



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών

Υπολογισμός της Ευκλείδειας Απόστασης δύο Τριγωνικών Πλεγμάτων

Διπλωματική Εργασία
Καρελής Παναγιώτης

Επιβλέπων: Πιτσιάνης Νικόλαος
Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ.

9 Σεπτεμβρίου 2022

Περίληψη

Σε μια πληθώρα εφαρμογών της Υπολογιστικής Γεωμετρίας (Μηχανική με τη Βοήθεια Υπολογιστών (CAE), Προσομοιώσεις με Υπολογιστές, Ρομποτική, Γραφική με Υπολογιστές κ.α.) τα αντικείμενα του χώρου αναπαρίστανται συνήθως από πολυγωνικά πλέγματα. Κοινό πρόβλημα για όλους τους παραπάνω τομείς αποτελεί η εύρεση της απόστασης που διαχωρίζει δύο αντικείμενα και η ανίχνευση σύγκρουσης μεταξύ τους. Στην παρούσα εργασία, προτείνουμε αποδοτικούς αλγορίθμους που υπολογίζουν την Ευκλείδεια απόσταση δύο αντικειμένων του τρισδιάστατου χώρου και τους υλοποιούμε για την περίπτωση των τριγωνικών πλεγμάτων. Για τους αλγορίθμους αυτούς σχεδιάζουμε μια δενδρική δομή δεδομένων που ανήκει στην κατηγορία των Ιεραρχιών Οριοθετικών Όγκων (BVH). Η διαδικασία κατασκευής της παραπάνω δομής είναι παρόμοια με αυτή του KD-Tree, με τη διαφορά ότι η δομή μας διαχειρίζεται χωρικά δεδομένα και κάνει χρήση Οριοθετικών Πλαισίων Ευθυγραμμισμένων με τους Άξονες (AABB). Επιπλέον, περιγράφουμε έναν τρόπο διάσχισης της δομής ώστε να υποστηρίξει ερωτήματα κοντινότερου γείτονα για χωρικά δεδομένα. Η διάσχιση της δενδρικής δομής σχεδιάζεται ως μια κατευθυνόμενη αναζήτηση κατά βάθος (DFS), που στοχεύει στη σμίκρυνση του χώρου αναζήτησης μέσω κλαδέματος του δένδρου κατά την οπισθοδρόμηση. Ακόμη, στην υλοποίηση μας παραλληλοποιούμε τη διαδικασία κατασκευής του δένδρου όπως και τη διαδικασία αναζήτησης της ελάχιστης απόστασης κάνοντας χρήση πολλαπλών νημάτων επεξεργασίας. Τέλος, μετράμε και αναλύουμε την επίδοση των αλγορίθμων μας σε μια σειρά από περιπτώσεις ελέγχου που κατασκευάσαμε.

Abstract

In a plethora of fields in Computational Geometry (Computer Aided Engineering, Computer Simulations, Robotics, Computer Graphics etc.) objects in space are represented as polygonal meshes. A common problem, for all the above, is the computation of separation distance and collision detection of two objects. In this thesis, we propose efficient algorithms that compute the Euclidean distance of two objects in 3D space and we implement them for the case of triangle meshes. For these algorithms we design a tree data structure that belongs to the family of Bounding Volume Hierarchies (BVH). The construction procedure of this data structure is similar to the one used by the KD-Tree, but it differs, as our data structure manages spatial data and also uses Axis-Aligned Bounding Boxes (AABB). In addition, we describe a traversal scheme of the data structure in order to answer nearest neighbor queries for spatial data. The traversal of the tree structure is implemented as a directed depth first search (DFS), aiming to reduce the searching space by pruning the tree during backtracking. Furthermore, we parallelize the construction of the data structure as well as the procedure of finding the Euclidean distance, using multithreading. Finally, we measure and analyze the efficiency of our algorithms on a series of test cases we created.

Ευχαριστίες

Άδειο

Υπολογισμός της Ευκλείδειας Απόστασης δύο Τριγωνικών Πλεγμάτων

Παναγιώτης Καρελής
karelisp@ece.auth.gr

9 Σεπτεμβρίου 2022

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	3
1.1	Κίνητρο	3
1.2	Περιγραφή του Προβλήματος	3
1.3	Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας	3
1.4	Διάρθρωση της Διπλωματικής Εργασίας	3
2	Θεωρητικό Υπόβαθρο	4
2.1	Τριγωνικά Πλέγματα	4
2.2	Οριοθετικοί Όγκοι	4
2.2.1	Οριοθετικά Πλαίσια Ευθυγραμμισμένα με τους Άξονες	4
2.3	Ιεραρχίες Οριοθετικών Όγκων	4
2.4	Το Πρόβλημα Εύρεσης του Κοντινότερου Γείτονα	4
3	Σχετική Βιβλιογραφία	5
3.1	Εύρεση Κοντινότερου Σημείου σε ένα Σύνολο Σημείων	5
3.2	Ανίχνευση Σύγκρουσης και Υπολογισμός Απόστασης Πολυγώνων	5
3.3	Απόσταση Σημείου από Πολυγωνικό Πλέγμα	5
3.4	Απόσταση Αντικειμένων που Περιγράφονται από NURBS	5
3.5	Απόσταση Δύο Πολυγωνικών Πλεγμάτων	5
4	Μεθοδολογία	6
4.1	Υπολογισμοί Απόστασης Στοιχειωδών Γεωμετρικών Αντικειμένων	6
4.1.1	Ευκλείδεια Απόσταση δύο Τριγώνων	6
4.1.2	Ευκλείδεια Απόσταση δύο AABB	6
4.2	Αλγόριθμοι Εξαντλητικής Αναζήτησης	6
4.3	Ορισμός Μετρικής Κόστους Αναζήτησης	6
4.4	Σχεδιασμός μιας BVH Δομής Δεδομένων, το spatial KD-Tree	6
4.4.1	Κατασκευή του sKD-Tree	6
4.4.2	Ερωτήματα Κοντινότερου Γείτονα στο sKD-Tree	6
4.5	Αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τη δομή sKD-Tree	6
4.6	Βελτιστοποίηση των Αλγορίθμων για Πραγματικά Συστήματα Υπολογιστών	6
4.6.1	Παραλληλοποίηση με χρήση Πολλαπλών Νημάτων (Multi-threading)	6
4.6.2	Χρήση Κουβάδων στα Φύλλα του sKD-Tree (Buckets)	6
5	Πειράματα και Αποτελέσματα	7
5.1	Σύγκριση Σχετικού Κόστους των Πράξεων μεταξύ Στοιχειωδών Γεωμετρικών Οντοτήτων	7
5.2	Κατασκευή Δεδομένων Ελέγχου	7

5.3	Εκτίμηση της Συνάρτησης Κόστους Αναζήτησης	7
5.4	Χρόνοι Κατασκευής του sKD-Tree	7
5.4.1	Σειριακή Κατασκευή	7
5.4.2	Παράλληλη Κατασκευή	7
5.5	Συνολικός Χρόνος Εκτέλεσης - Σύγκριση Αλγορίθμων	7
5.5.1	Δύο Αεροπλάνα	7
5.5.2	Scooby με Stanford Bunny	7
5.5.3	Δύο Ομοαξονικοί Κύλινδροι	7
5.5.4	Δύο Αεροπλάνα με Ανομοιόμορφο Πλέγμα	7
6	Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία	8
6.1	Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων από τα Πειράματα	8
6.2	Μελλοντική Εργασία	8
A'	Ακρωνύμια και συντομογραφίες	9

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Κίνητρο

1.2 Περιγραφή του Προβλήματος

1.3 Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας

1.4 Διάρθρωση της Διπλωματικής Εργασίας

Στο **Κεφάλαιο 1** έγινε μια εισαγωγή στο πρόβλημα υπολογισμού της απόστασης δύο πλεγμάτων και παρουσιάστηκαν τα κίνητρα που οδήγησαν στην υλοποίηση των αλγορίθμων που θα παρουσιαστούν.

Στο **Κεφάλαιο 2** παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται από τον αναγνώστη ώστε να κατανοήσει πλήρως το πρόβλημα και την προτεινόμενη λύση.

Στο **Κεφάλαιο 3** αναφέρεται η σχετική βιβλιογραφία, δηλαδή πώς αντιμετώπισαν άλλοι ερευνητές το ίδιο ή παρόμοια προβλήματα. Παρουσιάζονται επίσης ομοιότητες και διαφορές των υπολοίπων προσεγγίσεων σε σχέση με τη δική μας.

Στο **Κεφάλαιο 4** αναλύεται η μεθοδολογία που προτείνουμε και παρουσιάζεται η υλοποίηση των αλγορίθμων μας.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρατίθενται τα αποτελέσματα από τα πειράματα που εκτελέσαμε. Οι μετρήσεις των πειραμάτων περιλαμβάνουν την εκτίμηση της συνάρτησης κόστους που ορίζεται στην ενότητα 4.3 καθώς και τους χρόνους εκτέλεσης των αλγορίθμων.

Στο **Κεφάλαιο 6** σχολιάζονται τα αποτελέσματα και παρουσιάζονται σκέψεις για μελλοντική επέκταση και βελτίωση των ιδεών της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Κεφάλαιο 2

Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Τριγωνικά Πλέγματα

2.2 Οριοθετικοί Όγκοι

2.2.1 Οριοθετικά Πλαίσια Ευθυγραμμισμένα με τους Άξονες

2.3 Ιεραρχίες Οριοθετικών Όγκων

2.4 Το Πρόβλημα Εύρεσης του Κοντινότερου Γείτονα

Κεφάλαιο 3

Σχετική Βιβλιογραφία

- 3.1 Εύρεση Κοντινότερου Σημείου σε ένα Σύνολο Σημείων**
- 3.2 Ανίχνευση Σύγκρουσης και Υπολογισμός Απόστασης Πολυγώνων**
- 3.3 Απόσταση Σημείου από Πολυγωνικό Πλέγμα**
- 3.4 Απόσταση Αντικειμένων που Περιγράφονται από NURBS**
- 3.5 Απόσταση Δύο Πολυγωνικών Πλεγμάτων**

Κεφάλαιο 4

Μεθοδολογία

4.1 Υπολογισμοί Απόστασης Στοιχειωδών Γεωμετρικών Αντικειμένων

4.1.1 Ευκλείδεια Απόσταση δύο Τριγώνων

Ευκλείδεια Απόσταση δύο Ευθυγράμμων Τμημάτων

Ευκλείδεια Απόσταση Σημείου και Τριγώνου

4.1.2 Ευκλείδεια Απόσταση δύο AABB

4.2 Αλγόριθμοι Εξαντλητικής Αναζήτησης

4.3 Ορισμός Μετρικής Κόστους Αναζήτησης

4.4 Σχεδιασμός μιας BVH Δομής Δεδομένων, το spatial KD-Tree

4.4.1 Κατασκευή του sKD-Tree

4.4.2 Ερωτήματα Κοντινότερου Γείτονα στο sKD-Tree

4.5 Αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν τη δομή sKD-Tree

4.6 Βελτιστοποίηση των Αλγορίθμων για Πραγματικά Συστήματα Υπολογιστών

4.6.1 Παραλληλοποίηση με χρήση Πολλαπλών Νημάτων (Multithreading)

4.6.2 Χρήση Κουβάδων στα Φύλλα του sKD-Tree (Buckets)

Κεφάλαιο 5

Πειράματα και Αποτελέσματα

5.1 Σύγκριση Σχετικού Κόστους των Πράξεων μεταξύ Στοιχειωδών Γεωμετρικών Οντοτήτων

5.2 Κατασκευή Δεδομένων Ελέγχου

5.3 Εκτίμηση της Συνάρτησης Κόστους Αναζήτησης

5.4 Χρόνοι Κατασκευής του sKD-Tree

5.4.1 Σειριακή Κατασκευή

5.4.2 Παράλληλη Κατασκευή

5.5 Συνολικός Χρόνος Εκτέλεσης - Σύγκριση Αλγορίθμων

5.5.1 Δύο Αεροπλάνα

5.5.2 Scooby με Stanford Bunny

5.5.3 Δύο Ομοαξονικοί Κύλινδροι

5.5.4 Δύο Αεροπλάνα με Ανομοιόμορφο Πλέγμα

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και Μελλοντική Εργασία

6.1 Σχολιασμός των Αποτελεσμάτων από τα Πειράματα

6.2 Μελλοντική Εργασία

Παράρτημα Α΄

Ακρωνύμια και συντομογραφίες

AABB Axis-Aligned Bounding Box

BVH Bounding Volume Hierarchy

CAE Computer Aided Engineering

DFS Depth First Search

Bibliography