



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Γραφική με Υπολογιστές 2023
Εργασία 3: Θέαση

Γαλάνη Δήμητρα
ΑΕΜ 10331

Μάθημα: Γραφική με Υπολογιστές
Διδάσκων: Ντελόπουλος Αναστάσιος
Καθηγητής Α.Π.Θ.

10 Ιουλίου 2024

Περιεχόμενα

1	A. Φωτισμός και Υλικό επιφάνειας	2
1.1	Συνάρτηση light	2
2	B. Shading	3
2.1	Συνάρτηση calculate_normals	3
2.2	Συνάρτηση render_object	3
2.3	Συνάρτηση shade_gouraud	4
2.4	Συνάρτηση shade_phong	4
3	Αποτελέσματα που παράγονται από το demo	6
3.1	Gouraud Shading	6
3.2	Phong Shading	8
4	Texture map	11
4.1	bilerp	11
4.2	render_object_map	11

1 Α. Φωτισμός και Υλικό επιφάνειας

1.1 Συνάρτηση light

Η συνάρτηση αυτή υπολογίζει τον φωτισμό ενός σημείου point, το οποίο ανήκει σε μια επιφάνεια τύπου Phong. Στον υπολογισμό συμπεριλαμβάνεται ο διάχυτος φωτισμός από το περιβάλλον, η διάχυτη ανάκλαση αλλά και η κατοπτρική ανάκλαση σύμφωνα με τους αντίστοιχους συντελεστές που περνάνε σαν ορίσματα. Εάν ο χρήστης επιθυμεί να υπολογίσει τον φωτισμό χωρίς κάποια από αυτές τις συνιστώσες πρέπει να μηδενίσει το αντίστοιχο όρισμα. Η συνάρτηση έχει ορίσματα:

- **point**: διάνυσμα 1×3 , με τις συντεταγμένες του σημείου της επιφάνειας στο οποίο υπολογίζεται ο φωτισμός.
- **normal**: διάνυσμα 1×3 , με το κανονικό διάνυσμα της επιφάνειας στο σημείο point.
- **color**: διάνυσμα 1×3 , με τις RGB τιμές χρώματος του σημείου point.
- **cam_pos**: διάνυσμα 1×3 , με τις συντεταγμένες της κάμερας.
- **k_a**: συντελεστής διάχυτου φωτός.
- **k_d**: συντελεστής διάχυτης ανάκλασης.
- **k_s**: συντελεστής κατοπτρικής ανάκλασης.
- **n**: σταθερά Phong.
- **I_pos**: πίνακας $N \times 3$ με τις θέσεις των σημειακών πηγών φωτισμού.
- **I_int**: πίνακας $N \times 3$ με τις εντάσεις των σημειακών πηγών φωτισμού.

Για κάθε συνιστώσα, ο φωτισμός υπολογίζεται από τους εξής τύπους:

1. διάχυτος φωτισμός:

$$I_\alpha = I_{\alpha\lambda} \cdot k_\alpha \quad (1)$$

με k_α τον συντελεστή ανάκλασης διάχυτου φωτισμού και $I_{\alpha\lambda}$ την ένταση του διάχυτου φωτισμού.

2. διάχυτη ανάκλαση:

$$I_d = I_{p\lambda} \cdot k_{d\lambda}(\hat{N} \cdot \hat{L}) \quad (2)$$

με $k_{d\lambda}$ τον συντελεστή διάχυτης ανάκλασης, $I_{p\lambda}$ την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μήκους κύματος λ , \hat{N} το κάθετο μοναδιαίο διάνυσμα προς την επιφάνεια και \hat{L} το μοναδιαίο διάνυσμα που δείχνει προς την κατεύθυνση της πηγής φωτισμού.

3. κατοπτρική ανάκλαση:

$$I_s = I_{p\lambda} \cdot k_{s\lambda}((2 \cdot \hat{N}(\hat{N} \cdot \hat{L}) - \hat{L}) \cdot \hat{V})^n \quad (3)$$

με $k_{s\lambda}$ τον συντελεστή κατοπτρικής ανάκλασης, $I_{p\lambda}$ την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μήκους κύματος λ , n τον συντελεστή Phong, \hat{N} το κάθετο μοναδιαίο διάνυσμα προς την επιφάνεια, \hat{L} το μοναδιαίο διάνυσμα που δείχνει προς την κατεύθυνση της πηγής φωτισμού και \hat{V} το μοναδιαίο διάνυσμα που δείχνει προς την κατεύθυνση της κάμερας.

Το άθροισμα των τριών αυτών εντάσεων, εκφράζει την τριχρωματική ακτινοβολία και επομένως θα είναι το χρώμα του εκάστοτε pixel. Οι εντάσεις για την διάχυτη ανάκλαση και την κατοπτρική ανάκλαση υπολογίζονται για κάθε πηγή φωτισμού, καθώς επίσης συμπεριλαμβάνουν και το χρώμα της επιφάνειας, ενώ η ένταση λόγω διάχυτου φωτισμού του περιβάλλοντος είναι μοναδική.

2 B. Shading

2.1 Συνάρτηση `calculate_normals`

Η συνάρτηση υπολογίζει τα κάθετα διανύσματα για κάθε κορυφή ενός τριγώνου. Υπολογίζονται δύο πλευρές ενός τριγώνου και το κάθετο διάνυσμα θα είναι κάθετο στις πλευρές αυτές άρα χρησιμοποιείται το εξωτερικό γινόμενο. Η συνάρτηση έχει ορίσματα:

- **verts:** πίνακας $3 \times N_v$ με τις συντεταγμένες των κορυφών του αντικειμένου.
- **faces:** πίνακας $3 \times N_T$ στον οποίο κάθε στήλη περιέχει τους δείκτες που αντιστοιχούν στις τρεις κορυφές ενός τριγώνου.

Και επιστρέφει έναν πίνακα $3 \times N_v$ με τα μοναδιαία κάθετα διανύσματα κάθε κορυφής.

2.2 Συνάρτηση `render_object`

Η συνάρτηση αυτή δημιουργεί την έγχρωμη φωτογραφία ενός τρισδιάστατου αντικειμένου συμπεριλαμβάνοντας και τον φωτισμό. Αρχικά υπολογίζονται τα κανονικά διανύσματα των κορυφών με την χρήση της συνάρτησης `calculate_normals`. Στην συνέχεια προβάλλει τις κορυφές των τριγώνων στο πέτασμα της κάμερας χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις που υλοποιήθηκαν στο δεύτερο παραδοτέο. Και τέλος καλεί την κατάλληλη συνάρτηση πλήρωσης ανάλογα με την τιμή της μεταβλητής `shader` για τον χρωματισμό των τριγώνων. Η διαδικασία της πλήρωσης ξεκινά με τα τρίγωνα που έχουν μεγαλύτερο βάθος, οπότε υπολογίζεται πρώτα βάθος των τριγώνων. Διευκρινίζεται ότι τα διανύσματα V και L των μοντέλων φωτισμού υπολογίζονται με βάση το κέντρο βάρους του τριγώνου πριν την προβολή του. Οπότε για κάθε τρίγωνο υπολογίζεται το κέντρο βάρους του το οποίο περνάει σαν όρισμα στις συναρτήσεις πλήρωσης. Η συνάρτηση έχει ορίσματα:

- **shader:** string που περιέχει είτε το "gouraud" είτε "phong" και ορίζει τον τρόπο πλήρωσης των τριγώνων.
- **focal:** η απόσταση του πετάσματος της κάμερας από το κέντρο της.
- **eye:** διάνυσμα 3×1 με τις συντεταγμένες του κέντρου της κάμερας.
- **lookat:** διάνυσμα 3×1 με τις συντεταγμένες του σημείου στόχου της κάμερας.
- **up:** 3×1 το μοναδιαίο up διάνυσμα της κάμερας.
- **bg_color:** διάνυσμα 3×1 με τις RGB συνιστώσες του χρώματος του φόντου.
- **M,N:** $M \times N$ οι διαστάσεις της παραγόμενης εικόνας σε pixel.
- **H,W:** οι φυσικές διαστάσεις του πετάσματος της κάμερας.
- **verts:** πίνακας $3 \times N_v$ με τις συντεταγμένες των κορυφών του αντικειμένου.
- **verts_colors:** πίνακας $3 \times N_v$ με τις RGB χρωματικές συνιστώσες των κορυφών του αντικειμένου.
- **faces:** πίνακας $3 \times N_T$ στον οποίο κάθε στήλη περιέχει τους δείκτες που αντιστοιχούν στις τρεις κορυφές ενός τριγώνου.
- **k_a:** συντελεστής διάχυτου φωτός από το περιβάλλον.
- **k_d:** συντελεστής διάχυτης ανάκλασης.
- **k_s:** συντελεστής κατοπτρικής ανάκλασης.
- **n:** σταθερά Phong.
- **l_pos:** πίνακας $N \times 3$ με τις θέσεις των σημειακών πηγών φωτισμού.
- **l_int:** πίνακας $N \times 3$ με τις εντάσεις των σημειακών πηγών φωτισμού.

- **light_amb:** διάνυσμα 3×1 με την τριχρωματική ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας του περιβάλλοντος.

και επιστρέφει μια εικόνα δηλαδή έναν πίνακα $M \times N \times 3$.

2.3 Συνάρτηση shade_gouraud

Η συνάρτηση αυτή προσδιορίζει τα χρώματα των κορυφών του τριγώνου με βάση το πλήρες μοντέλο φωτισμού και στην συνέχεια καλεί την συνάρτηση gouraud_shading που έχει υλοποιηθεί στο πρώτο παραδοτέο, προκειμένου να χρωματίσει χρησιμοποιώντας γραμμική παρεμβολή την εύρεση του χρώματος των εσωτερικών σημείων των τριγώνων. Για τον υπολογισμό του φωτισμού καλείται η συνάρτηση light. Τα διανύσματα \hat{V} , \hat{R} και \hat{L} υπολογίζονται στο βαρύκεντρο του τριγώνου όπως διευκρινίζεται από την εκφώνηση και θεωρούνται ίδια για όλα τα σημεία του τριγώνου. Οπότε η συνάρτηση light καλείται με πρώτο όρισμα το σημείο αυτό για όλες τις κορυφές του τριγώνου. Η συνάρτηση shade_gouraud έχει ορίσματα:

- **verts_p:** πίνακας 3×2 με τις δισδιάστατες συντεταγμένες των τριών κορυφών του τριγώνου.
- **verts_n:** πίνακας 3×3 με τα κανονικά διανύσματα των τριών κορυφών του τριγώνου. Κάθε στήλη περιέχει ένα κανονικό διάνυσμα.
- **verts_c:** πίνακας 3×3 με τις RGB χρωματικές συνιστώσες κάθε κορυφής του τριγώνου. Κάθε στήλη περιέχει το χρώμα για μια κορυφή.
- **bcoords:** πίνακας 3×1 με τις τρισδιάστατες συντεταγμένες του κέντρου βάρους του τριγώνου πριν την προβολή του.
- **cam_pos:** πίνακας 3×1 με την θέση της κάμερας.
- **k_a:** συντελεστής διάχυτου φωτός.
- **k_d:** συντελεστής διάχυτης ανάκλασης.
- **k_s:** συντελεστής κατοπτρικής ανάκλασης.
- **n:** σταθερά Phong.
- **l_pos:** πίνακας $N \times 3$ με τις θέσεις των σημειακών πηγών φωτισμού.
- **l_int:** πίνακας $N \times 3$ με τις εντάσεις των σημειακών πηγών φωτισμού.
- **l_amb:** διάνυσμα 3×1 με την τριχρωματική ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας του περιβάλλοντος. Εφόσον η ένταση του διάχυτου φωτισμού εξαρτάται μόνο από την ένταση αυτή και τον συντελεστή διάχυτου φωτός πολλαπλασιάζεται σε αυτήν την φάση με τον συντελεστή k_a προκειμένου να υπολογιστεί η ένταση του διάχυτου φωτισμού από το περιβάλλον καθώς στην συνάρτηση light δεν υπάρχει ξεχωριστό όρισμα για την μεταβλητή αυτή.
- **X:** πίνακας $M \times N \times 3$ με τα ήδη προϋπάρχοντα χρωματισμένα τρίγωνα.

και επιστρέφει την εικόνα με το νέο χρωματισμένο τρίγωνο κατά Gouraud δηλαδή έναν πίνακα $M \times N \times 3$.

2.4 Συνάρτηση shade_phong

Η συνάρτηση αυτή αποτελεί μια τροποποίηση της συνάρτησης gouraud_shading. Στην συνάρτηση αυτή πραγματοποιείται γραμμική παρεμβολή τόσο στα χρώματα των κορυφών όσο και στα κανονικά διανύσματα. Αρχικά κάνει γραμμική παρεμβολή για να υπολογίσει το χρώμα και το κανονικό διάνυσμα των ενεργών πλευρών με βάση τις τιμές των κορυφών και στην συνέχεια για τα εσωτερικά σημεία πραγματοποιείται γραμμική παρεμβολή κατά μήκος του άξονα x δηλαδή στο scan line, για τα κανονικά διανύσματα και τα χρώματα που υπολογίστηκαν προηγουμένως. Τέλος το χρώμα του κάθε pixel υπολογίζεται

ται με την συνάρτηση `light` προκειμένου να συμπεριληφθεί το πλήρες μοντέλο φωτισμού. Η συνάρτηση `shade_phong` έχει τα ίδια ορίσματα με την προηγούμενη συνάρτηση `shade_gouraud`, δηλαδή τα:

- **verts_p**: πίνακας 3×2 με τις δισδιάστατες συντεταγμένες των τριών κορυφών του τριγώνου.
- **verts_n**: πίνακας 3×3 με τα κανονικά διανύσματα των τριών κορυφών του τριγώνου. Κάθε στήλη περιέχει ένα κανονικό διάνυσμα.
- **verts_c**: πίνακας 3×3 με τις RGB χρωματικές συνιστώσες κάθε κορυφής του τριγώνου. Κάθε στήλη περιέχει το χρώμα για μια κορυφή.
- **bcoords**: πίνακας 3×1 με τις τρισδιάστατες συντεταγμένες του κέντρου βάρους του τριγώνου πριν την προβολή του.
- **cam_pos**: πίνακας 3×1 με την θέση της κάμερας.
- **k_a**: συντελεστής διάχυτου φωτός.
- **k_d**: συντελεστής διάχυτης ανάκλασης.
- **k_s**: συντελεστής κατοπτρικής ανάκλασης.
- **n**: σταθερά Phong.
- **l_pos**: πίνακας $N \times 3$ με τις θέσεις των σημειακών πηγών φωτισμού.
- **l_int**: πίνακας $N \times 3$ με τις εντάσεις των σημειακών πηγών φωτισμού.
- **l_amb**: διάνυσμα 3×1 με την τριχρωματική ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας του περιβάλλοντος. Εφόσον η ένταση του διάχυτου φωτισμού εξαρτάται μόνο από την ένταση αυτή και τον συντελεστή διάχυτου φωτός πολλαπλασιάζεται σε αυτήν την φάση με τον συντελεστή k_a προκειμένου να υπολογιστεί η ένταση του διάχυτου φωτισμού από το περιβάλλον καθώς στην συνάρτηση `light` δεν υπάρχει ξεχωριστό όρισμα για την μεταβλητή αυτή.
- **X**: πίνακας $M \times N \times 3$ με τα ήδη προϋπάρχοντα χρωματισμένα τρίγωνα.

και επιστρέφει την εικόνα με το νέο χρωματισμένο τρίγωνο κατά Phong δηλαδή έναν πίνακα $M \times N \times 3$.

3 Αποτελέσματα που παράγονται από το demo

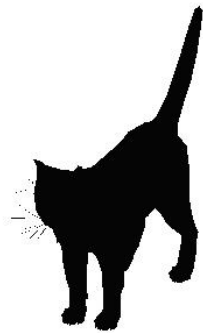
Το demo δεν απαιτεί εξωτερικά ορίσματα για να τρέξει. Για να κληθεί αρκεί να το τρέξουμε σε ένα command line ή να το τρέξουμε με όποιον άλλο τρόπο θέλουμε, π.χ.

```
python demo.py
```

Στο demo αρχικά φορτώνονται τα δεδομένα από το αρχείο h3.npy και αφότου αντιστοιχηθούν με τους κατάλληλους πίνακες-ορίσματα της συνάρτησης `render_object` καλούμε την συνάρτηση αυτή. Θεωρούμε ότι τα χρώματα των κορυφών από το αρχείο που μας δίνεται βρίσκεται σε μορφή RGB. Η εικόνα αποθηκεύεται χρησιμοποιώντας την εντολή `plt.imsave` της βιβλιοθήκης `matplotlib.pyplot`. Το κάτω αριστερό άκρο της εικόνας είναι το σημείο $(0, 0)$.

3.1 Gouraud Shading

Για τον κάθε χρωματισμό παράγονται αρχικά τέσσερις φωτογραφίες. Τρεις που χρησιμοποιούν μόνο τον έναν από τους τρεις φωτισμούς κάθε φορά (ambient, diffusion και specular) και μία φωτογραφία που συμπεριλαμβάνει και τους τρεις φωτισμούς. Προκειμένου οι πρώτες τέσσερις φωτογραφίες να παραχθούν με την τεχνική του Gouraud στο όρισμα `shader` της συνάρτησης `render`, δηλαδή στο πρώτο όρισμα, δίνεται η τιμή "gouraud". Όσον αφορά τους φωτισμούς προκειμένου να συμπεριληφθεί μόνο ένα είδος φωτισμού πρέπει να μηδενιστούν οι άλλοι συντελεστές. Δηλαδή για τον ambient φωτισμό οι συντελεστές που θα περαστούν στην συνάρτηση θα έχουν την εξής μορφή $(ka, kd, ks) = (ka, 0, 0)$. Για τον diffusion φωτισμό $(ka, kd, ks) = (0, kd, 0)$, ενώ για τον specular φωτισμό $(ka, kd, ks) = (0, 0, ks)$. Τέλος, για να συμπεριληφθούν όλοι οι φωτισμοί δεν μηδενίζεται κανένας συντελεστής. Οι φωτογραφίες που παράγονται είναι οι εξής:



Σχήμα 1: Φωτισμός ambient



Σχήμα 2: Diffusion reflection



Σχήμα 3: Specular reflexion



Σχήμα 4: Όλοι οι φωτισμοί μαζί

Στην συνέχεια ζητούνται οι φωτογραφίες για κάθε κάθε σημειακή πηγή φωτισμού. Οπότε σαν όρισμα κάθε φορά περνιέται μόνο μία πηγή και μία ένταση. Στην λεζάντα κάθε εικόνας αναγράφεται η θέση και η ένταση της κάθε πηγής.



Σχήμα 5: Φωτογραφία με μόνο την πρώτη σημειακή πηγή φωτισμού. Θέση πηγής: $(0, 0, 5)$ και ένταση πηγής: $(1, 1, 1)$.



Σχήμα 6: Φωτογραφία με μόνο την πρώτη σημειακή πηγή φωτισμού. Θέση πηγής: $(-7, 0, 0)$ και ένταση πηγής: $(1, 0, 0)$.



Σχήμα 7: Φωτογραφία με μόνο την πρώτη σημειακή πηγή φωτισμού. Θέση πηγής: $(0, 5, 0)$ και ένταση πηγής: $(0.937, 0.753, 0.492)$.



Σχήμα 8: Φωτογραφία που συμπεριλαμβάνει όλες τις σημειακές πηγές.

Στις φωτογραφίες φαίνεται ότι το αντικείμενο φωτίζεται σωστά στο μέρος που θα έπρεπε με βάση την θέση της πηγής. Ωστόσο δεν φαίνεται να απεικονίζεται το χρώμα κάθε πηγής, οπότε μπορεί να έχει γίνει κάποιο λάθος σε κάποια συνάρτηση. Για παράδειγμα η δεύτερη πηγή φωτισμού βγάζει βγάζει κόκκινο φως. Όμως στην φωτογραφία συνολικού φωτισμού φαίνονται όλα τα χρώματα των πηγών φωτισμού. Το ίδιο θα παρατηρηθεί παρακάτω κατά τον χρωματισμό Phong.

3.2 Phong Shading

Με παρόμοια λογική παράγονται και για οι τέσσερις φωτογραφίες με την τεχνική χρωματισμού Phong. Το όρισμα `shader` παίρνει σε αυτήν την περίπτωση την τιμή "phong". Και για τους μεμονωμένους φωτισμούς ισχύουν τα ίδια. Οι φωτογραφίες που παράγονται είναι οι εξής:



Σχήμα 9: Φωτισμός ambient



Σχήμα 10: Diffusion reflection



Σχήμα 11: Specular reflexion



Σχήμα 12: Όλοι οι φωτισμοί μαζί

Στην συνέχεια παρατίθενται και οι φωτογραφίες που έχουν μόνο μια πηγή φωτισμού κάθε φορά, οι οποίες αυτήν την φορά χρωματίζονται με την τεχνική χρωματισμού Phong.



Σχήμα 13: Φωτογραφία με μόνο την πρώτη σημειακή πηγή φωτισμού. Θέση πηγής: $(0, 0, 5)$ και ένταση πηγής: $(1, 1, 1)$.



Σχήμα 14: Φωτογραφία με μόνο την πρώτη σημειακή πηγή φωτισμού. Θέση πηγής: $(-7, 0, 0)$ και ένταση πηγής: $(1, 0, 0)$.



Σχήμα 15: Φωτογραφία με μόνο την πρώτη σημειακή πηγή φωτισμού. Θέση πηγής: $(0, 5, 0)$ και ένταση πηγής: $(0.937, 0.753, 0.492)$.



Σχήμα 16: Φωτογραφία που συμπεριλαμβάνει όλες τις σημειακές πηγές.

Παρατηρείται ότι δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στους δύο shaders. Στις φωτογραφίες με Phong shading με πολλή παρατήρηση μπορεί να διακριθεί ότι σε ορισμένα σημεία οι μεταβάσεις των χρωμάτων γίνονται πιο smooth μεταξύ των ανοιχτών και των σκούρων χρωμάτων. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι η τεχνική Phong καθώς υπολογίζει και την γραμμική παρεμβολή των κανονικών διανυσμάτων σε κάθε pixel είναι πιο χρονοβόρα. Τέλος, οι σκιές που προκαλούνται σύμφωνα με τους φωτισμούς φαίνονται ρεαλιστικές σε όλες τις περιπτώσεις.

4 Texture map

Σαν δεδομένο σε αυτό το έξτρα παραδοτέο υπάρχει μια εικόνα που απεικονίζει το χρώμα της υφής του αντικειμένου και λειτουργεί σαν texture map. Για αυτό το παραδοτέο έχουν δημιουργηθεί δύο επιπλέον αρχεία. Ένα αρχείο με το όνομα tmap.py. Στο αρχείο αυτό υλοποιούνται οι συναρτήσεις bilerp και render_object_map η οποία αποτελεί τροποποίηση της render_object.

4.1 bilerp

Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιεί δι-γραμμική παρεμβολή, δηλαδή παρεμβολή και στον άξονα x και στον άξονα y, για να υπολογίσει το χρώμα ενός δοθέντος σημείου και έχει ορίσματα:

- **uv:** διάνυσμα 1×2 με τις uv συντεταγμένες του σημείου.
- **texture_map:** πίνακας $M \times N \times 3$ η εικόνα texture_map που έχει την μορφή πίνακα.

Αρχικά υπολογίζεται το pixel που αντιστοιχεί στις συντεταγμένες του σημείου εισόδου καθώς και τα υπόλοιπα γειτονικά pixel. Εάν το pixel του σημείου έχει συντεταγμένες (x_0, y_0) , υπολογίζονται οι συντεταγμένες $(x_1, y_1) = (x_0 + 1, y_0 + 1)$ και υπολογίζονται οι τιμές χρώματος των τεσσάρων pixel που έχουν συντεταγμένες τα πιθανά ζεύγη των (x_i, y_j) . Δηλαδή τα σημεία είναι τα εξής:

1. pixel του σημείου: (x_0, y_0)
2. δεξιά pixel: (x_1, y_0)
3. πάνω pixel: (x_0, y_1)
4. πάνω και δεξιά pixel: (x_1, y_1)

Στην συνέχεια γίνεται γραμμική παρεμβολή κατά άξονα x στο επίπεδο του y_0 αλλά και στο επίπεδο του y_1 και τέλος γίνεται γραμμική παρεμβολή κατά τον άξονα y στα αποτελέσματα των παραπάνω γραμμικών παρεμβολών για να υπολογιστεί το τελικό χρώμα.

4.2 render_object_map

Η συνάρτηση αυτή αποτελεί μια παραλλαγή της συνάρτησης render_object. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτή την συνάρτηση γίνεται η αντιστοίχιση των σημείων με τα σημεία του texture map. Κάθε τρίγωνο του αντικειμένου αντιστοιχίζεται με ένα τρίγωνο του texture map μέσω του πίνακα unv_faces. Και στην συνέχεια πραγματοποιείται δι-γραμμική παρεμβολή με την συνάρτηση bilerp για κάθε κορυφή του τριγώνου. Στην συνάρτηση υποστηρίζεται και ο χρωματισμός με Gouraud και Phong συμπεριλαμβανομένου του φωτισμού με τις τιμές "gouraud" και "phong" στο όρισμα shader αντίστοιχα, αλλά και ο χρωματισμός Gouraud με την τιμή "nolight" στο όρισμα shader χωρίς να συμπεριληφθεί ο φωτισμός, όπως η είχε οριστεί στο πρώτο παραδοτέο η συνάρτηση gouraud_shading. Αυτό γίνεται καθώς το αποτέλεσμα χωρίς τον φωτισμό φαίνεται να είναι πιο αντιπροσωπευτικό. Επίσης έχει παραχθεί ένα αρχείο demotmap.py το οποίο καλείται χωρίς εξωτερικά ορίσματα και παράγει τις φωτογραφίες του αντικειμένου με χρωματισμό που χρησιμοποιεί το texture map για όλους τους φωτισμούς. Τέλος, παράγει μία εικόνα που έχει χρωματιστεί με την συνάρτηση gouraud_shading που είχε υλοποιηθεί στο πρώτο παραδοτέο η οποία δεν συμπεριλαμβάνει τις πηγές φωτισμού καθώς το αποτέλεσμα που παράγεται φαίνεται πιο αντιπροσωπευτικό. Αρχικά, στο demo αρχείο φορτώνεται η εικόνα του texture map ως ένας $N \times M \times 3$ πίνακας με την βοήθεια της βιβλιοθήκης cv2. Οι τιμές των χρωμάτων επειδή χρησιμοποιούμε την βιβλιοθήκη cv2 είναι κωδικοποιημένες κατά BGR, οπότε πρώτα πρέπει να μετατραπούν σε RGB. Επίσης, οι RGB τιμές των χρωμάτων ανήκουν στο εύρος $(0, 255)$ ενώ οι συναρτήσεις που έχουν υλοποιηθεί και στα τρία παραδοτέα απαιτούν οι τιμές των χρωμάτων να βρίσκονται στο εύρος $(0, 1)$, οπότε οι τιμές αυτές πρέπει να κανονικοποιηθούν διαιρώντας με το 255. Παρακάτω παρατίθενται τρεις εικόνες, μια για τον κάθε τρόπο χρωματισμού.



Σχήμα 17: Φωτογραφία με φωτισμό και χρωματισμό Gouraud.



Σχήμα 18: Φωτογραφία με χρωματισμό Phong.



Σχήμα 19: Φωτογραφία χωρίς φωτισμό με χρωματισμό Gouraud.

Η γάτα που είναι χρωματισμένη με βάση το texture map φαίνεται αληθοφανής.