

Εργασία 4 - Προγραμματισμός με CUDA

Ονοματεπώνυμο: Μάριος Γιαννόπουλος

A.M.: 1115200000032

1 Εισαγωγή

Η εργασία αυτή αφορά την επιτάχυνση ενός προγράμματος που υλοποιεί έναν επιλυτή N-σωμάτων (N-body simulator) χρησιμοποιώντας CUDA. Ο επιλυτής N-σωμάτων προσομοιώνει την κίνηση μιας ομάδας σωμάτων που αλληλεπιδρούν βαρυτικά μεταξύ τους. Η επιτάχυνση του προγράμματος επιτεύχθηκε με τη χρήση της πλατφόρμας CUDA, η οποία επιτρέπει την παράλληλη εκτέλεση υπολογισμών σε GPU.

2 Περιγραφή Προβλήματος

Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε είναι ο υπολογισμός των βαρυτικών δυνάμεων μεταξύ N σωμάτων και η ενημέρωση των θέσεων τους σε κάθε χρονικό βήμα. Ο αρχικός κώδικας εκτελείται σε CPU και απαιτεί σημαντικό χρόνο για μεγάλο αριθμό σωμάτων. Συγκεκριμένα, για 4096 σώματα απαιτείται χρόνος εκτέλεσης περίπου 5 δευτερόλεπτα, ενώ για 65536 σώματα ο χρόνος εκτέλεσης φτάνει τα 20 λεπτά.

3 Λύση

Για την επιτάχυνση του προγράμματος, αναπτύχθηκαν δύο CUDA πυρήνες (kernels):

- **bodyForceKernel**: Υπολογίζει τις βαρυτικές δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε σώμα από όλα τα υπόλοιπα σώματα.
- **integratePositionKernel**: Ενημερώνει τις θέσεις των σωμάτων με βάση τις ταχύτητές τους.

Οι πυρήνες εκτελούνται παράλληλα στη GPU, με κάθε νήμα να αναλαμβάνει τον υπολογισμό για ένα σώμα. Η διαχείριση της μνήμης γίνεται με τη χρήση των συναρτήσεων `cudaMalloc` και `cudaMemcpy`, ενώ ο συγχρονισμός των νημάτων εξασφαλίζεται με τη χρήση της `cudaDeviceSynchronize`.

4 Αποτελέσματα

Η επιτάχυνση του προγράμματος ήταν σημαντική. Τα αποτελέσματα για τους δύο βασικούς αριθμούς σωμάτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός Σωμάτων	Χρόνος Εκτέλεσης (s)	Αλληλεπιδράσεις/Δευτερόλεπτο (Billion)
4096	0.1424	49.028
65536	0.2135	416.817

Table 1: Αποτελέσματα Επιτάχυνσης

Και εδώ είναι το output του Python notebook:

Running nbody simulator with 4096 bodies

Application should run faster than 0.9s
Your application ran in: 0.1424s
Your application reports 49.028 Billion Interactions / second

Your results are correct

Running nbody simulator with 65536 bodies

Application should run faster than 1.3s
Your application ran in: 0.2135s
Your application reports 416.817 Billion Interactions / second

Your results are correct

Όπως φαίνεται, ο χρόνος εκτέλεσης για 4096 σώματα μειώθηκε σε 0.1424 δευτερόλεπτα, ενώ για 65536 σώματα σε 0.2135 δευτερόλεπτα. Αυτό αντιστοιχεί σε 49.028 και 416.817 δισεκατομμύρια αλληλεπιδράσεις ανά δευτερόλεπτο, αντίστοιχα.

5 Συμπεράσματα

Η χρήση της CUDA για την επιτάχυνση του επιλυτή N-σωμάτων απέδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα. Ο χρόνος εκτέλεσης μειώθηκε σημαντικά, περνώντας τα κριτήρια επιτυχίας της εργασίας. Η παράλληλη επεξεργασία σε GPU αποτελεί μια ισχυρή λύση για προβλήματα μεγάλης υπολογιστικής πολυπλοκότητας, όπως η προσομοίωση N-σωμάτων.

6 Πηγαίος Κώδικας

Ο πηγαίος κώδικας της εφαρμογής βρίσκεται στον φάκελο `src` του project. Περιλαμβάνει τα αρχεία:

- `01-nbody.cu`: Ο κύριος κώδικας της εφαρμογής.
- `timer.h`: Βοηθητική βιβλιοθήκη για τη μέτρηση του χρόνου εκτέλεσης.
- `files.h`: Βοηθητική βιβλιοθήκη για την ανάγνωση και εγγραφή αρχείων.

7 Πιστοποιητικό

Παρακάτω παρουσιάζεται το πιστοποιητικό επιτυχημένης ολοκλήρωσης του online course:



Figure 1: Πιστοποιητικό Ολοκλήρωσης