

Προγραμματισμός Συστημάτων Υψηλής Επίδοσης (ECE415)
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

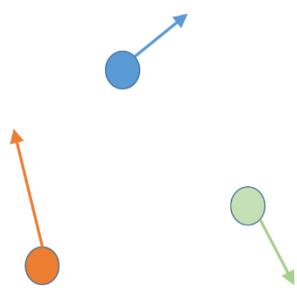
Διδάσκων: Χρήστος Δ. Αντωνόπουλος

5η Εργαστηριακή Άσκηση

Στόχος: Παραλληλοποίηση και βελτιστοποίηση εφαρμογής προσομοίωσης NBody σε GPU.

Εισαγωγή:

Οι προσομοιώσεις NBody προσομοιώνουν την εξέλιξη δυναμικών συστημάτων σωμάτων (σωματιδίων, ατόμων, πλανητών), υπό την επίδραση φυσικών δυνάμεων (ηλεκτροστατικών, βαρυτικών).



Εικόνα 1: Στιγμιότυπο τριών κινούμενων σωμάτων



Η χρονική εξέλιξη του φαινομένου προσομοιώνεται σε βήματα. Σε κάθε βήμα τα σώματα χαρακτηρίζονται:

- α) Από τη θέση τους στον 3D χώρο.
- β) Από το διάνυσμα της ταχύτητάς τους.

Επιπλέον, ανάλογα με τη φύση του φαινομένου, το κάθε σώμα μπορεί επίσης να χαρακτηρίζεται από άλλες φυσικές ποσότητες, όπως π.χ. η μάζα ή το φορτίο του.

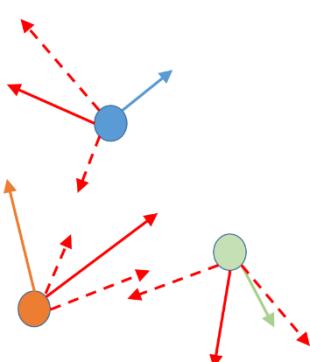
Ως σημείο αναφοράς και εκκίνησης σας δίνεται μια ακολουθιακή υλοποίηση του κώδικα σε C, η οποία προσομοιώνει σε διαδοχικά χρονικά βήματα την κίνηση των σωμάτων σε πολλαπλούς ανεξάρτητους γαλαξίες.

Υπόβαθρο:

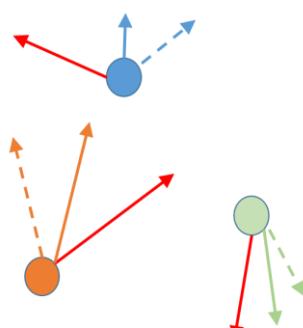
Ο κώδικας που σας δίνεται υλοποιεί την απλούστερη δυνατή μορφή του αλγόριθμου.

Για έναν αριθμό από διαδοχικά χρονικά βήματα (20 στο παράδειγμα που σας δίνεται) και για καθέναν από τους ανεξάρτητους γαλαξίες:

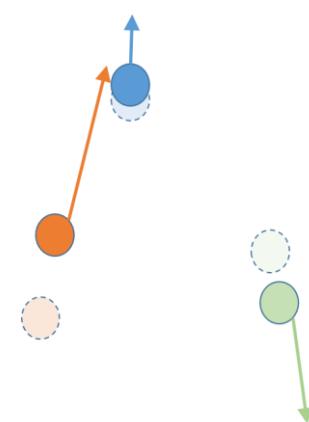
- α) Υπολογίζονται οι δυνάμεις που εξασκούνται σε κάθε σώμα (και η συνισταμένη τους), εξαιτίας της



Εικόνα 2: Βήμα (α)



Εικόνα 3: Βήμα (β)



Εικόνα 4: Βήμα (γ)

αλληλεπίδρασής του με καθένα από τα υπόλοιπα σώματα του ίδιου γαλαξία. Οι δυνάμεις αυτές προφανώς εξαρτώνται από τη μεταξύ τους απόσταση και τη μάζα τους.

β) Η συνισταμένη δύναμη αξιοποιείται ώστε να υπολογιστεί η αντίστοιχη επιτάχυνση καθώς και η συνακόλουθη μεταβολή του διανύσματος ταχύτητας κάθε σώματος.

γ) Με βάση την ταχύτητα και το χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών βημάτων υπολογίζεται η νέα θέση των σωμάτων.

Ζητούμενα:

Σε 1^η φάση, θα πρέπει να παραλληλοποιήσετε για τη CPU τον κώδικα που σας δόθηκε με χρήση OpenMP. Λογικά δε θα χρειαστεί να αλλάξετε παραπάνω από 1-2 γραμμές κώδικα, βεβαιωθείτε όμως ότι έχετε διαλέξει να παραλληλοποιήσετε κατάλληλο loop ώστε να έχετε διαθέσιμο επαρκή παραλληλισμό για όλους τους πυρήνες του συστήματος. Επιβεβαιώστε την ορθότητα της παράλληλης υλοποίησης. Μπορείτε να θεωρήσετε ότι διαφορές μικρότερες από 0.001 (για τον προκαθορισμένο αριθμό σωμάτων ανά γαλαξία) είναι δικαιολογημένες. Σημειώστε ότι το εκτελέσιμο περιμένει να βρει ένα αρχείο με όνομα `galaxy_data.bin`. Αν δε βρει, παράγει τυχαία δεδομένα για 32 ανεξάρτητους γαλαξίες με 8192 σώματα έκαστος.

Σε 2^ο στάδιο, θα πρέπει να μεταφέρετε τον κώδικα στη GPU. Ο κώδικας θα πρέπει να είναι λειτουργικός για οποιοδήποτε μέγεθος δεδομένων (με την προϋπόθεση ότι επαρκεί η device memory της GPU). Βεβαιωθείτε ότι ο κώδικάς σας είναι σωστός συγκρίνοντας τις τελικές θέσεις των σωμάτων όπως αυτές υπολογίζονται μεταξύ CPU (θα προτείναμε να χρησιμοποιήσετε την έκδοση OpenMP) και GPU. Μπορείτε και πάλι να θεωρήσετε ότι διαφορές μικρότερες από 0.001 (για τον προκαθορισμένο αριθμό 8192 σωμάτων ανά γαλαξία) είναι δικαιολογημένες.

Ο συγκεκριμένος κώδικας, παρότι μικρός, είναι αρκετά δεκτικός σε βελτιστοποιήσεις που έχουμε εξετάσει στο μάθημα. Ενδεικτικά αναφέρονται η κατανομή των δεδομένων στη μνήμη, tiling, unrolling, streams, ακόμα και ενδεχομένως χρήση προσεγγιστικών συναρτήσεων ή πολλαπλών GPUs. Μπορείτε να δείτε αυτή την εργασία ως διαγωνισμό, όπου "κερδίζει" η γρηγορότερη υλοποίηση. Εξυπακούεται ότι η υλοποίηση θα πρέπει πάνω απ' όλα να είναι ορθή. Για τις μετρήσεις επίδοσης χρησιμοποιήστε τις προκαθορισμένες παραμέτρους (32 ανεξάρτητοι γαλαξίες με 8192 σώματα έκαστος). Ως επίδοση αναφέρετε τον αριθμό των αλληλεπιδράσεων μεταξύ σωμάτων που υπολογίζονται στη μονάδα του χρόνου.

Επίσης, σας δίνεται αρχείο `python` με όνομα `generate_dataset.py`, το οποίο μπορείτε να χρησιμοποιήσετε για να φτιάξετε αρχεία δεδομένων εισόδου για τον κώδικα σας (τρέχετε με `python3 ./generate_dataset.py`).

Παράδοση:

Πρέπει να παραδώσετε:

- Τον τελικό κώδικα.
- Αναφορά στην οποία θα αναλύετε τη στρατηγική παραλληλοποίησης που ακολουθήσατε, τις βελτιστοποιήσεις που εφαρμόσατε και την επίδρασή τους στο χρόνο εκτέλεσης. Μην παραλείψετε να αναφέρετε και τυχόν βελτιστοποιήσεις που δοκιμάσατε χωρίς καλά αποτελέσματα στο χρόνο εκτέλεσης (ή στην ακρίβεια).

Δημιουργήστε ένα αρχείο τύπου `tar.gz` με τα παραπάνω περιεχόμενα και όνομα <όνομα1>_<ΑΕΜ1>_<όνομα2>_<ΑΕΜ2>_<όνομα3>_<ΑΕΜ3>_lab5.tar.gz. Αποστείλετε το στο e-class έως 23:59 της Παρασκευής 9/1/2026.