

ECE445 Παράλληλοι και Δικτυακοί Υπολογισμοί

Χειμερινό Εξάμηνο 2022-2023

Εργασία 1

Εισαγωγικά

(Ημερομηνία Παράδοσης: Παρασκευή 09.12.2022, 12:00μμ)

Ακολουθείστε το πρότυπο κείμενο (template.docx) για να γράψετε τις απαντήσεις σας στις παρακάτω ερωτήσεις και την αναφορά σας στα πειραματικά αποτελέσματα των προγραμμάτων σας.

Γράψτε καθαρά τα ονοματεπώνυμά σας και τα ΑΕΜ σας στην πρώτη σελίδα. Το κείμενο σας πρέπει να είναι καλογραμμένο και ευανάγνωστο ενώ θα πρέπει να δικαιολογείτε ΠΛΗΡΩΣ τα βήματα που ακολουθήσατε, και να σχολιάζετε τα αποτελέσματα από κάθε άσκηση (πίνακες, γραφικές παραστάσεις κλπ).

Προτείνεται να προγραμματίσετε σε C/C++ και σε περιβάλλον Linux, χρησιμοποιείτε Makefile για compile/link/execution των προγραμμάτων σας.

Ετοιμάστε την αναφορά (report) σας, γράφοντας τις θεωρητικές λύσεις των προβλημάτων, περιγράφοντας την υλοποίηση και το μηχανήμα που τρέξατε τα προγράμματά σας και κάνετε τα πειράματά σας.

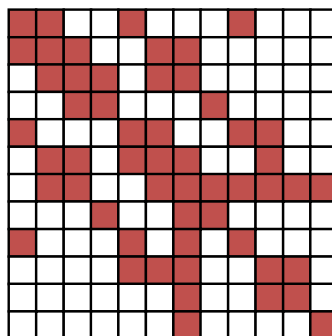
Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας, και παρουσιάστε τα αποτελέσματα σε γραφήματα και πίνακες ώστε να φαίνεται η κλιμάκωση του χρόνου σε σχέση με το μέγεθος των εισόδων. Παραδώστε μια φορά την εργασία σας μέσω eclass σε ένα zip αρχείο (ergasia1_AEM1_AEM2.zip), το οποίο θα περιέχει το κείμενο με τις λύσεις/αποτελέσματα και σχόλια σας, τον κώδικά σας (.c, .h αρχεία και το Makefile σας). Σημειώνεται ότι οι ομάδες δεν αλλάζουν στη διάρκεια του εξαμήνου.

Άσκηση 1 – Πολλαπλασιασμός Πίνακα (θεωρητική) (10 μονάδες)

Υποθέστε τον πίνακα A από το παρακάτω σχήμα, και το πρόβλημα του πολλαπλασιασμού $Ab=c$, b και c διανύσματα 12 στοιχείων. Αν υποθέσουμε ότι χωρίζουμε το πρόβλημα κατά block γραμμών του πίνακα A και στοιχείων του b και του c, σε 2 και 4 επεξεργαστές με τον προφανή τρόπο (όπως στις διαφάνειες του μαθήματος), ποια είναι τα δεδομένα του b στην απαιτούμενη επικοινωνία σε κάθε περίπτωση;

Για κάθε περίπτωση παρουσιάστε ένα άλλο (μη προφανή) καταμερισμό του προβλήματος με λιγότερη επικοινωνία.

Αν υποθέσουμε ότι χωρίζουμε το πρόβλημα κατά block στηλών του πίνακα A και στοιχείων του b και του c, σε 2 και 4 επεξεργαστές με τον προφανή τρόπο. Πως θα πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη πράξη του πολλαπλασιασμού και ποιες οι απαιτήσεις επικοινωνίας;



Σχήμα 1. Αραιός Πίνακας

Άσκηση 2 – Εσωτερικό Γινόμενο (20 μονάδες)

Θεωρούμε το πρόβλημα του υπολογισμού του εσωτερικού γινομένου δύο διανυσμάτων. Το εσωτερικό γινόμενο μπορεί να υπολογιστεί με ένα απλό loop. Για να μελετήσουμε την επίδραση του βήματος του loop, θα εκτελέσουμε το loop με διαφορετικό βήμα ($k=1, 2, 4, 8, 16$) με k ξεχωριστές εντολές (όπως στην περίπτωση του έμμεσου παραλληλισμού). Γράψτε αντίστοιχες συναρτήσεις οι οποίες να υπολογίζουν το εσωτερικό γινόμενο (για καθένα από τα πέντε βήματα k) για δύο διανύσματα με 220 στοιχεία, και να μετρούν το χρόνο εκτέλεσης. Κάντε τη γραφική παράσταση του χρόνου εκτέλεσης ως προς το k . Μετρήστε το πλήθος των πράξεων (προς θέση ή πολλαπλασιασμός) με αριθμούς κινούμενης υποδιαστολής στο πρόγραμμά σας. Ποιά είναι η μέγιστη ταχύτητα του προγράμματος σας σε FLOPS (Floating Point Operations Per Second); Ποιό ή ποιά k κρίνονται κρίσιμα για την βελτίωση της αποδοτικότητας; Ποιός ο λόγος που περιμένουμε βελτίωση στην αποδοτικότητα; Βεβαιωθείτε ότι τα αποτελέσματά σας είναι σωστά και αιτιολογήστε τις παρατηρήσεις σας. **Υπόδειξη:** Συμβουλευτείτε από το [netlib.org](http://www.netlib.org) τη συνάρτηση `sdot` της LAPACK/BLAS για το πώς θα πρέπει να το αντιμετωπίσετε.

http://www.netlib.org/lapack/explore-html/d0/d16/sdot_8f_source.html

Άσκηση 3 – Γινόμενο Πινάκων (20 μονάδες)

Το γινόμενο δύο $n \times n$ πινάκων, A και B , υπολογίζεται σε 3 φωλιασμένα loops. Με αυτό τον τρόπο κάθε στοιχείο του πίνακα γινομένου, C , υπολογίζεται σαν το εσωτερικό γινόμενο της αντίστοιχης γραμμής του A και της αντίστοιχης στήλης του B , και όλα τα στοιχεία του C υπολογίζονται γραμμή-γραμμή. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της αποδοτικότητας στη χρήση της μνήμης. Διαφοροποιήστε τα loops, ώστε να υπολογίζεται ο C , κατά block διάστασης $k \times k$. Τα block υπολογίζονται πλήρως το ένα μετά το άλλο, γραμμή προς γραμμή. Γράψτε ένα πρόγραμμα που να υλοποιεί τον πολλαπλασιασμό δύο πινάκων με $n=512$ και $k=1, 2, 4, 8, 16$ και μετρήστε τον χρόνο εκτέλεσης σε κάθε περίπτωση. Κάντε τη γραφική παράσταση του χρόνου ως προς το k . Ποιά είναι η μέγιστη ταχύτητα του προγράμματος σας σε FLOPS (Floating Point Operations Per Second); Ποιός ο λόγος που περιμένουμε βελτίωση στην αποδοτικότητα; Βεβαιωθείτε ότι τα αποτελέσματά σας είναι σωστά και αιτιολογήστε τις παρατηρήσεις σας.

Άσκηση 4 – Εισαγωγή στην OpenMP (20 μονάδες)

Ο στόχος αυτού του ερωτήματος είναι να γράψετε τρία προγράμματα σε OpenMP και να προσδιορίσετε πειραματικά την επιτάχυνση που παίρνετε όταν το εκτελείτε παράλληλα με 1, 2, 3, 4, 5 και 6 νήματα. Οι παραλληλισμοί είναι σχετικά απλοί και τα αποτελέσματα θα πρέπει να είναι εμφανή όσον αφορά την επιτάχυνση. Θα πρέπει να μετρήσετε και να σχεδιάσετε την απόδοση της παραλληλοποίησής σας ως συνάρτηση του αριθμού των νημάτων και να αναλύσετε τις παρατηρήσεις σας.

1. Στένσιλ 1D
 - a. Παραλληλίστε τον υπολογισμό `stencil_1D` από τον παρεχόμενο σειριακό κώδικα.
2. Στένσιλ 2D
 - a. Αυτή είναι μια 2D επέκταση του προηγούμενου προγράμματος, όπου τα δεδομένα ενημερώνονται χρησιμοποιώντας τις τιμές οκτώ γειτονικών στοιχείων γραμμής και στήλης.
3. Γινόμενο πίνακα-διανύσματος
 - a. Παραλληλίστε το παρεχόμενο σειριακό πρόγραμμα για το γινόμενο πίνακα-διανύσματος.

Για την συγκεκριμένη άσκηση κατεβάστε και κάντε `untar` το αντίστοιχο αρχείο. Ενδεικτικά η είσοδος στα προγράμματα είναι:

- `stencil_1D 10000 200000`
- `stencil_2D 3000 3000`
- `mat_vec 25000 10000`

Στην αναφορά σας θα παρουσιάσετε τα αποτελέσματα της απόδοσής σας. Ακολουθεί μια γενική περιγραφή μιας τέτοιας έκθεσης

- Περιγραφή αλγορίθμου (δείχνοντας ότι κατανοείτε τον αλγόριθμο).
- Περιγραφή προσέγγισης παραλληλισμού.
- Πειραματική αξιολόγηση:
 - Περιγράψτε το μηχανήμα (αριθμός πυρήνων, μεγέθη κρυφής μνήμης).
 - Καταγράψτε τα πειράματα (πλήθος νημάτων).
- Πειραματικά αποτελέσματα.
 - Συγκρίνετε σειριακούς και τους παράλληλους χρόνους.
 - Συμπεριλάβετε πίνακες και γραφήματα των χρόνων εκτέλεσης, της επιτάχυνσης και της αποτελεσματικότητας.
 - Κάντε παρατηρήσεις σχετικά με την επιτάχυνση.
- Συμπέρασμα: Μπορείτε να δείτε μια τάση στην επιτάχυνση του προγράμματος;

Άσκηση 5 – Εισαγωγή στην MPI (20 μονάδες)

Ο στόχος αυτού του ερωτήματος είναι να γράψετε τον αλγόριθμο για το γινόμενο πίνακα-διανύσματος χρησιμοποιώντας την λειτουργικότητα του MPI. Μπορείτε να επιλέξετε οποιαδήποτε μέθοδο, είτε κατά γραμμές είτε κατά στήλες και είτε 1D είτε 2D, και να αξιολογήσετε πειραματικά τα αποτελέσματα για διάφορα μεγέθη πινάκων και νημάτων όπως το προηγούμενο ερώτημα. Για την υλοποίηση της άσκησης μπορείτε να χρησιμοποιήσετε το `multinode broadcasting` θεωρώντας ότι το `x` βρίσκεται μοιρασμένο σε όλες τις εργασίες.