

ΣΕΙΡΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ: 2η

Όνομα Καθηγητή: Χαρμανδάρης Ευάγγελος

Τμήμα Εφαρμοσμένων Μαθηματικών

**ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ**  
**ΕΜ 361: ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ (PARALLEL COMPUTING)**

**Χειμερινό Εξάμηνο 2010/11**

**2<sup>η</sup> ΣΕΙΡΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ**

**Ημερομηνία Παράδοσης:** Μέχρι την Τρίτη 16/11 ώρα 24:00. Η παράδοση θα γίνει στέλνοντας με email το αρχείο αναφοράς σε μορφή pdf. Στην αναφορά θα πρέπει επίσης να αναγράφονται τα στοιχεία σας: ονοματεπώνυμο, ΑΜ, αριθμός εξαμήνου.

**ΑΣΚΗΣΗ 1: Το ‘Κόσκινο του Ερατοσθένη’ (40 Μονάδες)**

Θεωρήστε τον αλγόριθμο εύρεσης πρώτων αριθμών ‘Κόσκινο του Ερατοσθένη’ που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 4. Όπως είδαμε ο παραλληλισμός δεδομένων, σε σύστημα με  $P$  επεξεργαστές, οδηγεί σε αριθμό πράξεων:

$$T_{comp} = \left[ \left( \frac{n/P}{\pi_1} \right) + \left( \frac{n/P}{\pi_2} \right) + \dots + \left( \frac{n/P}{\pi_k} \right) \right] t_0$$

όπου  $t_0$  είναι ο χρόνος υπολογισμού μιας πράξης,  $k$  ο αριθμός των ακεραίων ( $<n^{1/2}$ ) και  $\pi_i$  ( $i=1,2,\dots,k$ ) η τιμή των πρώτων αριθμών. Για συστήματα κοινής μνήμης δεν υπάρχει χρόνος επικοινωνίας. Για συστήματα καταμεμημένης μνήμης ο χρόνος επικοινωνίας, όπως επίσης είδαμε, είναι:

$$T_{comm} = k(P-1)\lambda$$

όπου  $\lambda$  είναι ο χρόνος επικοινωνίας (αποστολής/λήψης) ενός αριθμού.

Στο παράδειγμα που είδαμε στην τάξη αμελήσαμε το κόστος εγγραφής/εκτύπωσης (I/O) των πρώτων αριθμών στην οθόνη ή σε κάποιο αρχείο. Σε περίπτωση που θέλουμε εκτύπωση/αποθήκευση των αποτελεσμάτων ο χρόνος εκτύπωσης είναι:

$$T_{I/O} = k_{tot}\mu$$

όπου  $\mu$  είναι ο χρόνος εκτύπωσης ενός αριθμού και  $k_{tot}$  είναι όλοι οι πρώτοι αριθμοί  $<N$ . Ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης,  $T_{exec}$ , είναι ο άθροισμα όλων των παραπάνω.

Σειριακός κώδικας, σε C ή Fortran, που να υπολογίζει τους πρώτους αριθμούς με αυτή τη μέθοδο υπάρχει στην ιστοσελίδα του μαθήματος. Κατεβάστε τον σειριακό κώδικα και εκτελέστε τον. Θεωρήστε το πρόβλημα με  $n = 2.000.000$  (αλλάξτε τον κώδικα όπου χρειάζεται). Όπως θα δείτε υπάρχουν 148933 πρώτοι αριθμοί μικρότεροι του 2.000.000 και 168 αριθμοί μικρότεροι του 1000.

Επεκτείνετε/τροποποιήστε τον σειριακό κώδικα τον ώστε να υπολογίζει τα  $T_{comp}$ ,  $T_{comm}$ ,  $T_{I/O}$  και  $T_{exec}$  για διαφορετικό αριθμό επεξεργαστών χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις, δηλαδή χωρίς να παραλληλίσετε τον κώδικα.

Υποθέστε επίσης ότι  $\lambda=100t_0$  και ότι  $\mu=t_0$ .

A) Υπολογίστε τους συνολικούς χρόνους εκτέλεσης του προγράμματος,  $T_{exec}$ , στις παρακάτω αρχιτεκτονικές-περιπτώσεις:

1. Σύστημα κοινής μνήμης χωρίς εκτύπωση (Shared memory, No I/O).
2. Σύστημα κοινής μνήμης με εκτύπωση (Shared memory, With I/O).
3. Σύστημα καταναμημένης μνήμης χωρίς εκτύπωση (Distributed memory, No I/O).
4. Σύστημα καταναμημένης μνήμης με εκτύπωση (Distributed memory, With I/O).

Για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις κάντε γραφική παράσταση με: τον χρόνο υπολογισμού, χρόνο επικοινωνίας (αν υπάρχει), χρόνο I/O (αν υπάρχει) και τον συνολικό χρόνο εκτέλεσης. Όλα τα παραπάνω σαν συνάρτηση του αριθμού των επεξεργαστών για επεξεργαστές από 1 έως 64. Επίσης ετοιμάστε γράφημα με τον λόγο επιτάχυνσης,  $S$ , για όλες τις περιπτώσεις. Ποιος είναι ο βέλτιστος λόγος επιτάχυνσης και αριθμός επεξεργαστών κάθε φορά;

B) Για την περίπτωση (4) (Distributed memory, With I/O) υπολογίστε τον λόγο επιτάχυνσης για  $\lambda=10t_0$  και  $\lambda=100t_0$ . Πόσο διαφορετικά είναι τα αποτελέσματα;

Γράψτε σε μια αναφορά όλα τα παραπάνω, μαζί με τις κατάλληλες γραφικές παραστάσεις.

## ΑΣΚΗΣΗ 2: OpenMP (60 Μονάδες)

Θεωρήστε πίνακες  $A, B$  με  $A \in \mathbb{R}^{m,n}$  και  $B \in \mathbb{R}^{n,k}$ .

A) Φτιάξτε έναν σειριακό κώδικα, σε C ή Fortran, ο οποίος θα υπολογίζει το γινόμενο των δύο πινάκων  $D=AB$ . Το πρόγραμμα θα διαβάζει τις παραμέτρους  $n, m$ , και  $k$ , θα κατασκευάζει τους πίνακες  $A$  και  $B$  χρησιμοποιώντας τυχαίους αριθμούς και κατόπιν θα υπολογίζει τον  $D$ . Μετρήστε τον χρόνο εκτέλεσης του κώδικα (μόνο των υπολογισμών) για διάφορες τιμές του  $N$  ( $m=n=k=N$ ).

B) Επεκτείνετε/τροποποιήστε τον παραπάνω κώδικα ώστε να γίνει παράλληλος χρησιμοποιώντας εντολές OpenMP. Μετρήστε τον χρόνο εκτέλεσης για διάφορες τιμές του  $N$  ( $m=n=k=N$ ) και διαφορετικό αριθμό επεξεργαστών  $P$ .

C) Γράψτε μια αναφορά στην οποία θα περιγράφονται τα παρακάτω: περιγραφή του σειριακού και των παράλληλων αλγόριθμων (πως γίνεται η κατανομή των δεδομένων, ποιες συναρτήσεις OpenMP χρησιμοποιήθηκαν). Ποια είναι η μέγιστη τιμή του  $N$  που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε; Επίσης θα περιγράψετε και θα αναλύσετε τα αποτελέσματα. Για το σκοπό αυτό φτιάξτε τα παρακάτω γραφήματα:

- (1) Γράφημα με x-άξονα την παράμετρο  $N$  και y-άξονα τον χρόνο. Στο γράφημα θα υπάρχουν οι χρόνοι εκτέλεσης του σειριακού και του παράλληλου κώδικα.
- (2) Γράφημα με x-άξονα την παράμετρο  $N$  και y-άξονα τον λόγο επιτάχυνσης  $S(P)$  όπου  $P$  είναι ο αριθμός των επεξεργαστών που χρησιμοποιήσατε.
- (3) Για την μεγαλύτερη τιμή του  $N$  που χρησιμοποιήσατε φτιάξτε ένα γράφημα με x-άξονα τον αριθμό των επεξεργαστών  $P$  και y-άξονα τον λόγο επιτάχυνσης  $S(P)$ .

## Σημειώματα

### Σημείωμα αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Κρήτης, Χαρμανδάρης Ευάγγελος, 2011. Χαρμανδάρης Ευάγγελος. Παράλληλοι Υπολογισμοί. 2η Σειρά Ασκήσεων». Έκδοση: 1.0. Ηράκλειο 2011.

### Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

### Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

## Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

