

ΑΠΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Όνομα: Σπαθής-Παπαδιώτης Αριστοτέλης
Ημερομηνία: 15/2/2014

Τμήμα: ΗΜ&ΤΥ
Έτος: 5^ο

1 Εισαγωγή του μοντέλου

Το μοντέλο διαβάζεται από αρχείο .obj (models/model.obj) γραμμή προς γραμμή. Σε κάθε γραμμή προστίθεται είτε μία κορυφή είτε μία έδρα στο αντίστοιχο από τα δύο διανύσματα που έχει κάθε μοντέλο. Ακολουθώντας τις πληροφορίες αυτές με αντίστοιχες μεθόδους:

- το μοντέλο μετατοπίζεται ώστε το κέντρο μάζας του να συμπίπτει με την αρχή των αξόνων (`model::center()`)
- υπολογίζονται τα κάθετα διανύσματα των εδρών ως εξωτερικό γινόμενο δύο ακμών της καθεμίας (`model::face_normals()`)
- υπολογίζονται τα κάθετα διανύσματα των κορυφών ως κανονικοποιημένο άθροισμα κάθετων διανυσμάτων των προσκείμενων εδρών (`model::vertex_normals()`)

Για την μεταβολή των ιδιοτήτων υλικού σε κάθε σημείο της επιφάνειας καλείται η συνάρτηση `set_coordinate_material` πριν από την εισαγωγή κάθε κορυφής στη μέθοδο `model::draw`, η οποία υπολογίζει ιδιότητες υλικού με βάση τις συντεταγμένες της κορυφής. Για την απόδοση υψής ακολουθείται παρόμοια λογική εφαρμόζοντας σφαιρική απεικόνιση ενώ η εικόνα εισάγεται με τη συνάρτηση `load_rgb_texture`, η οποία αποθηκεύει στην τρέχουσα εικόνα υψής την υφή που διατίθεται στο φάκελο `textures/texture.rgb`.

2 Έλεγχος και απεικόνιση

Για να απεικονιστεί το μοντέλο με φωτισμό απαιτείται η εισαγωγή των κάθετων διανυσμάτων πριν την εισαγωγή κάθε κορυφής, με την εντολή `glNormal3f`. Για τον χειρισμό του μοντέλου στο χώρο χρησιμοποιείται το ποντίκι, όπου με αριστερό κλικ επιτυγχάνεται περιστροφή του μοντέλου και με την κύλιση της ροδέλας μεταβολή της απόστασης της κάμερας από αυτό. Για την υλοποίηση του ελέγχου δημιουργήθηκε ξεχωριστό αρχείο (`controls.cpp`) στο οποίο ορίζονται οι συναρτήσεις χειρισμού των διαφόρων εισόδων από πληκτρολόγιο και ποντίκι. Το γενικό πρότυπο που ακολουθούν οι μεταβλητές αυτές είναι η ανάθεση τιμών σε μεταβλητές κατάστασης. Οι πληροφορίες των γεωμετρικών μετασχηματισμών μεταφέρονται από το αρχείο αυτό στον κώδικα απεικόνισης μόνο μέσω μιας δομής `rt` η οποία εξάγεται με τη βοήθεια της `extern`, όπως και οι υπόλοιπες μεταβλητές κατάστασης χειρισμού. Η συνάρτηση απεικόνισης εφαρμόζει τους μετασχηματισμούς με τον επιθυμητό τρόπο (περιστροφές μετά από μετατοπίσεις, προκειμένου να μην επηρεάζονται). Επίσης έχει υλοποιηθεί μενού το οποίο ενεργοποιείται με δεξί κλικ και επιτρέπει την απεικόνιση σε μορφή συμπαγή ή ακμών.

Εκτός από το χειρισμό της κάμερας στο χώρο, δίνεται η δυνατότητα ελέγχου από το χρήστη και άλλων παραμέτρων:

- Η εφαρμογή υφής ή όχι με το πλήκτρο **t**. Η διαθέσιμη υφή βρίσκεται σε μορφή αρχείου .rgb, στο οποίο κάθε pixel αναπαρίσταται σαν μια τριάδα από bytes (RGB χρώματα).
- Η επιλογή άποψης (view) του μοντέλου με τον αντίστοιχο αριθμό:
 - **0**: Το μοντέλο όπως περιγράφεται στο .obj αρχείο εισόδου.
 - **1**: Αναπαράσταση των voxels με κύβους
 - **2**: Ανακατασκευασμένο μοντέλο από τον αλγόριθμο marching cubes
 - **3**: Ιστόγραμμα γωνιών του αρχικού μοντέλου
 - **4**: Ιστόγραμμα γωνιών του ανακατασκευασμένου μοντέλου
 - **5**: Αναπαράσταση των voxels με σφαίρες
 - **6**: Προσομοίωση πτώσης των σφαιρών υπό την επίδραση της βαρύτητας
- Επιλογή της ανάλυσης με την οποία γίνεται το voxelization πλήκτρα **i** (increase) και **d** (decrease). Η αύξηση γίνεται κατά βήματα, και νέα voxel models υπολογίζονται όσο η ζητούμενη ανάλυση είναι μεγαλύτερη από την τρέχουσα. Τα μοντέλα που έχουν υπολογιστεί κρατώνται στη μνήμη και υπάρχει δυνατότητα άμεσης επιστροφής σε αυτά. Το τρέχον μοντέλο (ο δείκτης στο διάνυσμα που αποθηκεύεται μαζί με τα υπόλοιπα) καθορίζεται από τη σχέση του βήματος ανάλυσης και της τρέχουσας ζητούμενης ανάλυσης.
- Κατασκευή προσομοίωσης για το τρέχον voxel model ελεύθερης και πραγματικής πτώσης (χωρίς ή με συνυπολογισμό των συγκρούσεων των σφαιρών μεταξύ τους – πλήκτρα **f** και **c** αντίστοιχα).
- Μεταβολή του βήματος απεικονιζόμενου καρέ στην προσομοίωση με τα πλήκτρα **'** και **.'** (ελάττωση και αύξηση κατά 1 αντίστοιχα).

3 Voxelization και Ανακατασκευή

Η κατασκευή του voxel model γίνεται με ανάλυση (voxel resolution) που ορίζεται από το χρήστη. Το AABB του μοντέλου δειγματοληπτείται σε ορθοκανονικό πλέγμα στις 3 διαστάσεις, ώστε να υπάρχουν δείγματα ίσα με την ανάλυση στη μεγαλύτερη διάσταση. Για κάθε voxel εξετάζεται αν βρίσκεται εντός ή εκτός του μοντέλου, μετρώντας τις τομές ημιευθείας με αρχή αυτό και αυθαίρετη διεύθυνση με τις έδρες του μοντέλου (περιττός ή άρτιος αριθμός τομών αντίστοιχα). Για τις την εύρεση τομής τριγώνου-ημιευθείας έχει υλοποιηθεί ο αλγόριθμος Möller-Trumbore (αρχείο intersection.cpp). Για να επιταχυνθεί η διαδικασία, η επανάληψη στις έδρες τοποθετήθηκε στον εξωτερικό των 4 εμφωλευμένων βρόχων (προκειμένου να επιτευχθεί όσο δυνατόν μεγαλύτερη τοπικότητα, δεδομένου ότι η έδρα είναι η μεγαλύτερη δομή εντός του βρόχου). Έτσι, όλα τα voxels είναι αρχικά εξωτερικά του μοντέλου, εξετάζονται με τη σειρά για κάθε έδρα και το bit που καθορίζει την εσωτερική ή εξωτερική θέση ως προς το μοντέλο γίνεται flip με την εύρεση τομής.

Η ανακατασκευή του μοντέλου από τα voxels γίνεται με τον αλγόριθμο marching cubes, ο οποίος σαρώνει τους κύβους του ορθοκανονικού πλέγματος των voxels και δημιουργεί (με βάση ένα lookup table) τις έδρες του ανακατασκευασμένου μοντέλου εντός του τρέχοντος κύβου. Για να είναι συνεπές το μοντέλο, πρέπει κάθε νέα κορυφή να έχει μοναδική αναπαράσταση ώστε έδρες που τυχόν την μοιράζονται να μοιράζονται το ίδιο αντικείμενο και προγραμματιστικά. Αυτό επιτυγχάνεται με την απόδοση ενός καθολικού δείκτη σε κάθε νέα κορυφή (global index) βασισμένου στα γειτονικά της voxels. Τελικά γίνεται συμπίεση (compact) του μοντέλου προκειμένου στην τελική αναπαράσταση να υπάρχουν μόνο οι κορυφές που όντως χρησιμοποιούνται.

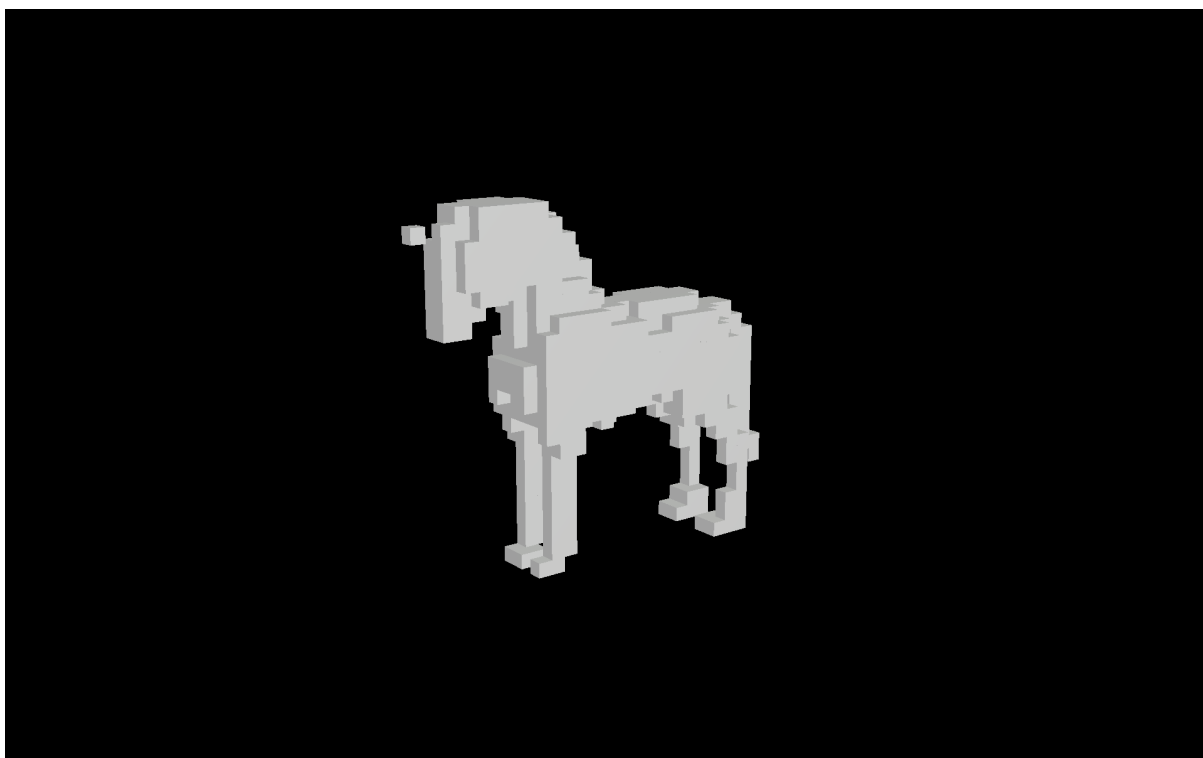
Η απόσταση του ανακατασκευασμένου μοντέλου από το αρχικό ορίζεται ως η μέση τιμή της απόστασης κάθε κορυφής του αρχικού μοντέλου από την εγγύτερη κορυφή του ανακατασκευασμένου. Το μέτρο αυτό επελέχθη καθώς δεν είναι ευαίσθητο στον αριθμό των κορυφών του ανακατασκευασμένου μοντέλου και δίνει μια συνολική εικόνα (δεν επικεντρώνεται σε συγκεκριμένα σημεία). Σε διάφορα δοκιμαστικά μοντέλα παρατηρήθηκε η τάση η απόσταση να ελαττώνεται ολόένα και λιγότερο σε κάθε βήμα αύξησης της ανάλυσης των voxels. Επίσης κατασκευάστηκε το ιστόγραμμα γωνιών των εδρών τόσο του αρχικού όσο και του ανακατασκευασμένου μοντέλου, όπου γίνεται σαφής η κανονικότητα των εδρών του δεύτερου.

4 Προσομοίωση σφαιρών

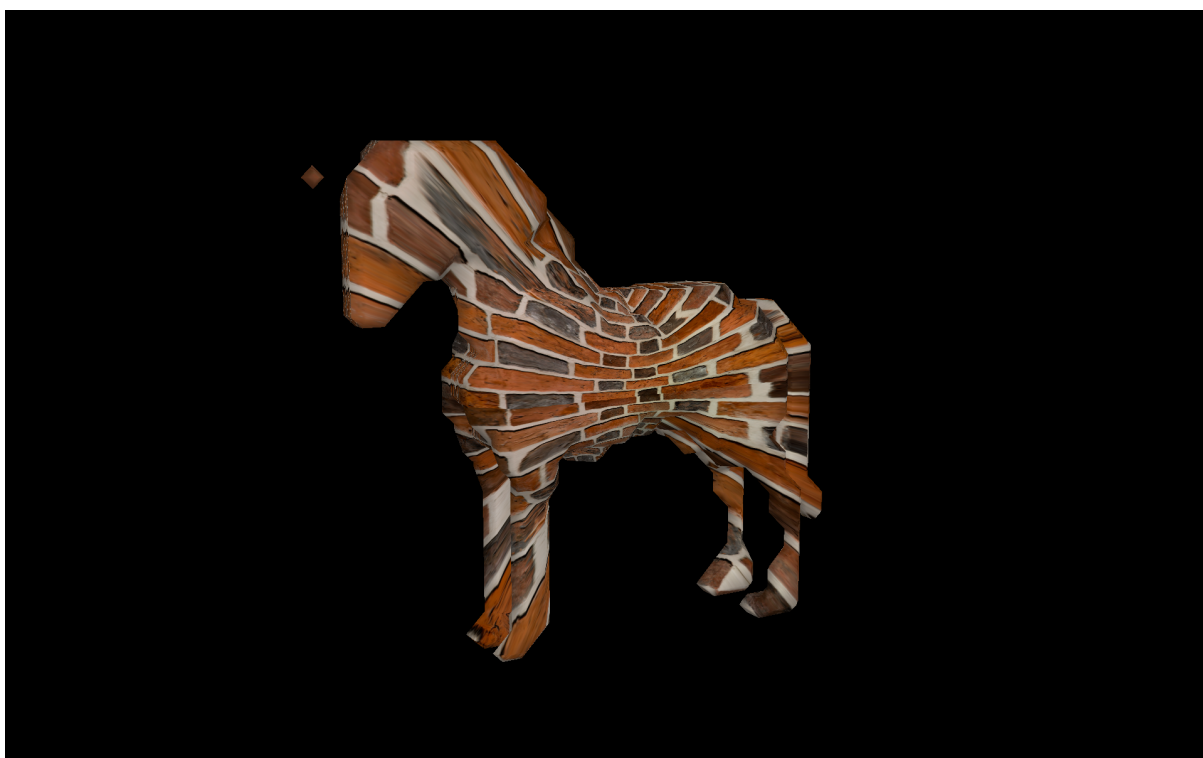
Η προσομοίωση της πτώσης των σφαιρών γίνεται offline μετά από κατασκευή-επιλογή ενός voxel model και εντολή του χρήστη. Δημιουργείται δάπεδο σε επίπεδο παράλληλο του xz , λίγο χαμηλότερα (10%) από το AABB. Για λόγους αριθμητικούς, η επιτάχυνση της βαρύτητας τίθεται $g = (0, -1, 0)$ και το dt ορίζεται τέτοιο ώστε δύο σφαίρες που κινούνται προς μετωπική σύγκρουση, καθεμία με την ταχύτητα που αποκτά μετά από ελεύθερη πτώση από το υψηλότερο σημείο του μοντέλου στο δάπεδο να μην μπορούν να εισέλθουν η μία στην άλλη πέρα από την ακτίνα τους. Το συνολικό ύψος h διανύεται σε χρόνο t σύμφωνα με τη σχέση $h = \frac{1}{2}gt^2$ για την ελεύθερη πτώση. Στο χρόνο αυτό η ταχύτητα έχει φτάσει $v = gt$, συνεπώς ισχύει $v^2 = 2gh$. Για να μην αλληλοεισχωρήσουν οι σφαίρες πάνω από την ακτίνα R , θα πρέπει

$$v \leq \frac{R}{2dt} \Rightarrow dt \leq \frac{R}{2\sqrt{2gh}}$$

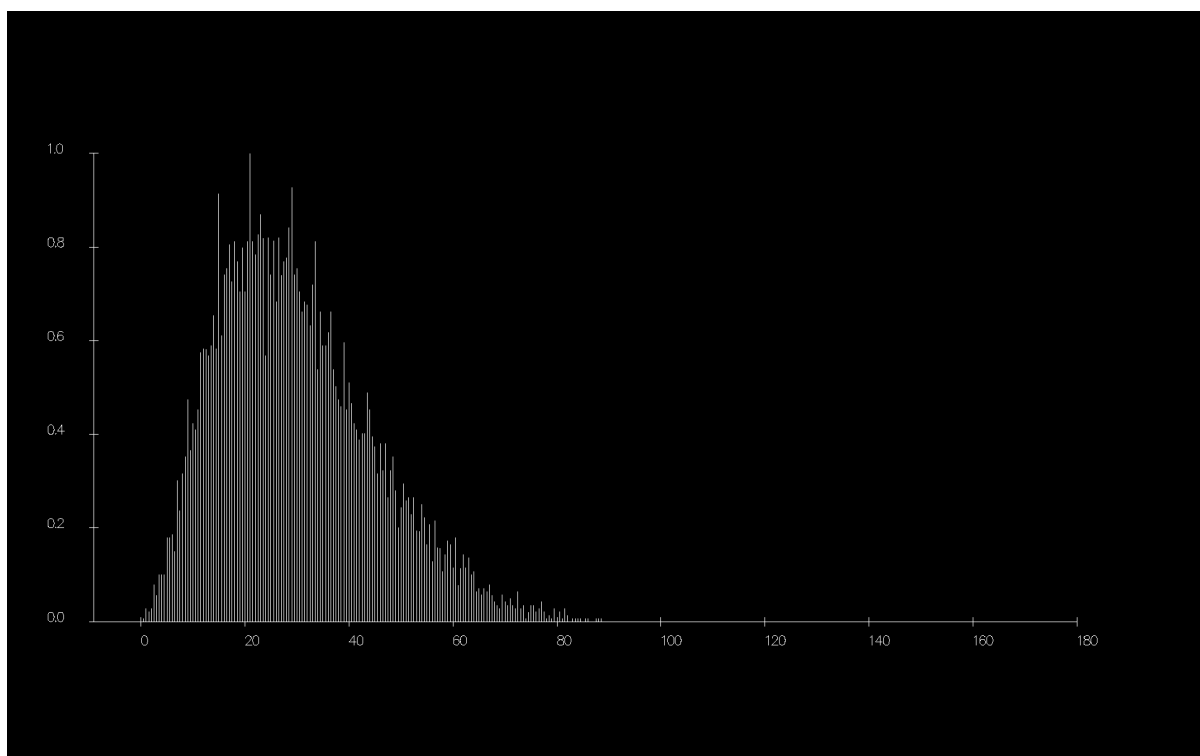
Το σύστημα ελέγχεται για συγκρούσεις μετά την παρέλευση κάθε dt (σύγκρουση ανιχνεύεται αν η απόσταση των κέντρων 2 σφαιρών είναι μικρότερη της διαμέτρου τους). Σε περίπτωση σύγκρουσης, εφαρμόζεται η αρχή διατήρησης της ορμής: οι σφαίρες ανταλλάσσουν (έχοντας ίσες μάζες) τις συνιστώσες των ταχυτήτων τους που είναι παράλληλες στον άξονα που συνδέει τα κέντρα τους, ενώ οι κάθετες συνιστώσες παραμένουν ως έχουν. Κατά μήκος του άξονα σύγκρουσης γίνεται και διόρθωση θέσης των σφαιρών (σε περίπτωση που έχουν αλληλοεισχωρήσει), ώστε αμέσως μετά τη σύγκρουση να βρίσκονται μόλις σε επαφή.



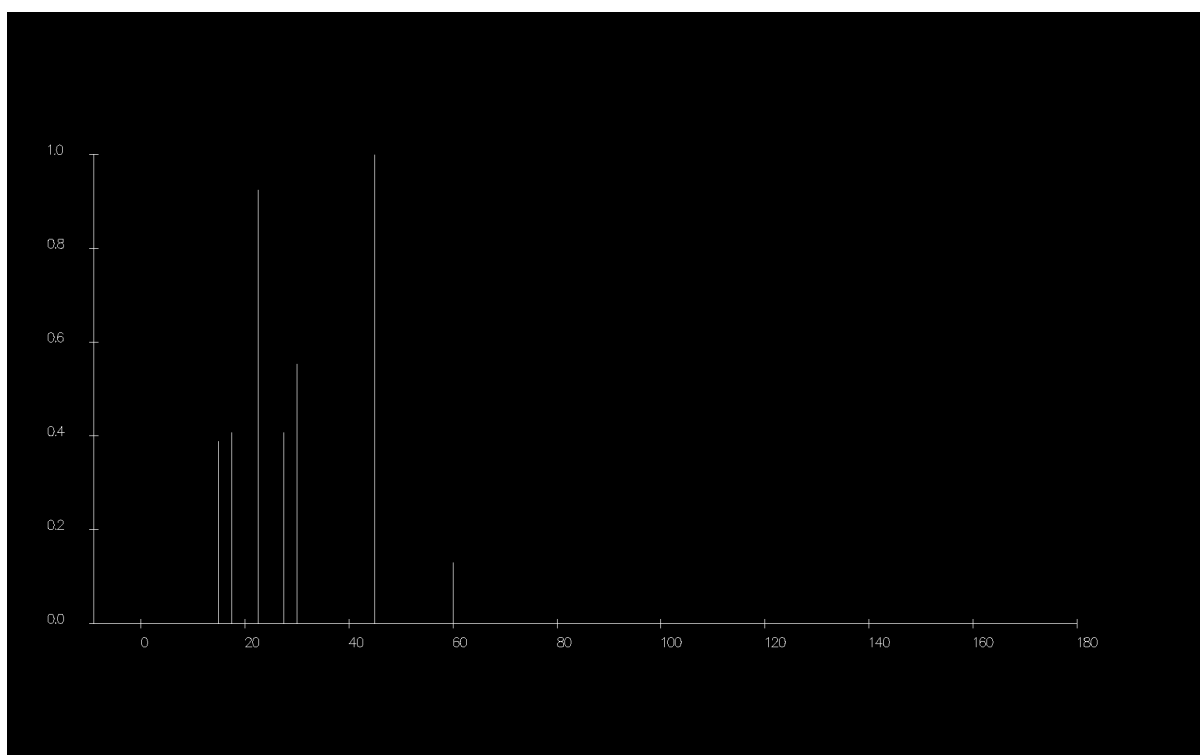
Εικόνα 1:
Voxel model σε μορφή κύβων.



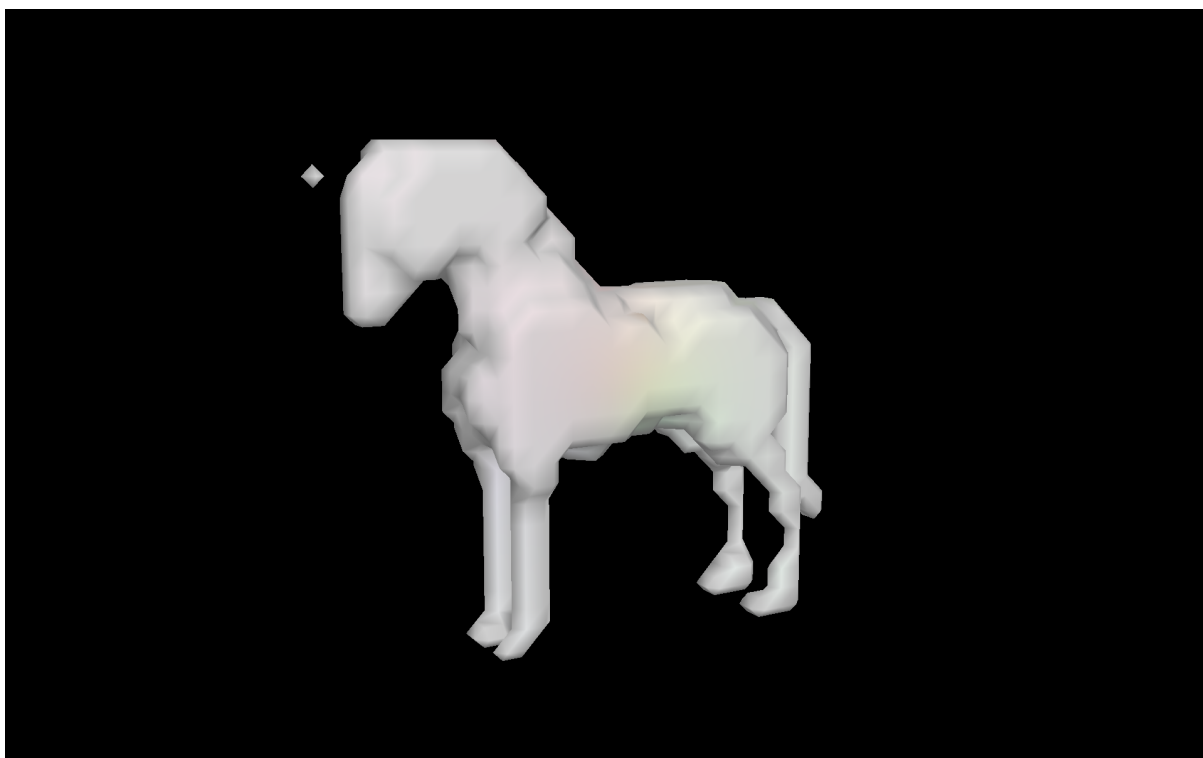
Εικόνα 2:
Εφαρμογή υψής σε ανακατασκευασμένο μοντέλο.



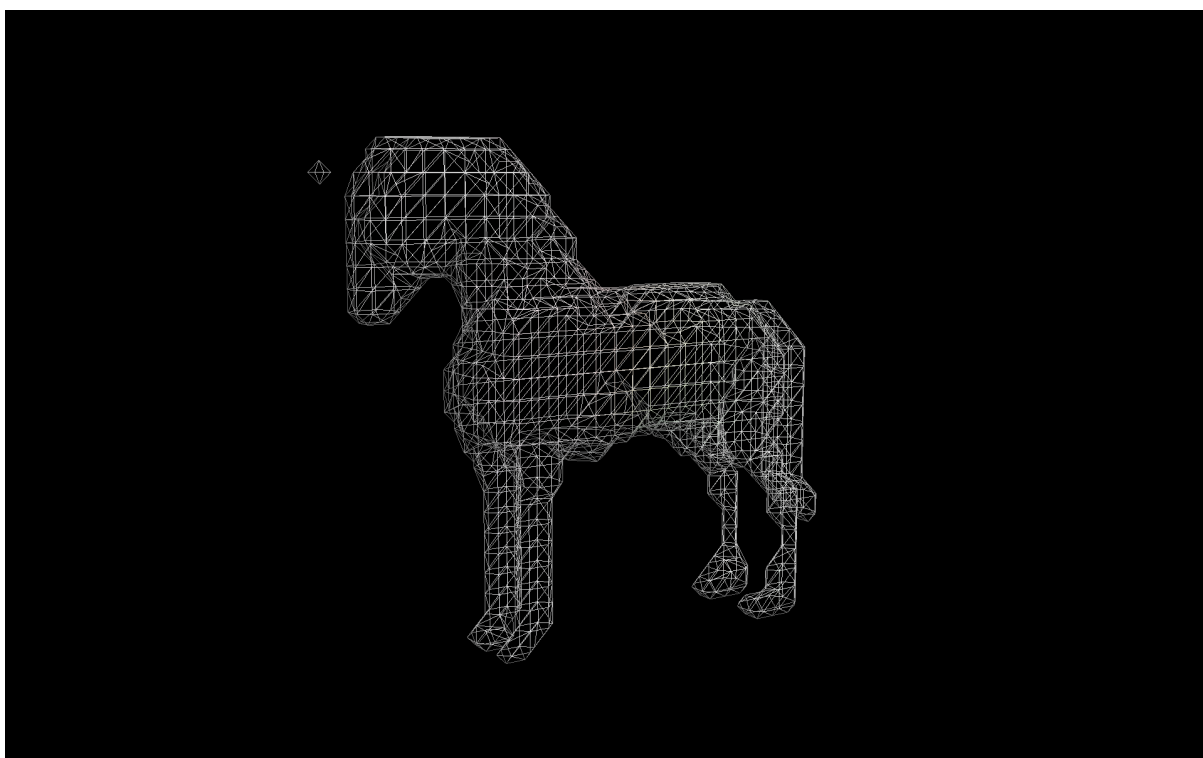
Εικόνα 3:
Ιστόγραμμα γωνιών αρχικού μοντέλου.



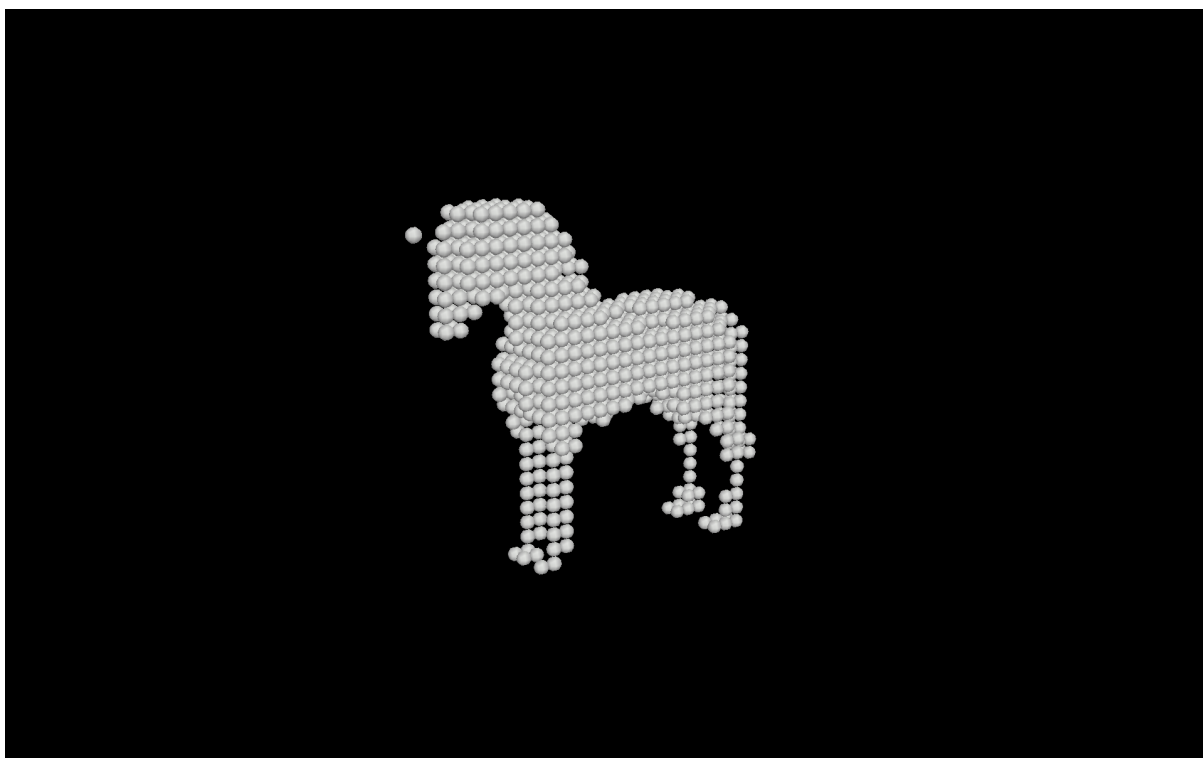
Εικόνα 4:
Ιστόγραμμα γωνιών ανακατασκευασμένου μοντέλου.



Εικόνα 5:
Ανακατασκευασμένο μοντέλο.



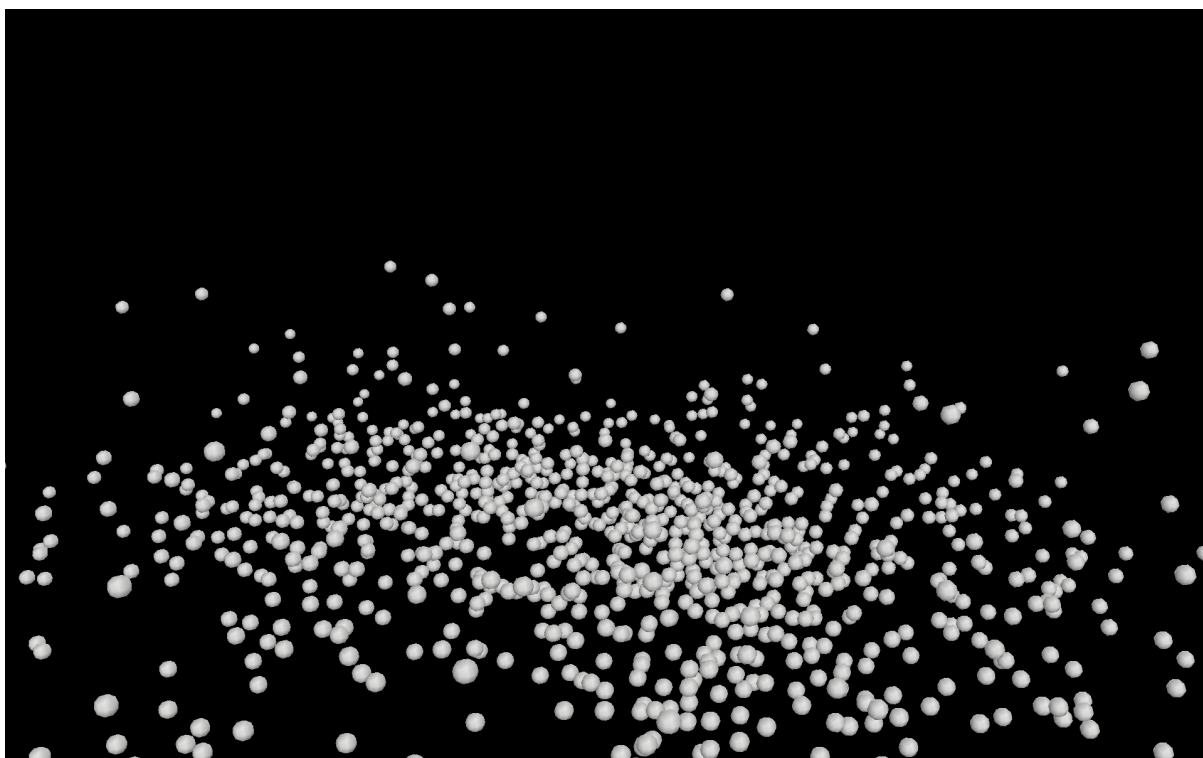
Εικόνα 6:
Ανακατασκευασμένο μοντέλο σε wireframe μορφή.



Εικόνα 7:
Προσομοίωση συγκρούσεων 1.



Εικόνα 8:
Προσομοίωση συγκρούσεων 2.



Εικόνα 9:
Προσομοίωση συγκρούσεων 3.