

1η Προγραμματιστική Άσκηση

Γκαβαρδίνας Όθωνας, ΑΜ: 2620
Μπουρλή Στυλιανή, ΑΜ: 2774

Σκοπός της άσκησης

Στόχος ήταν η εξοικείωση με τη χρήση βασικών βιβλιοθηκών γραφικών, όπως η OpenGL/Glut, οι οποίες υποστηρίζουν ταυτόχρονα και 2D και 3D γραφικά. Το ζητούμενο ήταν η κατασκευή ενός προγράμματος σχεδίασης απλών, μη αυτοτεμνόμενων πολυγώνων. Πιο συγκεκριμένα, μέσω αυτού το πρόγραμμα θα γίνεται σχεδίαση απλών, κλειστών πολυγωνικών γραμμών, στις οποίες στη συνέχεια, θα μπορεί να εφαρμόζεται αποκοπή, με χρήση ενός ορθογωνίου παράλληλου στους άξονες x, y. Τέλος, θα υπάρχει η δυνατότητα εξώθησης των πολυγώνων στις 3D και προβολής τους με μετακίνηση κάμερας.

Υλοποίηση

Παράθυρο – Μενού

Στη συνάρτηση **main()** δημιουργήσαμε ένα παράθυρο 500 γραμμών και 600 στηλών, το οποίο εμφανίζεται με κλήση της συνάρτησης **display()**. Το χρώμα του παραθύρου είναι λευκό και το καθορίσαμε στη συνάρτηση **initGL()**. Και οι δύο συναρτήσεις καλούνται αρχικά στη **main()**, όμως η **display()** καλείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και στη συνέχεια της εκτέλεσης του προγράμματος με τη βοήθεια της συνάρτησης **idle()**.

Στη **main()** καλείται επίσης η συνάρτηση **menu()**, η οποία περιέχει το μενού του προγράμματος. Το μενού ενεργοποιείται στο μεσαίο κουμπί του ποντικιού (attach) και περιλαμβάνει το υπομενού ACTION, και τα υπομενού LINE_COLOR και FILL_COLOR. Στο υπομενού ACTION υπάρχει η επιλογή EXIT, η οποία δίνει τη δυνατότητα τερματισμού του προγράμματος. Για αυτήν όπως και για τις υπόλοιπες λειτουργίες του υπομενού ACTION δημιουργήσαμε τη συνάρτηση **selectAction()**.

Σχεδίαση πολυγώνων

Στο υπομενού ACTION υπάρχει επίσης η επιλογή POLYGON, με την οποία ενεργοποιείται η μεταβλητή **polygon_flag**. Η μεταβλητή αυτή χρησιμοποιείται στη συνάρτηση **mouse()**, μια συνάρτηση που δημιουργήσαμε για τον χειρισμό του ποντικιού, και ενεργοποιείται στη **main()**. Πιο συγκεκριμένα, όταν η **polygon_flag** είναι ενεργοποιημένη, ο χρήστης μπορεί με αριστερά κλικ του ποντικιού να επιλέγει τα σημεία του παραθύρου, τα οποία θα αποτελούν τις κορυφές του πολυγώνου. Οι συντεταγμένες **x, y** των σημείων αποθηκεύονται σε μία δομή **point**. Έπειτα, το κάθε **point** προστίθεται σε μία δομή **points**, την οποία δημιουργήσαμε για την αποθήκευση όλων των σημείων των πολυγώνων που σχεδιάζονται. Για τη διαχείριση αυτής, κατασκευάσαμε και μία δομή **polygon**, η οποία αφορά ένα πολύγωνο και περιέχει τη θέση του πρώτου (**first**) και του τελευταίου (**last**) στοιχείου του στη δομή **points**, καθώς και δύο πίνακες για το χρωματισμό του (**cline[], cfill[]**). Οι πίνακες αυτοί αρχικοποιούνται σε χρώμα μαύρο για τις γραμμές και άσπρο για το γέμισμα με τη βοήθεια των κοινόχρηστων πινάκων **line_color[]** και **fill_color[]**. Το κάθε **polygon** προστίθεται σε μία δομή **poygons**, που δημιουργήσαμε γι' αυτό το σκοπό.

Υπεύθυνη για το σχεδιασμό των 2Δ σημείων και πολυγώνων στο παράθυρο είναι η συνάρτηση **draw()**, η οποία καλείται στη **display()**. Η συνάρτηση αυτή σχεδιάζει τα προηγούμενα πολύγωνα, αν υπάρχουν, και στη συνέχεια καλεί τη συνάρτηση **createPointsAndLines()** για το σχεδιασμό του νέου πολυγώνου. Συγκεκριμένα, στη συνάρτηση **mouse()** ένας μετρητής **count_points** διατηρεί το πλήθος των σημείων που επιλέγει ο χρήστης. Η **createPointsAndLines()** σχεδιάζει το πρώτο σημείο και για κάθε επόμενο σημείο σχεδιάζει μία ακμή ανάμεσα σε αυτό και το προηγούμενό του. Την τελευταία ακμή, τη σχεδιάζει όταν ενεργοποιηθεί η μεταβλητή **last_point**. Αυτή η μεταβλητή ενεργοποιείται στη συνάρτηση **mouse**, μετά την επιλογή και του τελευταίου σημείου, με δεξί κλικ του ποντικιού.

Έλεγχος αυτοτεμνόμενων πολυγώνων

Στη συνάρτηση **mouse()** προσθέσαμε έλεγχο για το αν ένα πολύγωνο είναι αυτοτεμνόμενο. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε σημείο πολυγώνου που επιλέγει ο χρήστης, εκτός των δύο πρώτων, με τη συνάρτηση **checkIntersection()**, η οποία χρησιμοποιεί παραμετρικές εξισώσεις, ελέγχεται αν η ευθεία, που προκύπτει από το σημείο αυτό και το προηγούμενό του, σχηματίζει τομή με κάποια από τις υπόλοιπες ευθείες του πολυγώνου. Αν συμβαίνει αυτό, η συνάρτηση επιστρέφει **true**, η διαδικασία επιλογής σημείων διακόπτεται, τυπώνεται μήνυμα σφάλματος και ενεργοποιείται η μεταβλητή **flagIntersects**, η οποία καθορίζει αν τα στοιχεία που έχουν εισαχθεί για το συγκεκριμένο πολύγωνο θα διαγραφούν.

Τριγωνοποίηση πολυγώνων

Για τη χρήση του πληκτρολογίου δημιουργήσαμε τη συνάρτηση **keyboard()**, η οποία ενεργοποιείται στη **main()**. Στη συνάρτηση αυτή, αν πατηθεί το πλήκτρο **T** και έχει ολοκληρωθεί η σχεδίαση πολυγώνων, ενεργοποιείται η μεταβλητή **triangulate_ON**, και αν ξαναπατηθεί, η μεταβλητή αυτή απενεργοποιείται. Η μεταβλητή αυτή υποδηλώνει την εμφάνιση ή όχι των τριγώνων που προκύπτουν από τα πολύγωνα, η οποία γίνεται στη συνάρτηση **draw()**. Όταν εμφανίζονται έχουν πράσινο χρώμα ακμών. Η τριγωνοποίηση όμως των πολυγώνων πραγματοποιείται στη συνάρτηση **createTriangles()**, η οποία καλείται στην **createPointsAndLines()**, κάθε φορά που ολοκληρώνεται ένα πολύγωνο. Επειδή η συνάρτηση αυτή καλεί έναν έτοιμο αλγόριθμο τριγωνοποίησης, που υπάρχει στο αρχείο **triangulate.cpp**, χρησιμοποιεί τη συνάρτηση **convertInput()** για να μετατρέψει τα δεδομένα στη μορφή που τα ζητάει ο αλγόριθμος, και στη συνέχεια τη συνάρτηση **convertOutput()** για να μετατρέψει ξανά τα αποτελέσματα του αλγορίθμου στη μορφή που χρησιμοποιήσαμε στο πρόγραμμα. Πιο συγκεκριμένα, η **convertInput()** δημιουργεί μια δισδιάστατη δομή για ένα πολύγωνο, που περιλαμβάνει τις συντεταγμένες των σημείων του πολυγώνου. Η **convertOutput()** δημιουργεί για ένα πολύγωνο μία δομή **polygon**, με **first** το πρώτο σημείο του πρώτου τριγώνου του πολυγώνου και **last** το τελευταίο σημείο του τελευταίου τριγώνου του πολυγώνου, και την προσθέτει σε έναν πίνακα **triangles**. Επιπλέον, προσθέτει όλα τα σημεία των τριγώνων του πολυγώνου σε έναν πίνακα **trianglePoints**.

Χρωματισμός πολυγώνων

Στο μενού υπάρχουν τα υπομενού **LINE_COLOR** και **FILL_COLOR** για την επιλογή χρώματος γραμμής και γεμίσματος, αντίστοιχα. Για τα δύο υπομενού δημιουργήσαμε τις συναρτήσεις **selectLineColor()** και **selectFillColor()**, με 16 χρώματα η κάθε μία, από τα οποία μπορεί ο χρήστης να επιλέξει για χρωματισμό πολυγώνου. Η επιλογή αποθηκεύεται στους κοινόχρηστους πίνακες **line_color** και **fill_color**. Επίσης, αποθηκεύεται στους πίνακες **cline** και **cfill** της δομής **polygon** που αφορά το συγκεκριμένο πολύγωνο, όταν αυτό αρχίζει να σχεδιάζεται στην **createPointsAndLines()**. Τα πολύγωνα σχεδιάζονται στη συνάρτηση **draw()**, η οποία εμφανίζει τα τρίγωνα των πολυγώνων και τις ακμές τους με κατάλληλα χρώματα.

Αποκοπή πολυγώνων

Στο υπομενού **ACTION** υπάρχει η επιλογή **CLIPPING**, που αφορά την αποκοπή. Όταν ο χρήστης την επιλέξει αρχικοποιείται ο μετρητής **clippingPointsCounter** στο 2. Στη συνέχεια, με δύο αριστερά κλικ του ποντικιού μπορεί να καθοριστεί το κάτω αριστερά (**clippingPointDownLeft**) και το πάνω δεξιά (**clippingPointUpRight**) σημείο του ορθογωνίου αποκοπής. Για κάθε επιλογή ο μετρητής μειώνεται κατά ένα

και στο τέλος καλείται η συνάρτηση **clippingAlgorithm()**. Η συνάρτηση αυτή υλοποιεί τον αλγόριθμο των Hodgeman-Sutherland. Πιο συγκεκριμένα, πραγματοποιείται αποκοπή των πολυγώνων με κάθε μία από τις ευθείες του ορθογωνίου αποκοπής. Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται οι πίνακες **clippedPolygonPointsStart** και **clippedPolygonsStart**, οι οποίοι αρχικοποιούνται με τους αρχικούς πίνακες σημείων (**points**) και πολυγώνων (**polygons**), και μετά το τέλος αποκοπής με την κάθε ευθεία, αποθηκεύεται σε αυτούς το αποτέλεσμα της αποκοπής, το οποίο βρίσκεται στους πίνακες **clippedPolygonPointsEnd** και **clippedPolygonsEnd**. Οι τελευταίοι μηδενίζονται κάθε φορά, εκτός της τελευταίας, όπου περιέχουν το τελικό αποτέλεσμα της αποκοπής. Μετά το τέλος της διαδικασίας, το περιεχόμενο τους αποθηκεύεται στους αρχικούς πίνακες **points** και **polygons**, με τη συνάρτηση **switch_polygons_to_clippedPolygons()**. Στα αποκομμένα πολύγωνα, εφαρμόζεται και πάλι ο αλγόριθμος τριγωνοποίησης.

Στον αλγόριθμο αποκοπής, για την αποκοπή των πολυγώνων με την κάθε ευθεία ισχύουν τα εξής:

Έστω A και B τα δύο σημεία της ευθείας του πολυγώνου που εφαρμόζεται η αποκοπή και έστω c η ευθεία αποκοπής.

- Αν το A είναι εξωτερικά της ευθείας αποκοπής και το B εσωτερικά, τότε αποθηκεύουμε το σημείο τομής της AB με την c και το σημείο B. Το σημείο τομής το βρίσκουμε με τη βοήθεια της συνάρτησης **intersection_point()**.
- Αν το A είναι εσωτερικά και το B εξωτερικά της ευθείας αποκοπής, τότε αποθηκεύουμε το σημείο τομής της AB με την c.
- Αν και το A και το B είναι εσωτερικά της ευθείας αποκοπής, τότε αποθηκεύουμε το B.
- Αν και το A και το B είναι εξωτερικά της ευθείας αποκοπής, τότε δεν αποθηκεύουμε τίποτα.

Η συνάρτηση **check_first_and_last_points()** ελέγχει κάθε φορά αν κάποιο από τα σημεία που παίρνουμε από την αποκοπή είναι ίδιο με κάποιο άλλο, και αυτό καθορίζει αν έχει ολοκληρωθεί ένα πολύγωνο. Επίσης, αρχικοποιεί ένα πολύγωνο με το πρώτο σημείο και τα κατάλληλα χρώματα. Αντίστοιχα, η συνάρτηση **check_last_point_intersection()** ελέγχει κάθε φορά αν βρέθηκε δεύτερη φορά σημείο τομής με την ευθεία αποκοπής. Τότε και πάλι έχει ολοκληρωθεί ένα πολύγωνο.

Εξώθηση σε 3Δ – Κάμερα

Στο υπομενού ACTION υπάρχει η επιλογή EXTRUDE, η οποία αφορά την εξώθηση των πολυγώνων στις 3Δ. Με την επιλογή αυτή καλείται η συνάρτηση **extrude_polygon()** και ενεργοποιείται η μεταβλητή **extrude_mode**, που ρυθμίζει την κλήση της **draw_3D()**, αντί της **draw()** στη **display()**. Στη συνάρτηση **extrude_polygon()** ζητείται από το χρήστη στο τερματικό ένα μήκος εξώθησης **extrude_length** για κάθε πολύγωνο και ορίζεται ότι τα 3D πολύγωνα θα προβληθούν με προοπτική προβολή. Στη συνέχεια, στη συνάρτηση **draw_3D()**, για κάθε πολύγωνο σχεδιάζεται ένα ίδιο πολύγωνο σε απόσταση **-extrude_length**, και οι πλευρές των δύο πολυγώνων ενώνονται με τη δημιουργία ενός ορθογωνίου για την κάθε πλευρά. Τα 3D πολύγωνα σχεδιάζονται με απόσταση μήκους $z = 50$ μεταξύ τους, ώστε αν στις 2D το ένα είχε σχεδιαστεί πάνω στο άλλο, να μην είναι κολλημένα στις 3D. Τα πολύγωνα της κορυφής και της βάσης σχεδιάζονται και χρωματίζονται με τα τρίγωνα της τριγωνοποίησης και τις ακμές, ενώ τα υπόλοιπα ορθογώνια έχουν απλά το χρώμα των ακμών.

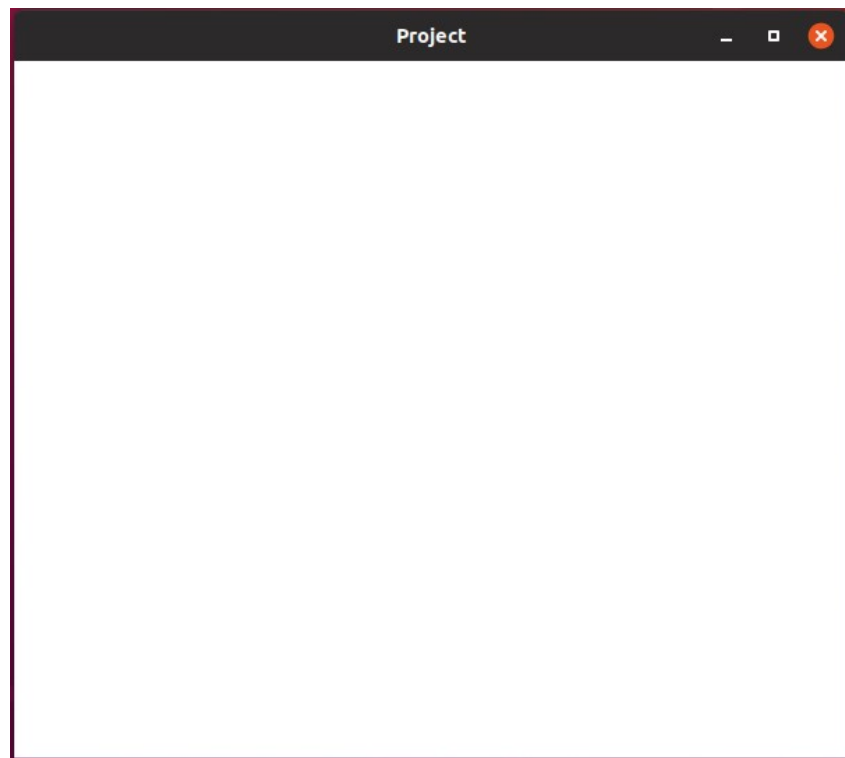
Για την κίνηση στον χώρο προσθέσαμε στη συνάρτηση **keyboard()** τα πλήκτρα **P**, για κίνηση προς τα πάνω και **L**, για κίνηση προς τα κάτω. Η κίνηση σταματάει όταν το πλήκτρο δεν πατιέται πλέον. Αυτό γίνεται με τη συνάρτηση **releaseKey()**. Επίσης, δημιουργήσαμε τη συνάρτηση **specialKeyboard()**, η οποία περιέχει τα 4 πλήκτρα βελάκια του πληκτρολογίου, για περιστροφή της κάμερας προς τα δεξιά, προς τα αριστερά, κίνηση προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Επιπλέον, δημιουργήσαμε τη συνάρτηση **releaseSpecialKey()**, για να σταματάει η περιστροφή ή η κίνηση όταν δεν πατιέται πλέον κάποιο από τα πλήκτρα. Για την τοποθέτηση της κάμερας στη σκηνή χρησιμοποιήσαμε τη **gluLookAt()**, οι τιμές της οποίας μεταβάλλονται κατάλληλα ανάλογα με την κίνηση που γίνεται στο χώρο, μέσω των μεταβλητών **deltaAngle**, **deltaMove** και **deltaUp** και των συναρτήσεων **computePos()**, **computeDir()** και **computeUp()**.

Παράδειγμα εκτέλεσης προγράμματος

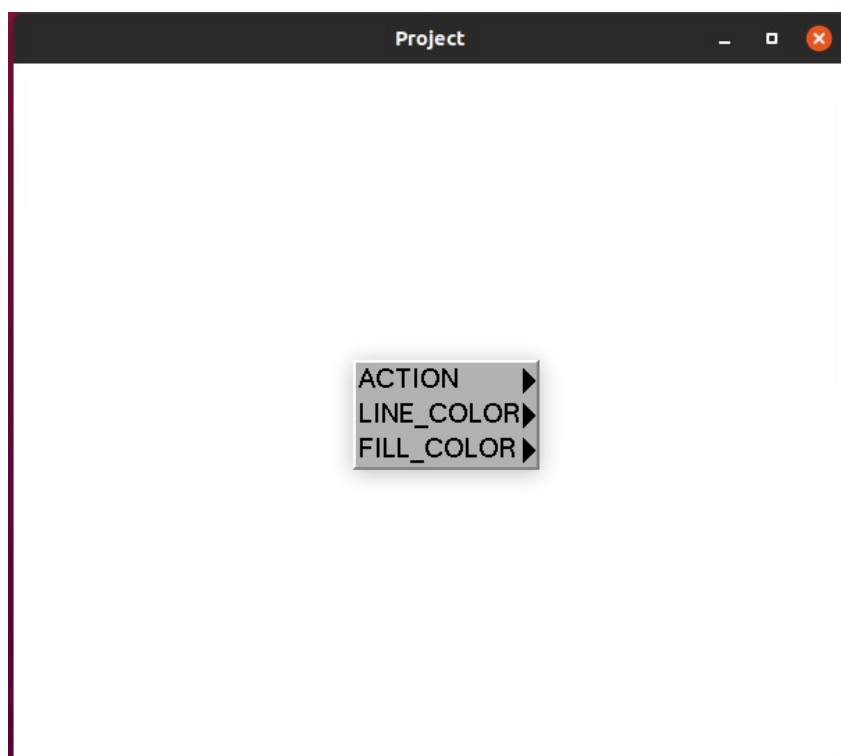
Το πρόγραμμα εκτελείται στο φάκελο που βρίσκεται το αρχείο κώδικα του project (**project.cpp**), τα αρχεία κώδικα της τριγωνοποίησης (**triangulate.h** και **triangulate.cpp**) και το αρχείο **Makefile**, με την εντολή:

```
make project && ./project
```

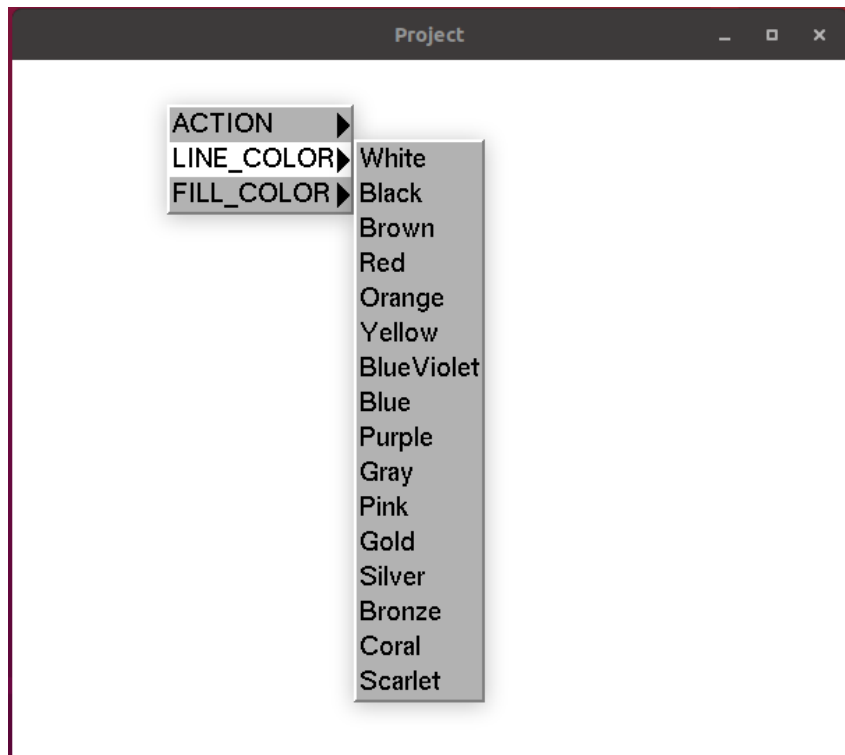
Στη συνέχεια, εμφανίζεται ένα λευκό παράθυρο:



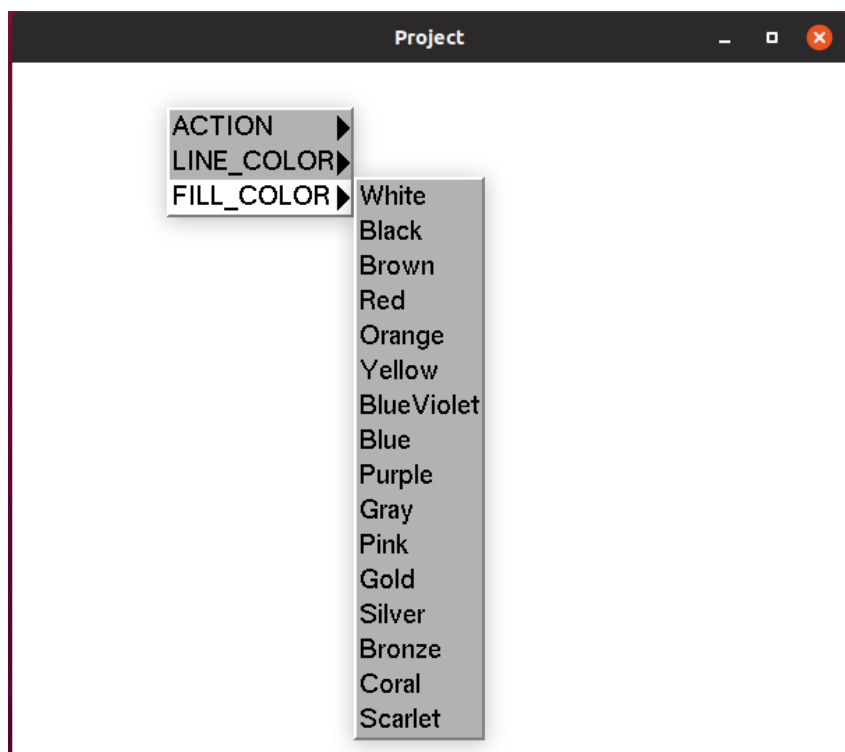
Με κλικ στο μεσαίο κουμπί του ποντικιού εμφανίζεται το βασικό μενού του προγράμματος:



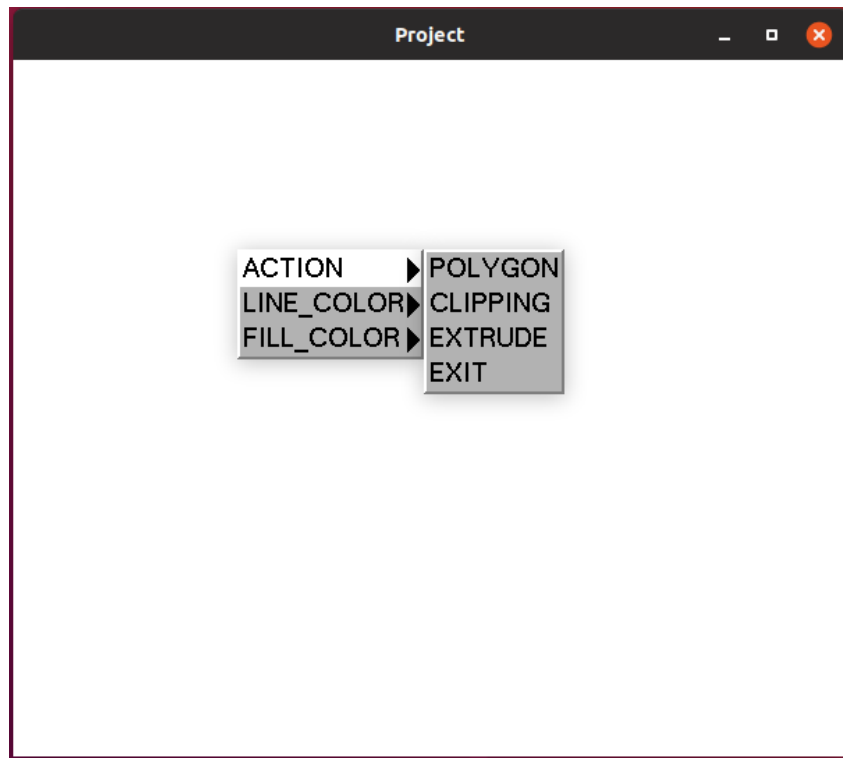
Πηγαίνοντας με το ποντίκι στο υπομενού LINE_COLOR, εμφανίζονται οι επιλογές χρώματος γραμμής. Η προεπιλογή είναι το μαύρο χρώμα. Έστω ότι επιλέγουμε χρώμα Blue:



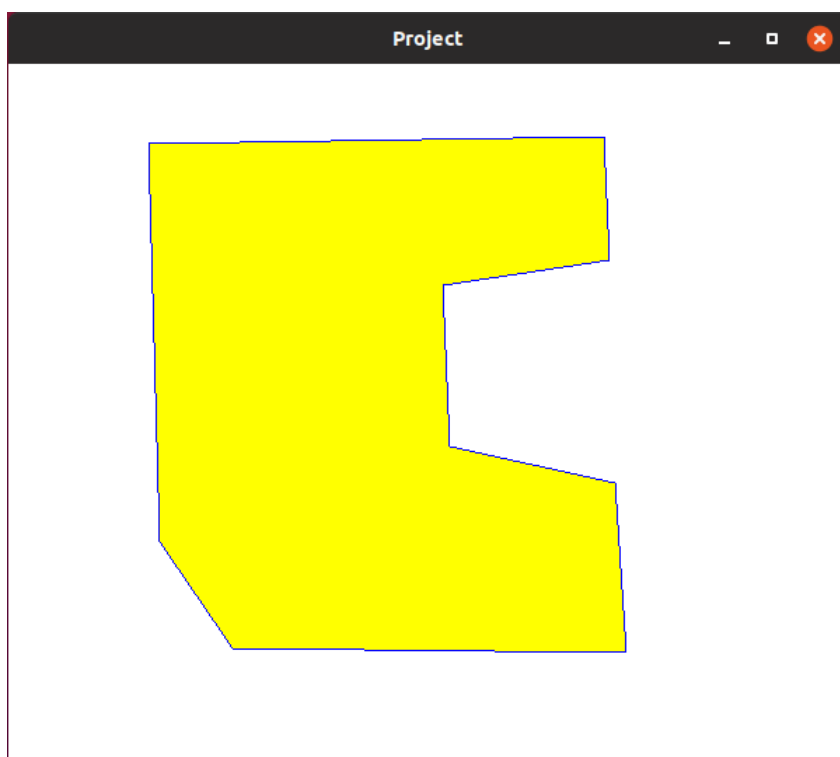
Αντίστοιχα, πηγαίνοντας με το ποντίκι στο υπομενού FILL_COLOR, εμφανίζονται οι επιλογές χρώματος γεμίσματος. Η προεπιλογή είναι το άσπρο χρώμα. Έστω ότι επιλέγουμε χρώμα Yellow:



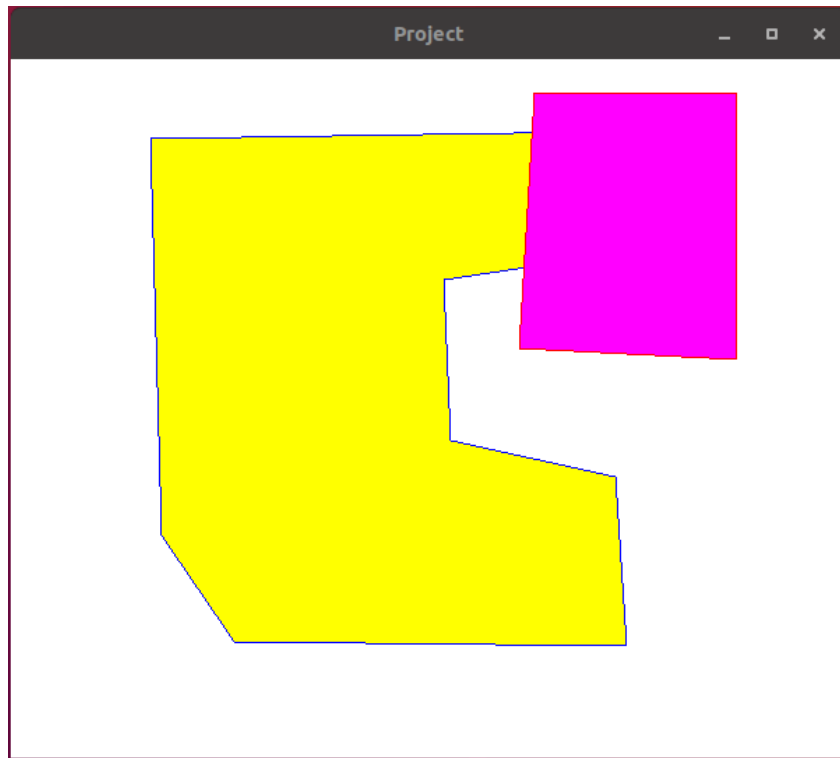
Έπειτα, πηγαίνοντας με το ποντίκι στο υπομενού ACTION εμφανίζονται οι επιλογές POLYGON, CLIPPING, EXTRUDE και EXIT:



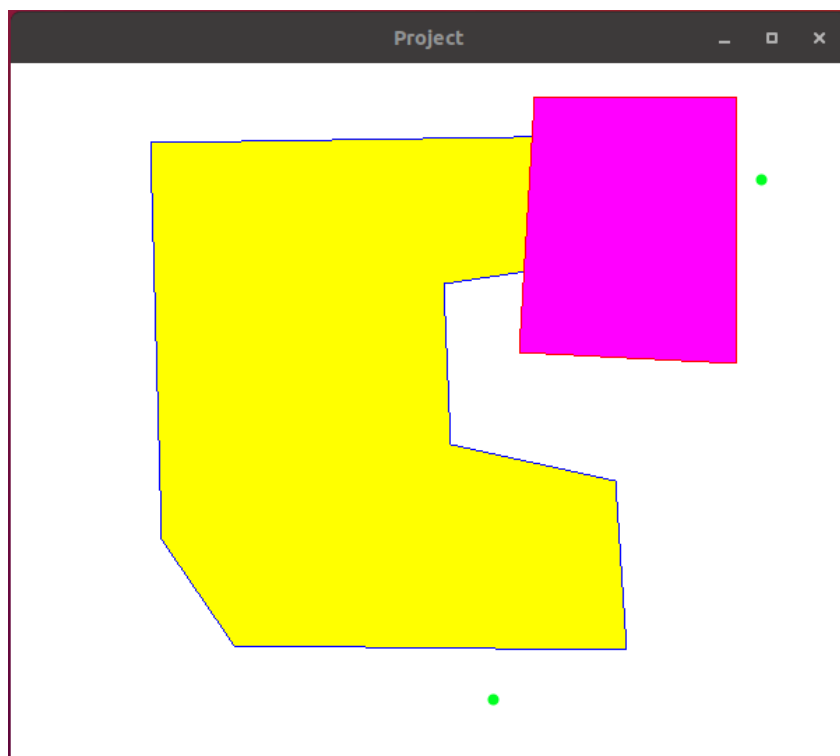
Με αριστερό κλικ στην επιλογή POLYGON μπορεί να σχεδιαστεί ένα πολύγωνο με τα επιλεγμένα χρώματα. Αρκεί να επιλεγούν τα σημεία του παραθύρου, που θα είναι οι κορυφές του πολυγώνου. Αυτό γίνεται με αριστερό κλικ του ποντικιού στα αντίστοιχα σημεία του παραθύρου με φορά αντίστροφη των δεικτών του ρολογιού. Αφού επιλεγθούν, απαιτείται δεξί κλικ του ποντικιού για να ολοκληρωθεί το πολύγωνο:



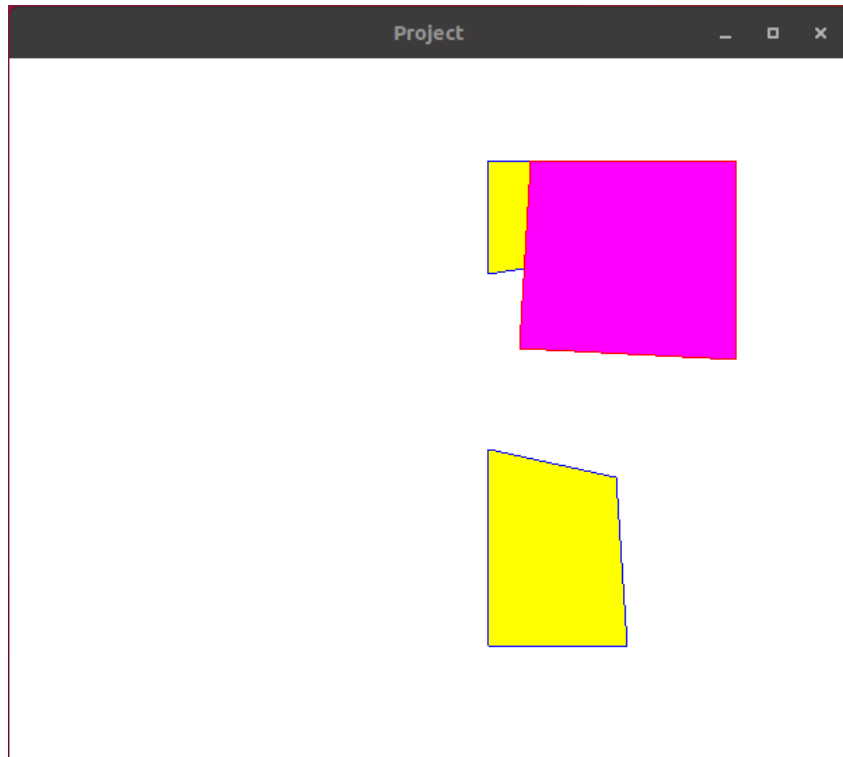
Με την ίδια διαδικασία μπορούν να σχεδιαστούν οσαδήποτε πολύγωνα. Έστω ακόμη ένα πολύγωνο χρώματος γραμμής Red και γεμίσματος Pink:



Ανοίγοντας ξανά το μενού, στο υπομενού ACTION, με την επιλογή CLIPPING μπορεί να εφαρμοστεί περικοπή των πολυγώνων με βάση ενός ορθογωνίου αποκοπής. Το ορθογώνιο αποκοπής επιλέγεται με δύο αριστερά κλικ, ένα στην κάτω αριστερά κορυφή του και ένα στην πάνω δεξιά. Για παράδειγμα αν τα δύο σημεία του ορθογωνίου αποκοπής είναι τα εξής:



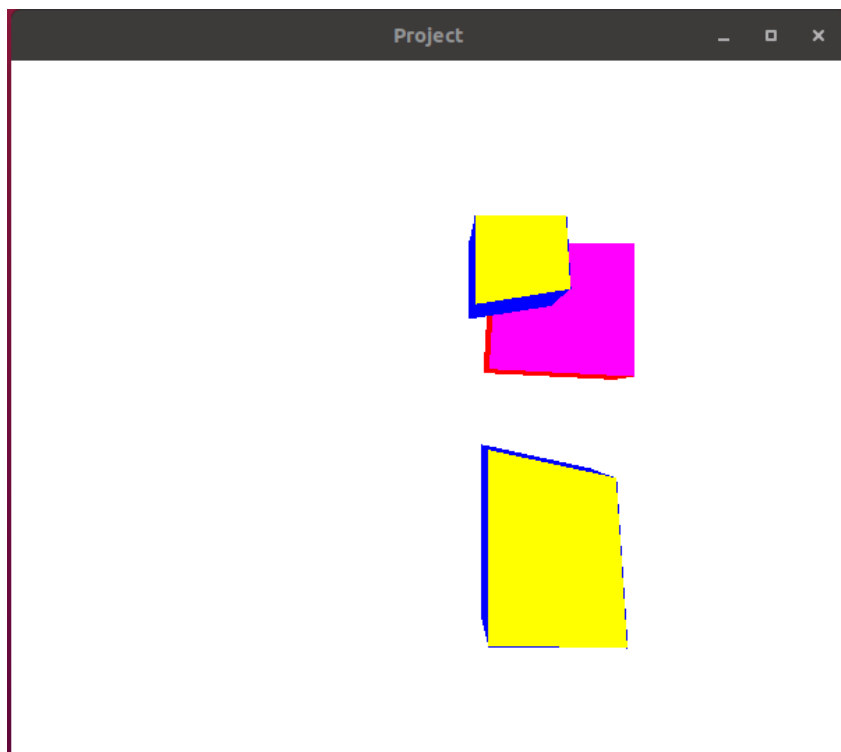
Τότε το αποτέλεσμα της αποκοπής θα είναι:






Στη συνέχεια, ανοίγοντας ξανά το μενού, στο υπομενού ACTION, με την επιλογή EXTRUDE, μπορεί να γίνει εξώθηση των πολυγώνων στις 3 διαστάσεις. Στο τερματικό επιλέγεται το μήκος εξώθησης του κάθε πολυγώνου ξεχωριστά:


```
Please insert extrude length for polygon 0: 80  
Please insert extrude length for polygon 1: 120  
Please insert extrude length for polygon 2: 100
```


Και στο παράθυρο εμφανίζεται το αποτέλεσμα:




Με τη χρήση των πλήκτρων , , ,  και των **P**, **L** μπορεί να πραγματοποιηθεί κίνηση στο χώρο. Πιο συγκεκριμένα,

 περιστροφή προς τα αριστερά

 περιστροφή προς τα δεξιά

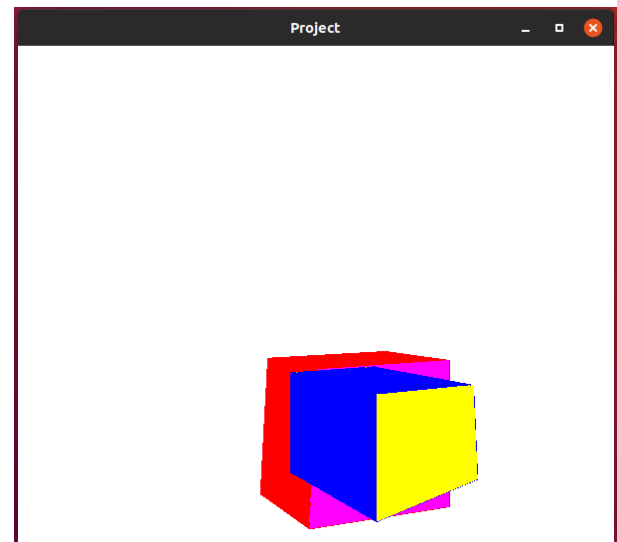
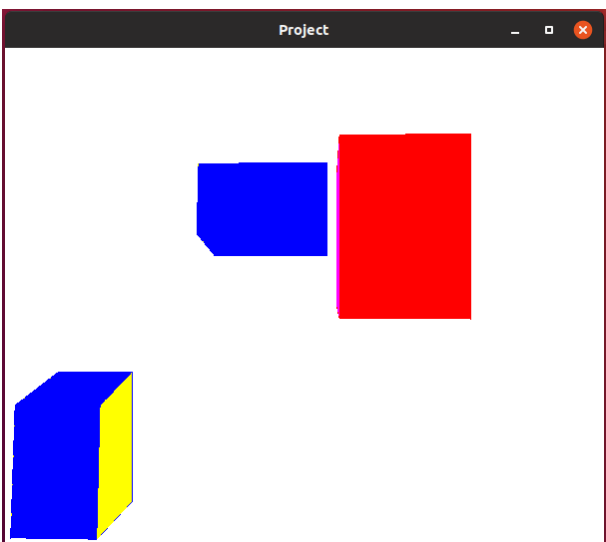
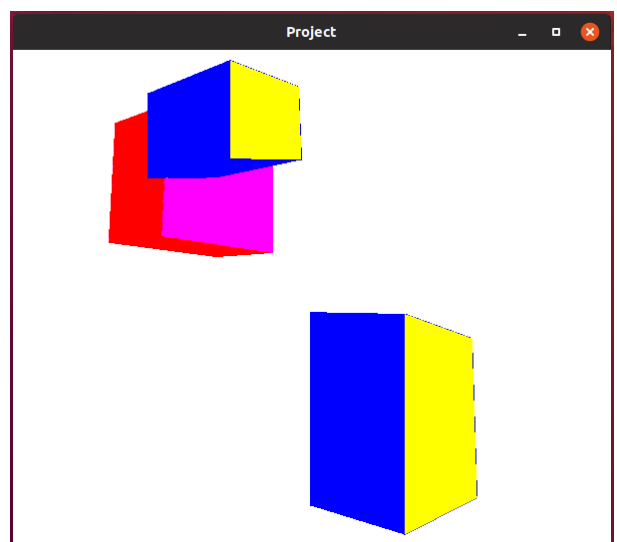
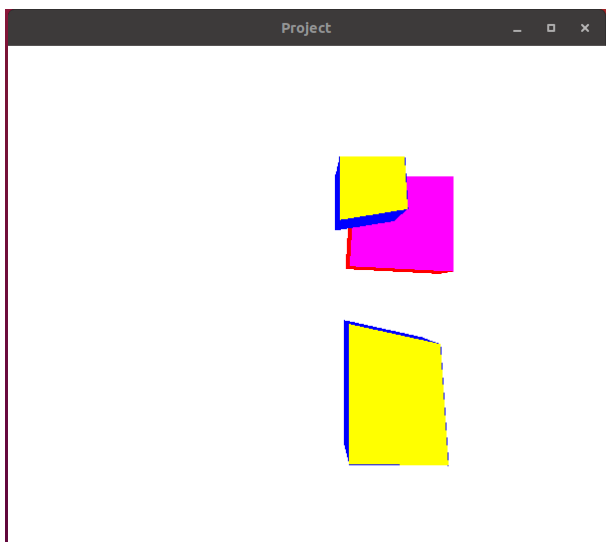
 κίνηση προς τα εμπρός

 κίνηση προς τα πίσω

P κίνηση προς τα πάνω

L κίνηση προς τα κάτω

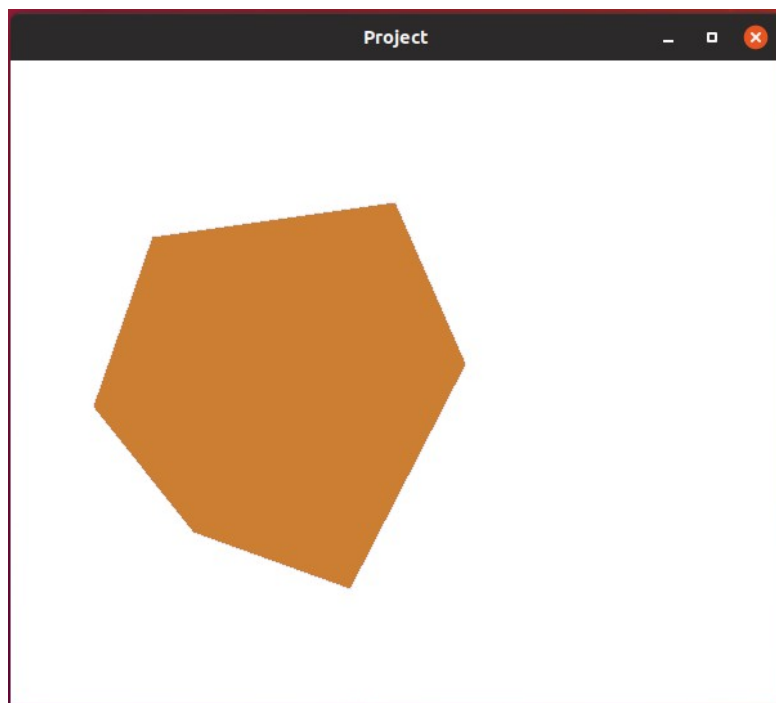
Για παράδειγμα, με κίνηση στο χώρο έχουμε:



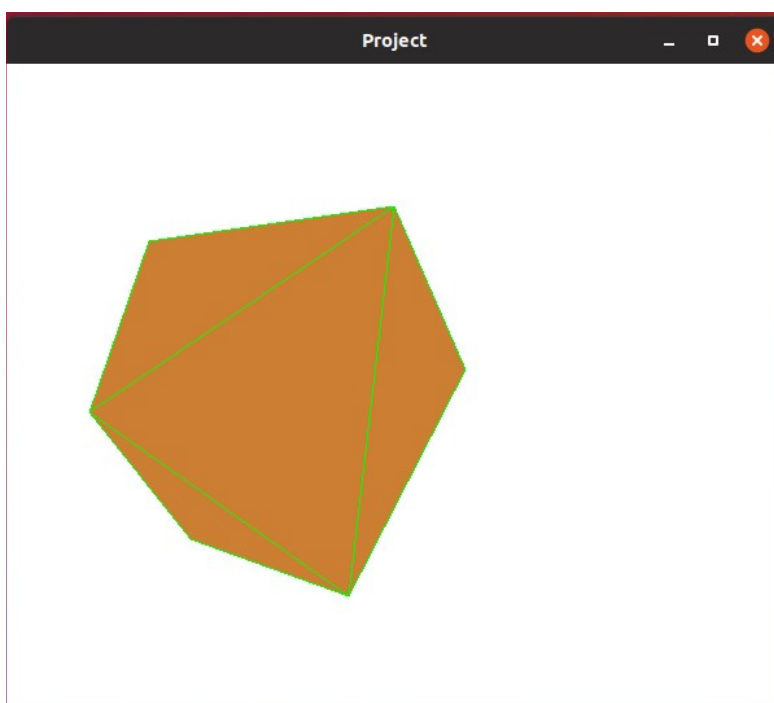
Τέλος, στο βασικό μενού, στο υπομενού ACTION, υπάρχει η επιλογή EXIT με την επιλογή της οποίας πραγματοποιείται έξοδος από το πρόγραμμα. Η ίδια λειτουργία εκτελείται και πατώντας το πλήκτρο ESC.

Παράδειγμα τριγωνοποίησης

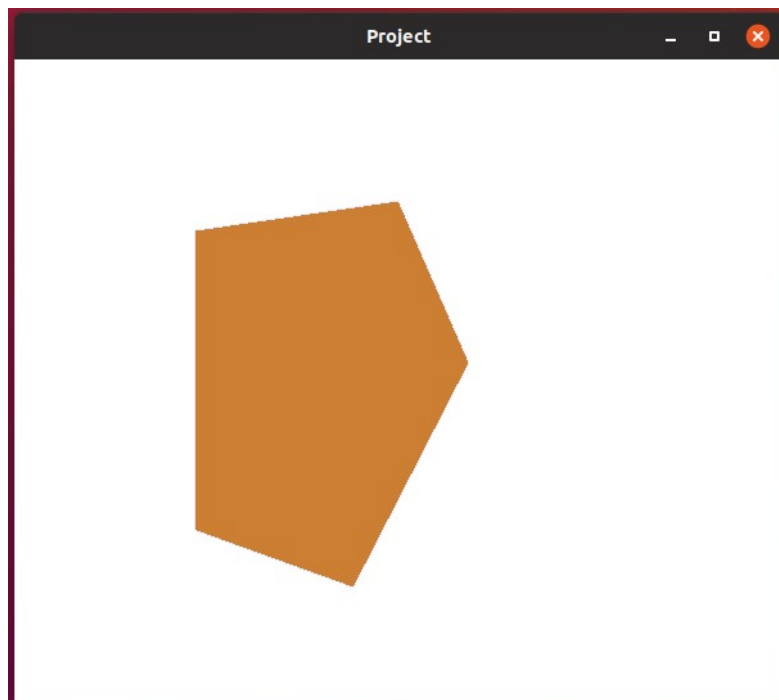
Με την παραπάνω διαδικασία σχεδιάζεται ένα πολύγωνο με χρώμα ακμών Silver και χρώμα γεμίσματος Gold:



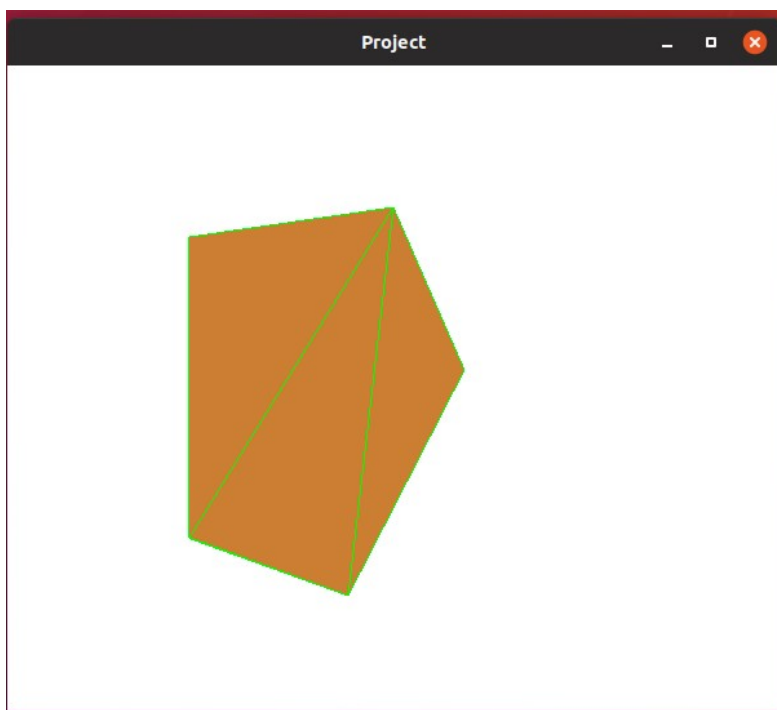
Στη συνέχεια, με το πάτημα του πλήκτρου T εμφανίζονται τα τρίγωνα της τριγωνοποίησης με πράσινο χρώμα ακμών:



Με την εφαρμογή αποκοπής στο πολύγωνο προκύπτει:

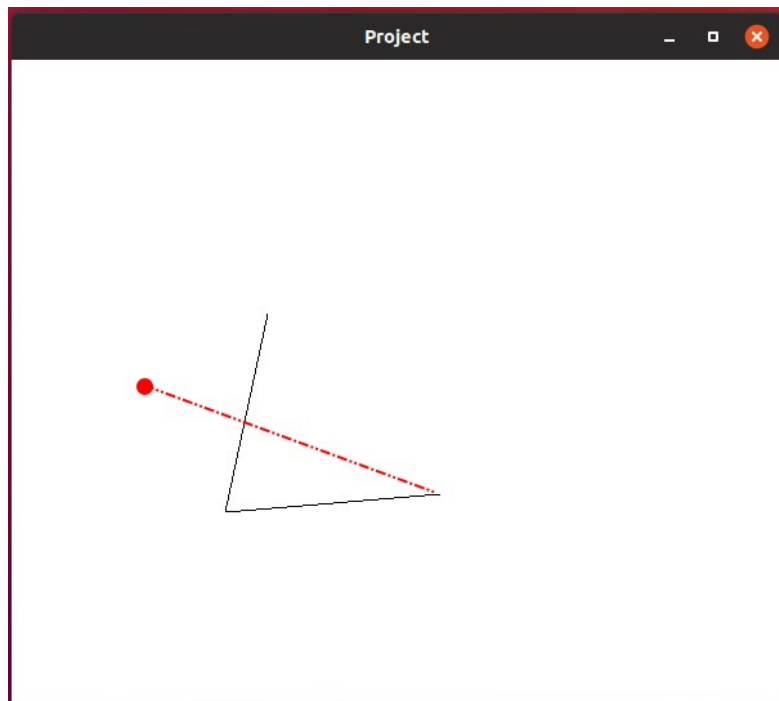


Στο αποκομμένο πολύγωνο μπορούν και πάλι να εμφανιστούν τα τρίγωνα της τριγωνοποίησης του, με το πάτημα του πλήκτρου T:



Παράδειγμα απαγόρευσης αυτοτεμνόμενων πολυγώνων

Εάν κατά τη σχεδίαση ενός πολυγώνου, δωθεί σημείο που σχηματίζει ευθεία που τέμνει κάποια άλλη ευθεία του, ο σχηματισμός του πολυγώνου διακόπτεται, διαγράφονται τα σημεία και οι ευθείες που το απαρτίζουν και εμφανίζεται μήνυμα σφάλματος στο τερματικό:



ERROR: INTERSECTION!!

Στη συνέχεια, ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει και άλλα πολύγωνα.