Γραφική με Υπολογιστές 2020
Εργασία #1 : Πλήρωση τριγώνων

Παπαδάμ Στέφανος
ΑΕΜ: 8885

16/03/2020

1. Περιγραφή της λειτουργίας και του τρόπου κλήσης των προγραμμάτων

1.1 Συναρτήσεις demoFlat & demoGouraud

Αρχικά, τα δύο scripts *demofFlat* και *demoGouraud* αφού καθαρίσουν το workspace και κλείσουν τυχόντα ανοικτά παράθυρα φορτώνουν τα δεδομένα από το αρχείο *duck_hw1.mat* , δίνουν στη μεταβλητή *painter* την τιμή *Flat* ή *Gouraud* και στη συνέχεια καλούν την συνάρτηση *paintObject* με το κατάλληλο όρισμα της *painter*, προκειμένου να ξεκινήσει η διαδικασία χρωματισμού των εικόνων. Μετά την εκτέλεση της συνάρτησης, επιστρέφεται και αποθηκεύεται το αποτέλεσμα της χρωματισμένης εικόνας στη μεταβλητή *image* και εμφανίζεται το αποτέλεσμα με την χρήση της συνάρτησης *imshow*. Στο τέλος των συναρτήσεων *demo* αποθηκεύεται η εικόνα με χρήση της συνάρτησης *imwrite* στο path όπου είναι αποθηκευμένη και εκτελείται η συνάρτηση.

Για την εκτέλεση όλης της διαδικασίας χρωματισμού και την εμφάνιση των δύο μορφών των εικόνων αρκεί να τρέξουν τα scripts *demoFlat* και *demoGouraud* χωρίς ορίσματα.

1.2 Συνάρτηση paintObject

Στην συνάρτηση *paintObject* αρχικοποιούνται κάποιες μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια όπου συμπεριλαμβάνεται και ο πίνακας *X* που περιέχει την εικόνα, μεγέθους MxNx3 (1200x1200x3) και αρχική τιμή 1 σε κάθε κελί του έτσι ώστε το background να χρωματιστεί άσπρο. Στην συνέχεια, δημιουργείται ο πίνακας *d*, ο οποίος περιέχει για κάθε ένα από τα K τρίγωνα, το μέσο βάθος των κορυφών του. Επίσης, δημιουργείται ο πίνακας *correspondenceTable* όπου αποθηκεύεται στην πρώτη στήλη του ο πίνακας *d* που περιέχει το μέσο βάθος του κάθε τριγώνου και στις στήλες 2 - 4 διατηρούνται οι δείκτες των κορυφών του κάθε τριγώνου μέσω του

πίνακα *F*. Ο πίνακας αυτός δημιουργήθηκε με σκοπό να διατηρείται η αντιστοιχία μεταξύ των κορυφών και του βάθους του κάθε τριγώνου. Έπειτα με τη συνάρτηση *sortrows* ταξινομείται ο πίνακας *correspondenceTable* με βάση την πρώτη στήλη που περιέχει τα βάθη και διατηρώντας παράλληλα την αντιστοιχία με τις κορυφές.

Στη συνέχεια, για κάθε ένα από τα K τρίγωνα, αποθηκεύονται στους πίνακες V (3x2) και COL (3x3) οι συντεταγμένες και τα χρώματα των κορυφών κάθε τριγώνου αντίστοιχα με σειρά ταξινόμησης από το μεγαλύτερο στο μικρότερο βάθος και καλείται η συνάρτηση χρωματισμού τριγώνων, *triPaintFlat* ή *triPaintGouraud*, ανάλογα με την τιμή που έχει το όρισμα *painter*. Αφού ολοκληρωθεί η επανάληψη για τα K τρίγωνα η *paintObject* επιστρέφει την εικόνα X μέσω της μεταβλητής I.

1.3 Συναρτήσεις triPaintFlat & triPaintGouraud

Στις συναρτήσεις αυτές εκτελείται η διαδικασία χρωματισμού των τριγώνων. Συγκεκριμένα, κάθε μία εκτέλεση της, προσθέτει και ένα χρωματισμένο τρίγωνο στην συνολική εικόνα. Στην περίπτωση της *triPaintFlat*, απλά χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των χρωμάτων των κορυφών, ενώ στην *triPaintGouraud* υπολογίζεται το χρώμα των ακμών από τη γραμμική παρεμβολή των χρωμάτων των κορυφών της αντίστοιχης πλευράς ενώ για τα εσωτερικά σημεία του τριγώνου καλείται η *colorInterp* η οποία εκτελεί γραμμική παρεμβολή μεταξύ των εκάστοτε ενεργών σημείων για τον υπολογισμό του χρώματος για κάθε pixel που ανήκει στο εσωτερικό του τριγώνου.

2. Περιγραφή της διαδικασίας χρωματισμού τριγώνων

2.1 Συνάρτηση triPaintFlat

2.1.1 Περιγραφή μεταβλητών

Στην συνάρτηση αυτή δίνονται ως ορίσματα οι συντεταγμένες των τριών κορυφών (πίνακας V διάστασης 3x2), το χρώμα των κορυφών αυτών (πίνακας C διάστασης 3x3), καθώς και η υπόλοιπη εικόνα (πίνακας X διάστασης 1200x1200x3). Στη συγκεκριμένη συνάρτηση αρχικά αρχικοποιούνται σε τρείς μεταβλητές r,g,b οι μέσοι όροι των χρωμάτων των κορυφών για να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για το βάψιμο του τριγώνου. Έπειτα, υπολογίζονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των x και y και αποθηκεύονται αντίστοιχα στα *xmin, xmax, ymin, ymax* για κάθε πλευρά του τριγώνου. Μέσω των πινάκων *ymin* και *ymax* υπολογίζεται η μέγιστη (*y_maximum*) και ελάχιστη τιμή (*y_minimum*) που θα λάβει το y για να σαρώσει όλο το τρίγωνο. Στις μεταβλητές *countYmax* και *countYmin* μετρούνται οι κορυφές που έχουν ίση *ymax* ή *ymin* τιμή αντίστοιχα έτσι ώστε να εξεταστεί η περίπτωση που υπάρχουν οριζόντιες πλευρές στο πάνω ή κάτω μέρος του τριγώνου. Στην δομή (struct) *array* αποθηκεύονται κάποιες βασικές πληροφορίες για κάθε πλευρά του τριγώνου οι οποίες θα χρειαστούν αργότερα. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τα εξής:

- *X1* : Η τετμημένη της πρώτης κορυφής.
- *Y1* : Η τεταγμένη της πρώτης κορυφής.
- *X2* : Η τετμημένη της δεύτερης κορυφής.

- *Y2* : Η τεταγμένη της δεύτερης κορυφής.
- *M* : Η κλίση της πλευράς.

Η δομή *activePoints* διατηρεί τις πληροφορίες για τα δύο εκάστοτε ενεργά σημεία και συγκεκριμένα τις συντεταγμένες (x,y) του κάθε σημείου και τις κλίσεις (m1,m2) των πλευρών στις οποίες ανήκουν τα ενεργά σημεία. Ο πίνακας *activeEdges* διατηρεί δύο αριθμούς οι οποίοι ανταποκρίνονται στις δύο ενεργές πλευρές. Έπειτα, ενημερώνονται τα στοιχεία των *activePoints* και *activeEdges* σχετικά με την τιμή του *y_minimum*. Τέλος, οι μεταβλητές *countX*, *countY*, *countM* αποτελούν τρεις μετρητές οι οποίοι εντοπίζουν τις περιπτώσεις που οι τρεις κορυφές του τριγώνου ανήκουν στην ίδια ευθεία.

2.1.2 Τρόπος λειτουργίας αλγορίθμου σάρωσης.

Ο αλγόριθμος σάρωσης ξεκινάει με τον έλεγχο αν οι τρεις κορυφές βρίσκονται στην ίδια ευθεία ή όχι. Στη γενική περίπτωση που οι τρεις κορυφές δεν σχηματίζουν ευθεία εκτελείται μια δομή επανάληψης με το y να παίρνει τιμές από το *y_minimum* έως το *y_maximum*, όπου και πραγματοποιείται ο χρωματισμός του τριγώνου με τα εξής βήματα:

- Διατάσσεται η δομή *activePoints* με βάση την τιμή του x κατά αύξουσα σειρά.
- Σαρώνεται κάθε γραμμή δίνοντας τιμές στο x από το πρώτο ενεργό σημείο μέχρι το 1200 το οποίο είναι και η οριζόντια διάσταση του καμβά.
- Ελέγχεται αν το x έχει φτάσει στο πρώτο ενεργό σημείο οπότε και αυξάνεται η τιμή του *cross_count* κατα 1 και τίθεται η σημαία *set* ίση με 1 για να γνωρίζει ο αλγόριθμος ότι το πρώτο ενεργό σημείο ξεπεράστηκε.
- Σε περίπτωση που το *cross_count* έχει περιττή τιμή σημαίνει ότι το εκάστοτε σημείο βρίσκεται ανάμεσα στα ενεργά σημεία οπότε και χρωματίζεται το αντίστοιχο pixel με το χρώμα που υπολογίστηκε στην αρχή δίνοντας τις κατάλληλες τιμές στα στοιχεία X(y,x,1) , X(y,x,2) , X(y,x,3).
- Ελέγχεται αν το x έχει ξεπεράσει το δεύτερο ενεργό σημείο έτσι ώστε να βγεί από την επανάληψη.
- Όταν τελειώσει η for loop του x ελέγχεται αν η επόμενη γραμμή πρόκειται να φτάσει σε σημείο όπου θα γίνει αλλαγή στις ενεργές πλευρές.
- Αν δεν πρόκειται να γίνει αλλαγή πλευράς στην επόμενη γραμμή τότε το πρόγραμμα μεταφέρεται στο else και ανανεώνει τα στοιχεία της δομής *activePoints* σύμφωνα με τον τύπο x+1/m για τις τετμημένες και y+1 για τις τεταγμένες.
- Σε περίπτωση που η συνθήκη ισχύει και δεν υπάρχουν οριζόντιες πλευρές (*countYmax ~= 3 && countYmin ~= 3*) σημαίνει ότι θα πρέπει να γίνει αλλαγή στις ενεργές πλευρές στον πίνακα *activeEdges* και στα ενεργά σημεία *activePoints* η οποία γίνεται ως εξής:

- Εντοπίζονται στη δομή *array* τα σημεία τα οποία αντιστοιχούν στη μέγιστη τιμή του πίνακα *ymin* που είναι στην ουσία και η τιμή του y για την πλευρά αλλαγής και αποθηκεύονται στον πίνακα *index* οι θέσεις όπου βρέθηκαν. Οι τιμές του πίνακα *index* είναι στην ουσία οι θέσεις των νέων ενεργών πλευρών στη δομή *array*.
- Σχηματίζεται ένας πίνακας με τις τιμές του *activeEdges* και του *index* και μέσω της συνάρτησης *histcounts* εντοπίζεται ποιό στοιχείο έχει συχνότητα 2 το οποίο θα αντιστοιχεί και στην πλευρά που πρέπει να αφαιρεθεί.
- Στον πίνακα *newActiveEdges* αποθηκεύονται οι αριθμοί των νέων ενεργών πλευρών.
- Δημιουργείται ένας πίνακας *flag* ο οποίος αρχικοποείται με όλες τις τιμές ίσες με 1.
- Εντοπίζονται στη δομή *array* οι δύο παλιές ενεργές πλευρές θέτοντας στις αντίστοιχες θέσεις του πίνακα *flag* τιμή 0. Με αυτό τον τρόπο η θέση όπου η τιμή του *flag* παραμένει 1 είναι η θέση όπου βρίσκονται τα στοιχεία της καινούργιας ενεργής πλευράς στη δομή *array*.
- Στη μεταβλητή *newIndex* αποθηκεύεται ο αριθμός της πλευράς που θα αλλαχθεί.
- Υπολογίζονται οι τιμές *xNew,yNew,m* που ανταποκρίνονται στα στοιχεία του νέου ενεργού σημείου. Σημαντική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι μόνο τα στοιχεία του ενός ενεργού σημείου αλλάζουν διότι το άλλο παραμένει στην ίδια ενεργή πλευρά.
- Ενημερώνεται η δομή *activePoints* με βάση τις νέες υπολογισμένες τιμές *xNew,yNew,m* που προέκυψαν και στον πίνακα *activeEdges* αποθηκεύονται οι αριθμοί των νέων ενεργών πλευρών.

- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε τριάδα κορυφών.

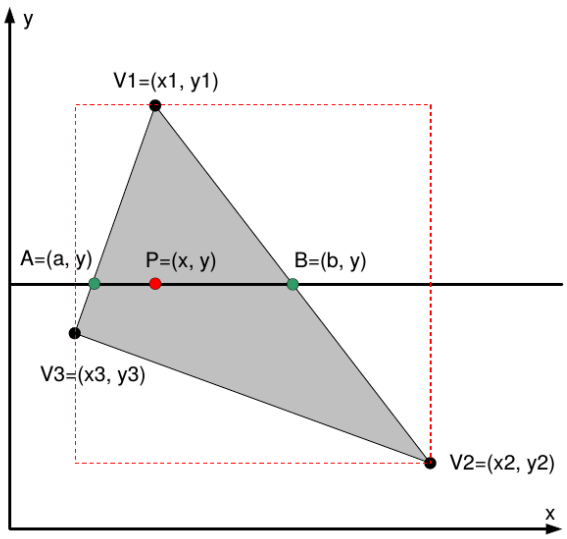
Η παραπάνω διαδικασία συμβαίνει στη γενική περίπτωση όπου δεν υπάρχουν τριάδες κορυφών που ανήκουν στην ίδια ευθεία. Σε περίπτωση που οι τρεις κορυφές σχηματίζουν μία ευθεία τότε ο έλεγχος του προγράμματος μεταφέρεται στο else της αρχικής συνθήκης όπου ελέγχεται με τη σειρά αν τα σημεία βρίσκονται σε ευθεία παράλληλη στον άξονα x, στον άξονα y ή έχουν την ίδια κλίση. Στην περίπτωση που τα σημεία βρίσκονται σε ευθεία παράλληλη στον άξονα y τότε σαρώνονται αυτά τα σημεία από την ελάχιστη μέχρι τη μέγιστη τιμή του y και χρωματίζονται. Αντίστοιχη λειτουργία συμβαίνει όταν τα σημεία βρίσκονται σε ευθεία παράλληλη στον άξονα x όπου χρωματίζονται τα σημεία της ευθείας από την ελάχιστη μέχρι τη μέγιστη τιμή του x κατά μήκος του ευθύγραμμου τμήματος. Η τελευταία περίπτωση είναι αυτή όπου τα σημεία σχηματίζουν ευθεία με μία συγκεκριμένη μη μηδενική κλίση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση σαρώνεται η ευθεία από την ελάχιστη μέχρι τη μέγιστη τιμή του y και η τιμή του x αυξάνεται κατα 1/m στρογγυλοποιώντας το αποτέλεσμα για να

δημιουργηθεί ακέραιος αριθμός και να χρωματιστεί το αντίστοιχο pixel. Μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικάσιας επιστρέφεται η ανανεωμένη εικόνα X.

2.2 Συνάρτηση triPaintGouraud

Η βασική ιδέα της συνάρτησης αυτής ταυτίζεται με την *triPaintFlat*. Συγκεκριμένα οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται καθώς και ο τρόπος εφαρμογής του αλγορίθμου σάρωσης ταυτίζονται με αυτούς της *triPaintFlat* όπως περιγράφονται στις ενότητες 2.1.1 και 2.1.2 αντίστοιχα. Ωστόσο, υπάρχουν βασικές διαφορές στον τρόπο υπολογισμού του χρώματος. Η συνάρτηση αυτή διαφοροποιείται εντελώς από την *triPaintFlat* στο σημείο υπολογισμού του χρώματος για τον χρωματισμό των pixel.

Ο τρόπος υπολογισμού του χρώματος χωρίζεται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το σημείο που πρόκειται να χρωματιστεί. Συγκεκριμένα, αρχικά γίνεται για κάθε γραμμή σάρωσης y μία σάρωση του καμβά κατά x έτσι ώστε να υπολογιστεί το χρώμα των πλευρών του τριγώνου. Με αναφορά στην Εικόνα 1 χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στα σημεία V1 και V3 για τον υπολογισμό του χρώματος στο σημείο A και ανάμεσα στα σημεία V1 και V2 για τον υπολογισμό του χρώματος στο B. Συγκεκριμένα, μέσα στην πρώτη for loop του x υπολογίζονται τα χρώματα των άκρων A και B ως εξής:



Εικόνα 1: Τρόπος προσδιορισμού χρώματος μέσω γραμμικής παρεμβολής.

- Μόλις προσεγγιστεί το πρώτο ενεργό σημείο εντοπίζεται στη δομή *array* για ποιο σημείο πρόκειται και αποθηκεύεται η θέση του στη μεταβλητή *found.*
- Εφόσον είναι γνωστή η θέση του πρώτου ενεργού σημείου στην δομή *array* άρα και η πλευρά στην οποία ανήκει, αποθηκεύονται από τον πίνακα C σε μεταβλητές r1,g1,b1 και r2,g2,b2 τα χρώματα των δύο κορυφών αντίστοιχα.

- Έπειτα με βάση τις τιμές χρωμάτων που αποδόθηκαν παραπάνω στις κορυφές υπολογίζεται με γραμμική παρεμβολή το χρώμα του πρώτου ενεργού σημείου και αποθηκεύεται στον πίνακα A (3x1). Το χρώμα που υπολογίστηκε αποδίδεται στο αντίστοιχο σημείο του πίνακα X.
- Μόλις προσεγγιστεί και το δεύτερο ενεργό σημείο ακολουθείται η ίδια διαδικασία για να υπολογιστεί το χρώμα του, το οποίο αποθηκεύεται στον πίνακα B(3x1) και αποδίδεται στο pixel του δεύτερου ενεργού σημείου.

Στη συνέχεια, για τη γραμμή σάρωσης y ξεκινάει να σαρώνεται ξανά ο καμβάς κατά x για να χρωματίσει τα σημεία εντός των ενεργών πλευρών εφόσον είναι γνωστά τα χρώματα των δύο ενεργών σημείων. Συγκεκριμένα γίνονται τα εξής βήματα:

- Μόλις προσεγγιστεί το πρώτο ενεργό σημείο ή ξεπεραστεί το δεύτερο αυξάνεται η μεταβλητή *cross_count* κατά 1 για να είναι γνωστό αν έχει γίνει περιττό ή άρτιο πλήθος διασχίσεων.
- Αν βρίσκεται σε περιττό πλήθος τότε καλείται η συνάρτηση *colorInterp* με ορίσματα τις τετμημένες a και b των δύο ενεργών σημείων, την τετμημένη x του σημείου που πρόκειται να χρωματιστεί και τα χρώματα A και B των δύο ενεργών σημείων που υπολογίστηκαν παραπάνω.
- Μέσα στη συνάρτηση *colorInterp* εφαρμόζεται γραμμική παρεμβολή μεταξύ των σημείων και επιστρέφεται το υπολογισμένο χρώμα μέσω του πίνακα *color* (3x1).
- Ο έλεγχος επιστρέφεται στην συνάρτηση *triPaintGouraud* και αποδίδονται οι χρωματικές συνιστώσες στο σημείο (x,y).

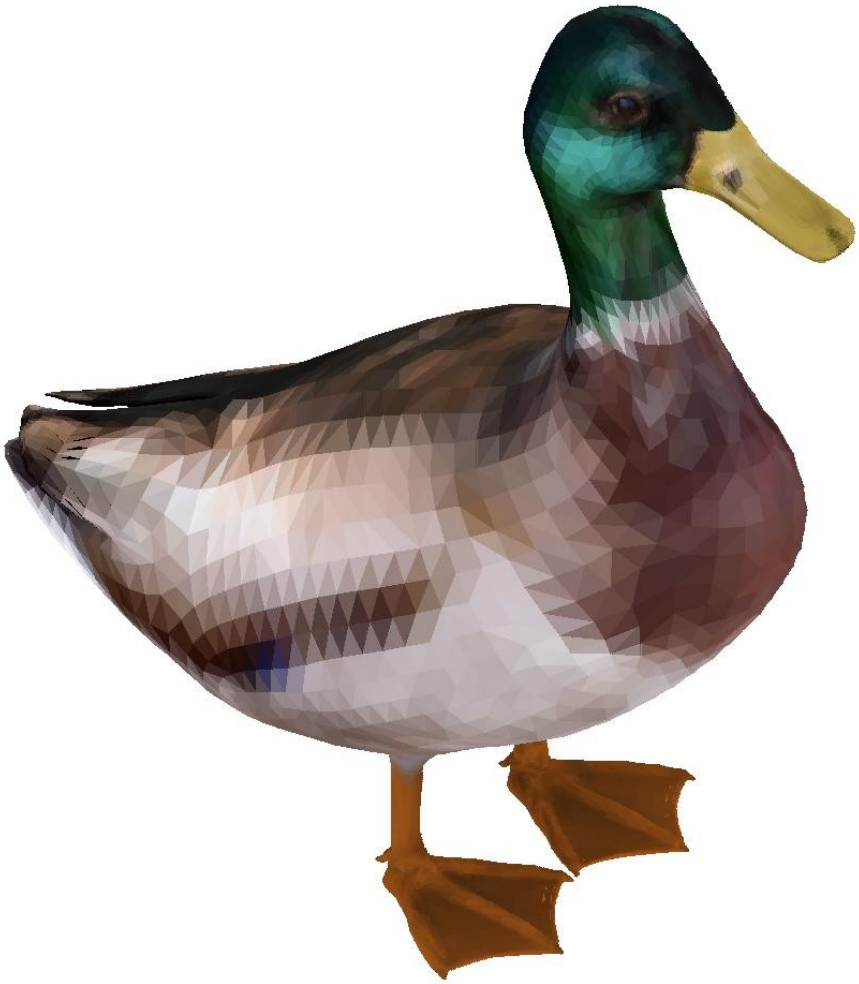
Ολόκληρη η παραπάνω διαδικασία για τα εσωτερικά σημεία και τις πλευρές επαναλαμβάνεται για κάθε γραμμή σάρωσης y.

3. Ενδεικτικά αποτελέσματα & σχόλια

3.1 demoFlat

Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την εκτέλεση του *demoFlat* είναι ικανοποιητικό καθώς διακρίνονται όλα τα τρίγωνα να έχουν χρωματιστεί με συγκεκριμένο χρώμα και να μην υπάρχει επικάλυψη κανενός τριγώνου με άλλο. Επίσης ο χρόνος εκτέλεσης αυτής της μεθόδου είναι αρκετά ικανοποιητικός καθώς υπολογίζεται περίπου στα

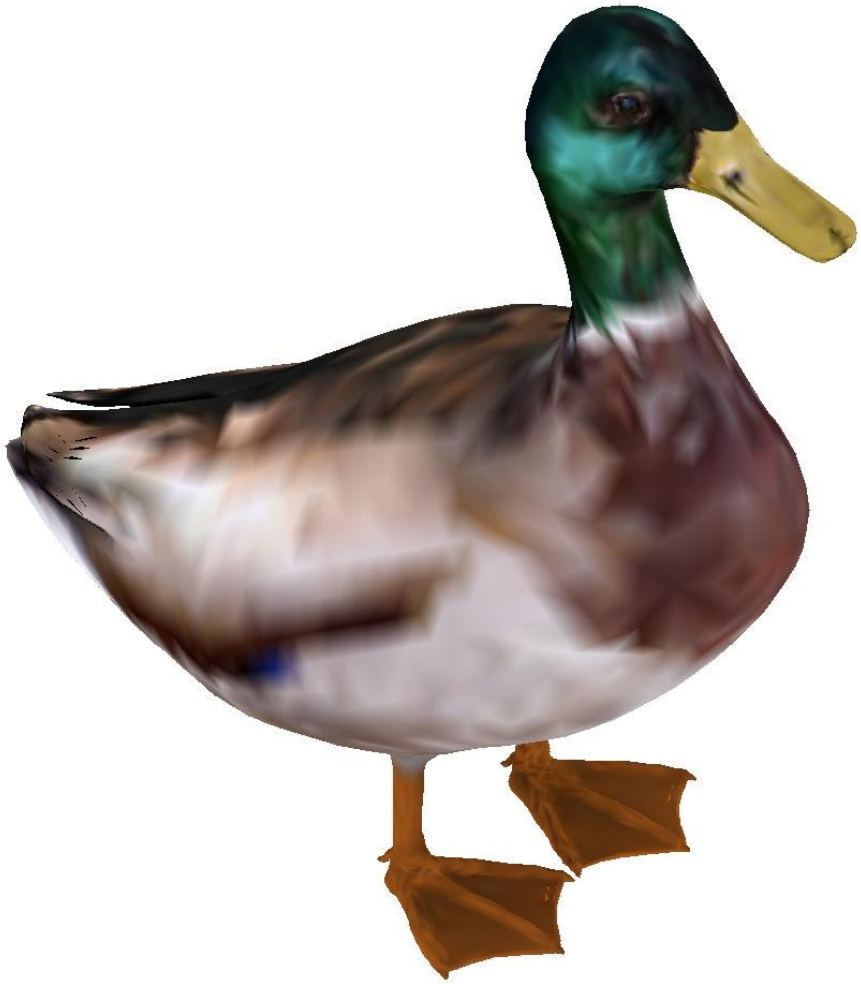
3 - 7 δευτερόλεπτα. Το αποτέλεσμα της *demoFlat* φαίνεται στην Εικόνα 2:



Εικόνα 2: Αποτέλεσμα μετά την εκτέλεση της Flat μορφής.

3.2 demoGouraud

Το αποτέλεσμα με την εκτέλεση της *demoGouraud* φαίνεται να είναι πολύ καλύτερο οπτικά καθώς φαίνεται να σχηματίζεται μια πιο ομαλή απόχρωση στην εικόνα μετά την εφαρμογή της γραμμικής παρεμβολής χωρίς να γίνεται διαχωρισμός στα χρώματα των τριγώνων αλλά μεταβαίνοντας πιο ομαλά από το ένα τρίγωνο στο άλλο. Ο χρόνος εκτέλεσης και σε αυτή τη μέθοδο είναι αρκετά ικανοποιητικός καθώς υπολογίζεται περίπου στα 7 - 12 δευτερόλεπτα. Το αποτέλεσμα της *demoGouraud* φαίνεται στην Εικόνα 3:



Εικόνα 3: Αποτέλεσμα μετά την εκτέλεση της Gouraud μορφής.