

---

# Εγχειρίδιο Εκμάθησης της Βιβλιοθήκης OpenGL

---

John Crabs

Αθήνα 2018





# Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>5</b>
1.1	Γενικά Στοιχεία για το Εγχειρίδιο	5
1.2	Εγκατάσταση των Απαραίτητων Βιβλιοθηκών	6
1.3	Άδεια	6
<b>2</b>	<b>Μία πρώτη ματιά στον κόσμο της OpenGL</b>	<b>7</b>
2.1	Βασική Θεωρία	7
2.1.1	Τι είναι η OpenGL	7
2.1.2	Η OpenGL ως μηχανή κατάστασης	7
2.2	Δημιουργία Παραθύρου με Χρήση της GLUT	8
2.2.1	Ανάλυση των Συναρτήσεων	9
2.2.1.A'	display(void)	10
2.2.1.B'	init(void)	10
2.2.1.Γ'	winCreate(void)	10
2.2.1.Δ'	OpenGL/GLUT Functions	11
2.3	Δημιουργία Παραθύρου με Χρήση του QtCreator	12
2.3.1	Ανάλυση των Συναρτήσεων	16
2.3.1.A'	initializeGL(void)	16
2.3.1.B'	paintGL(void)	16
2.3.1.Γ'	resizeGL(int w, int h)	16
2.3.1.Δ'	OpenGL Functions	17
<b>3</b>	<b>Απεικόνιση Απλής Κίνησης</b>	<b>19</b>
3.1	Βασική Θεωρία	19
3.1.1	Ο Μηχανισμός της Κίνησης	19
3.1.2	Ανανέωση με Παύσεις	20
3.2	Απεικόνιση Κίνησης σε Περιβάλλον GLUT	20
3.2.1	Ανάλυση των Συναρτήσεων	22
3.2.1.A'	reshape(int w, int h)	22
3.2.1.B'	mouse(int button, int state, int x, int y)	22
3.2.1.Γ'	OpenGL/GLUT Functions	23
3.3	Συνοπτική Περιγραφή του Αλγορίθμου Κίνησης	23
3.4	Απεικόνιση Κίνησης σε Περιβάλλον QtCreator	24
<b>4</b>	<b>Tic-Tac-Toe</b>	<b>29</b>
4.1	Βασική Θεωρία	29
4.1.1	Ενίσχυση της μέχρι τώρα θεωρίας της OpenGL	29
4.1.1.A'	Σύνταξη των συναρτήσεων OpenGL	29
4.1.1.B'	Τα ορίσματα της συνάρτησης glBegin(...)	30
4.1.1.Γ'	Οι διεπαφές της συνάρτησης glClear(...)	32

4.1.2	Δομή Προγράμματος - Αλγόριθμος . . . . .	33
4.2	Tic-Tac-Toe σε περιβάλλον GLUT . . . . .	34
4.3	Tic-Tac-Toe σε περιβάλλον QtCreator . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Πρότυπα Ευθειών</b>	<b>53</b>
5.1	Βασική Θεωρία . . . . .	53
5.1.1	Σημεία . . . . .	53
5.1.2	Ευθείες . . . . .	53
5.1.3	Μοτίβα Ευθειών . . . . .	53
5.2	Απεικόνιση Μοτίβων Ευθειών σε περιβάλλον GLUT . . . . .	54
<b>6</b>	<b>Σχεδίαση Πολυγώνων</b>	<b>57</b>
6.1	Βασική Θεωρία . . . . .	57
6.1.1	Πολύγωνα . . . . .	57
6.1.2	Σχεδιασμός καμπύλων γραμμών-επιφανειών . . . . .	57
6.1.3	Λεπτομέρειες Πολυγώνων . . . . .	57
6.1.3.A'	Πολύγωνα ως Σημεία, Αδιαφανή ή Συμπαγή . . . . .	58
6.1.3.B'	Αναστροφή κι Σκούπισμα Όψης Πολυγώνου . . . . .	58
6.1.3.Γ'	Ταπετσαρίες Πολυγώνων . . . . .	59
6.1.3.Δ'	Σημαδεύοντας τις Ακμές των Ορίων των Πολυγώνων . . . . .	60
6.2	Σχεδίαση Μοτίβων Ταπετσαρίας σε περιβάλλον GLUT . . . . .	61

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

### 1.1 Γενικά Στοιχεία για το Εγχειρίδιο

Το παρόν εγχειρίδιο προσπαθεί να αποτελέσει έναν εύκολα προσβάσιμο κι εύκολα κατανοητό οδηγό εκμάθησης της βιβλιοθήκης γραφικών OpenGL. Κύριο μέλημά του είναι η εξοικείωση του αναγνώστη, τόσο με τις συναρτήσεις/εντολές της βιβλιοθήκης, όσο και με τη φιλοσοφία που κρύβεται πίσω από αυτές (προγραμματιστική λογική, μαθηματικά μοντέλα...).

Προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος, ο οδηγός χωρίζεται σε ενότητες με παραδείγματα. Κάθε παράδειγμα στηρίζεται σε κάποια βασική θεωρεία, στην οποία θα εξηγούνται τόσο οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται στο παράδειγμα, όσο και η λογική σειρά με την οποία αυτές πρέπει να εκτελεστούν. Τέλος για την καλύτερη κατανόηση, αλλά και για τη δημιουργία χρήσιμων παραδειγμάτων κώδικα, κάθε παράδειγμα θα εκφράζεται με δύο διαφορετικούς τρόπους.

Ο πρώτος τρόπος έκφρασης είναι η χρήση της βιβλιοθήκης GLUT, για τη δημιουργία παραθύρου. Αυτός ο τρόπος αποτελεί μία εύκολη μέθοδο για την εκμάθηση και καλύτερη κατανόηση της βιβλιοθήκης OpenGL. Είναι ο τρόπος υπόδειξης των παραδειγμάτων του οδηγού OpenGL Programming Guide 2nd Edition, από τον οποίο έχουν παρθεί και τροποποιηθεί αρκετά από τα παραδείγματα, ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες του παρόντος εγχειρίδιου.

Ο δεύτερος τρόπος έκφρασης των παραδειγμάτων, είναι με τη χρήση του περιβάλλοντος QtCreator για τη διαχείριση παραθύρων. Αν και ο κώδικας είναι ελαφρώς πιο σύνθετος, συγκριτικά με τον πρώτο τρόπο, τα αρχεία κώδικα που δημιουργούνται αποτελούν χρήσιμο υλικό για τη δημιουργία εφαρμογών αργότερα. Επιπλέον, για να μη δημιουργηθεί σύγχυση, όπου κρίνεται απαραίτητο θα αναλύονται και οι συναρτήσεις/εντολές των βιβλιοθηκών του Qt.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να ειπωθεί, πως το παρόν εγχειρίδιο θεωρεί δεδομένη τη βασική εξοικείωση του χρήστη με τη γλώσσα προγραμματισμού C/C++.

Τέλος, μπορεί κανείς να βρει τα παραδείγματα που περιγράφονται στο παρόν εγχειρίδιο, μαζί με τον οδηγό, καθώς κι άλλο χρήσιμο υλικό, στη σελίδα μου στο github.

<https://github.com/JohnCrabs>

## 1.2 Εγκατάσταση των Απαραίτητων Βιβλιοθηκών

Προκειμένου να μην υπάρξουν τεχνικές δυσκολίες, είναι αναγκαίο να εγκατασταθούν οι παρακάτω βιβλιοθήκες και προγράμματα:

- gl.h
- glu.h
- glut.h
- glew.h
- QtCreator

Οι τέσσερις βιβλιοθήκες που σχετίζονται με την OpenGL είναι απαραίτητες να υπάρχουν στο σύστημα. Η εγκατάσταση του QtCreator δεν είναι υποχρεωτική, ωστόσο η μη εγκατάσταση του θέτει αδύνατη τη χρήση των παραδειγμάτων που ακολουθούν το δεύτερο τρόπο έκφρασης.

Ο τρόπος εγκατάστασης των παραπάνω βιβλιοθηκών, διαφέρει ανάλογα το λειτουργικό σύστημα και επειδή υπάρχει μπόλικο υλικό στο διαδίκτυο σχετικά με το πως μπορούν να εγκατασταθούν, δε θα αναφερθεί κάποια μέθοδος εγκατάστασης.

## 1.3 Άδεια



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

## Κεφάλαιο 2

# Μία πρώτη ματιά στον κόσμο της OpenGL

### 2.1 Βασική Θεωρεία

#### 2.1.1 Τι είναι η OpenGL

Η OpenGL αποτελεί τη διεπαφή μεταξύ ενός λογισμικού και του υλικού συστήματος γραφικών του υπολογιστή. Η διεπαφή αυτή αποτελείται από περίπου 150 διακριτές εντολές, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό ενός αντικειμένου και των διαδικασιών που απαιτούνται ώστε να δημιουργηθούν διαδραστικές τριδιάστατες εφαρμογές.

Η OpenGL λειτουργεί ανεξαρτήτως υλικού συστήματος και είναι συμβατή με πολλές πλατφόρμες. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, η OpenGL δε διαθέτει καμία εντολή διαχείρισης παραθύρων ή αλληλεπίδρασης του χρήστη με το πρόγραμμα, αλλά αντιθέτως μπορεί να συνεργαστεί με το οποιοδήποτε σύστημα διαχείρισης παραθύρων και περιφερειακού υλικού (στο παρόν εγχειρίδιο τα συστήματα αυτά είναι η βιβλιοθήκη GLUT και το λογισμικό QCreator). Τέλος η OpenGL δεν παρέχει υψηλού επιπέδου εντολές για την περιγραφή μοντέλων ή τριδιάστατων αντικειμένων. Η δημιουργία τέτοιων μοντέλων πραγματοποιείται με τη χρήση ενός μικρού σετ από γεωμετρικά πρότυπα (σημεία, ευθείες και πολύγωνα), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν οποιοδήποτε σύνθετο μοντέλο.

#### 2.1.2 Η OpenGL ως μηχανή κατάστασης

Η OpenGL είναι μία μηχανή κατάστασης. Αυτό σημαίνει ότι κατά τη δημιουργία ενός προγράμματος, ο προγραμματιστής ορίζει διάφορες καταστάσεις, οι οποίες παραμένουν ενεργές έως ότου τροποποιηθούν. Ένα παράδειγμα είναι ο ορισμός του χρώματος σχεδιασμού ως άσπρο, κόκκινο κλπ. Όταν οριστεί ένα χρώμα, τότε κάθε φορά που σχεδιάζεται στην οθόνη ένα μοντέλο, θα εμφανιστεί με αυτό το χρώμα έως ότου οριστεί ένα νέο. Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα προβολικά συστήματα και οι μετασχηματισμοί, οι οποίοι καθορίζουν το πως θα απεικονιστούν τα σχεδιασμένα αντικείμενα στην οθόνη. Σε επόμενα παραδείγματα θα γίνει περαιτέρω ανάλυση αυτών των καταστάσεων.

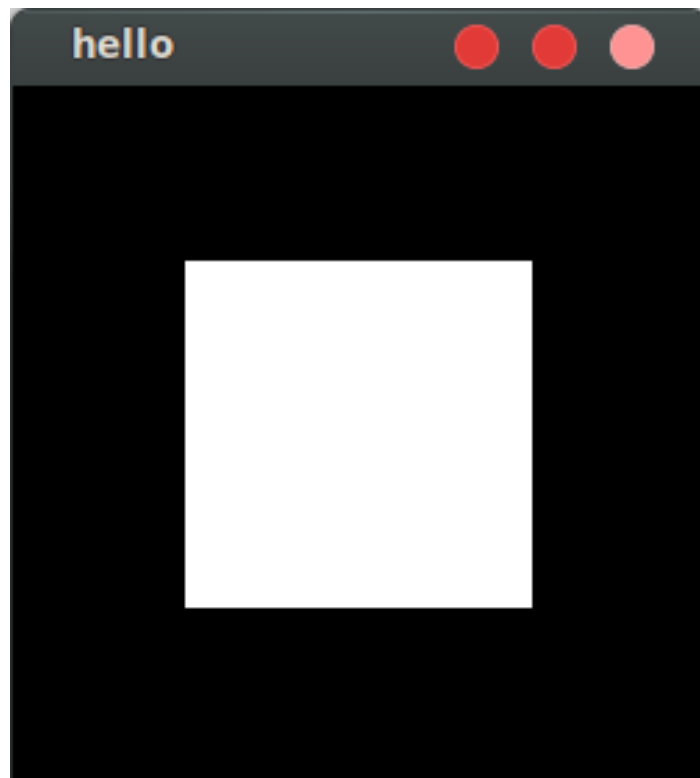
## 2.2 Δημιουργία Παραθύρου με Χρήση της GLUT

```
1  /******  
2  /* main.cpp */  
3  /******  
4  
5  #include <GL/gl.h>  
6  #include <GL/glut.h>  
7  
8  #define MY_WIN_WIDTH 250  
9  #define MY_WIN_HEIGHT 250  
10 #define MY_WIN_POS_X 100  
11 #define MY_WIN_POS_Y 100  
12 #define MY_WIN_TITLE "hello"  
13  
14 void display(void) {  
15     //clear all pixels  
16     glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);  
17  
18     /* draw white polygon (rectangle) with corners at  
19      * (0.25, 0.25, 0.0) and (0.75, 0.75, 0.0)  
20      */  
21     glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);  
22     glBegin(GL_POLYGON);  
23         glVertex3f(0.25, 0.25, 0.0);  
24         glVertex3f(0.75, 0.25, 0.0);  
25         glVertex3f(0.75, 0.75, 0.0);  
26         glVertex3f(0.25, 0.75, 0.0);  
27     glEnd();  
28  
29     /* don't wait!  
30      * start processing buffered OpenGL routines  
31      */  
32     glFlush();  
33 }  
34  
35 void init(void) {  
36     /* select clearing (background) color */  
37     glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);  
38  
39     /* initialize viewing values */  
40     glMatrixMode(GL_PROJECTION);  
41     glLoadIdentity();  
42     glOrtho(0.0, 1.0, 0.0, 1.0, -1.0, 1.0);  
43 }  
44  
45 void winCreate(void) {  
46     glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGB);  
47     glutInitWindowSize(MY_WIN_WIDTH, MY_WIN_HEIGHT);  
48     glutInitWindowPosition(MY_WIN_POS_X, MY_WIN_POS_Y);  
49     glutCreateWindow(MY_WIN_TITLE);  
50 }
```



```
51 /*
52  * Declares initial window size , position and display mode
53  * (single buffer and RGB). Open window with "hello"
54  * in its title bar. Call initialization routines.
55  * Register callback function to display graphics.
56  * Enter main loop and process events.
57  */
58 int main(int argc , char** argv)
59 {
60     glutInit(&argc , argv);
61     winCreate();
62     init();
63     glutDisplayFunc(display);
64     glutMainLoop();
65     return 0;
66 }
```

Παραπάνω φαίνεται ο κώδικας ενός απλού προγράμματος, που ανοίγει ένα παράθυρο και ζωγραφίζει σε αυτό ένα άσπρο ορθογώνιο, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.1: Δημιουργία Παραθύρου με χρήση της GLUT

### 2.2.1 Ανάλυση των Συναρτήσεων

Με μία πρώτη ματιά στον παραπάνω κώδικα παρατηρούνται τρεις βασικές συναρτήσεις.

- display(void)
- init(void)
- winCreate(void)

### 2.2.1.A' display(void)

Η συνάρτηση αυτή αποτελεί μία από τις τρεις βασικές και απαραίτητες συναρτήσεις που πρέπει να έχει ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιεί τη βιβλιοθήκη OpenGL. Οι άλλες δύο συναρτήσεις είναι οι:

- `init(void)`
- `resize(int w, int h)`

Η συνάστηρη `display(void)` διαχειρίζεται το τι πρέπει να σχεδιαστεί στην οθόνη και με ποια σειρά. Αυτό επιτυγχάνεται με την εντολή `glutDisplayFunc(display)` που καλείται στη συνάρτηση `main(...)`.

### 2.2.1.B' init(void)

Η συνάρτηση αυτή αποτελεί μία από τις τρεις βασικές και απαραίτητες συναρτήσεις που πρέπει να έχει ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιεί τη βιβλιοθήκη OpenGL. Οι άλλες δύο συναρτήσεις είναι οι:

- `display(void)`
- `resize(int w, int h)`

Η συνάστηρη `init(void)` αρχικοποιεί τις βασικές καταστάσεις της OpenGL, όπως είναι το χρώμα με το οποίο θα καθαρίζεται φόντο, χρησιμοποιώντας την εντολή `glClearColor(...)`. Επιπλέον η συνάρτηση αυτή περιέχει και το τι είδους προσανατολισμούς και μαθηματικά μοντέλα θα χρησιμοποιηθούν για την απεικόνιση.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα αυτά που αρχικοποιεί η συνάρτηση αυτή είναι ελάχιστα, σε πιο προχωρημένα παραδείγματα, ωστόσο, η συνάρτηση θα αρχικοποιεί παραπάνω παραμέτρους, όπως είναι το βάθος, η φωτεινότητα και άλλες χρήσιμες καταστάσεις, ώστε να δημιουργηθεί ένα πιο ρεαλιστικό γραφικό περιβάλλον.

### 2.2.1.Γ' winCreate(void)

Η συνάρτηση αυτή περιέχει τις βασικές συναρτήσεις για τη δημιουργία ενός παραθύρου GLUT. Οι συναρτήσεις αυτές θα μπορούσαν κάλλιστα να βρίσκονταν απευθείας στη `main(...)`, ωστόσο, είναι καλύτερα προγραμματιστικά εάν η συνάρτηση `main(...)` είναι μικρή σε έκταση. Οι συναρτήσεις της βιβλιοθήκης GLUT που χρησιμοποιούνται εντός της συνάρτησης είναι οι εξής:

- **glutInitDisplayMode(unsigned int mode):** Η συνάρτηση αρχικοποίησης λειτουργιών εμφάνισης χρησιμοποιείται όταν δημιουργούνται παράθυρα, δευτερεύοντα παράθυρα και επικαλύψεις ανωτέρου επιπέδου, για να καθορίζεται η λειτουργία απεικόνισης της OpenGL, για το παράθυρο ή την επικάλυψη που πρόκειται να δημιουργηθεί.
- **glutInitWindowSize(int width, int height):** Καθορίζει τις αρχικές διαστάσεις του παραθύρου.
- **glutInitWindowPosition(int x, int y):** Καθορίζει την αρχική θέση του παραθύρου στην οθόνη.
- **glutCreateWindow(char\* title):** Δημιουργεί ένα παράθυρο υψηλού επιπέδου με τίτλο την εισαχθείσα ροή.

### 2.2.1.Δ' OpenGL/GLUT Functions

- **glClear**(GLbitfield mask): Καθαρίζει τα pixel της οθόνης με τις προκαθορισμένες τιμές που έχουν οριστεί πρωτίτερα με την αρχικοποίηση των αντίστοιχων καταστάσεων.
- **glColor3f**(GLfloat red, GLfloat green, GLfloat blue): Είναι μία από τις πολλές παραλλαγές της συνάρτησης που καθορίζει την κατάσταση του χρώματος σχεδίασης.
- **glBegin**(GLenum mode), **glEnd**(): Οτιδήποτε βρίσκεται εντός των δύο αυτών συναρτήσεων θα σχεδιαστεί στην οθόνη. Η συνάστηση **glBegin**(...) δέχεται σαν όρισμα την πρωτεύουσα γεωμετρική δομή σχεδίασης.
- **glVertex3f**(GLfloat x, GLfloat y, GLfloat z): Είναι μία από τις πολλές παραλλαγές της συνάρτησης που ορίζει τη θέση ενός κόμβου σχεδίασης.
- **glFlush**(void): Αδειάζει τα buffer, προκειμένου να δημιουργήσει χώρο και να επιταχύνει τη διαδικασία σχεδίασης σε πεπερασμένο χρόνο.
- **glClearColor**(GLclampf red, GLclampf green, GLclampf blue, GLclampf alpha): Προσδιορίζει το ποσοστό συμμετοχής του κόκκινου, πράσινου, μπλε και αδιαφάνειας με το οποίο θα καθαρίζεται ο ρυθμιστής χρώματος. Οι προκαθορισμένες τιμές των παραμέτρων είναι 0.
- **glMatrixMode**(GLenum mode): Καθορίζει ποια στοίβας μήτρας είναι ο στόχος για τις επόμενες λειτουργίες μήτρας. Οι επιτρεπόμενες τιμές είναι οι `GL_PROJECTION`, `GL_MODELVIEW`, `GL_TEXTURE`. Η προκαθορισμένη τιμή είναι `GL_MODELVIEW`.
- **glLoadIdentity**(void): Αντικαθιστά την υφιστάμενη μήτρα με τη μήτρα που καθορίστηκε από τη συνάρτηση **glMatrixMode**(...).
- **glOrtho**(GLdouble left, GLdouble right, GLdouble bottom, GLdouble top, GLdouble nearVal, GLdouble farVal): Καθορίζει τις συντεταγμένες του αριστερού και δεξιού κατακόρυφων επιπέδων, του κάτω και πάνω οριζόντιων επιπέδων και των επιπέδων του βάθους.
- **glutInit**(int \*argc, char \*\*argv): Αρχικοποιεί τα συστήματα και υποσυστήματα της βιβλιοθήκης GLUT.
- **glutMainLoop**(void): Εισέρχεται στον κύριο ατέρμονο βρόγχο κι εκτελεί όλες τις παραπάνω συναρτήσεις. Δίχως αυτή τη συνάρτηση, δεν εμφανίζεται τίποτα στην οθόνη.

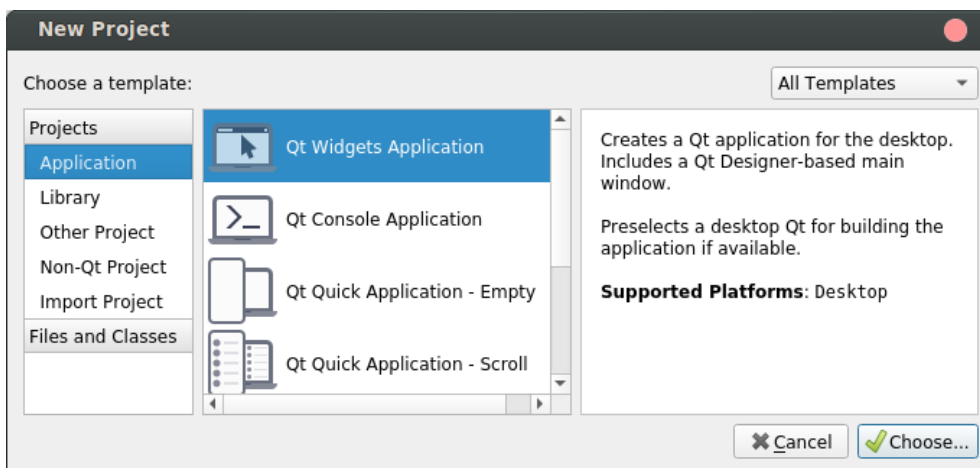
Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί, ότι μπορούν να βρεθούν εκτενέστερες περιγραφές για τις παραπάνω συναρτήσεις της OpenGL και GLUT στους παρακάτω ιστοχώρους.

- <https://www.khronos.org/registry/OpenGL-Refpages/gl2.1/>
- <https://www.opengl.org/resources/libraries/glut/spec3/node1.html>

## 2.3 Δημιουργία Παραθύρου με Χρήση του QtCreator

Η Δημιουργία παραθύρου με χρήση του περιβάλλοντος QtCreator, απαιτεί κάποια στάδια, τα οποία διευκολύνουν τη διαδικασία. Τα στάδια είναι τα εξής:

**New Project → Application → Qt Widgets Application**



Σχήμα 2.2: Δημιουργία Qt Widgets Application

Στη συνέχεια πραγματοποιούνται οι κατάλληλες επιλογές και δημιουργούνται τα αρχεία **main.cpp**, **mainwindow.h**, **mainwindow.cpp** και **mainwindow.ui**.

Πριν ωστόσο αρχίσει το βασικό κομμάτι του προγραμματισμού, πρέπει να πραγματοποιηθούν δύο ακόμα στάδια.

Το πρώτο στάδιο είναι δημιουργία της κλάσης **GLWidget**, η οποία πρέπει να συνοδεύεται από τη βιβλιοθήκη **QGLWidget**. Η δημιουργία της κλάσης δημιουργεί τα αρχεία **glwidget.h** και **glwidget.cpp**.

Το δεύτερο στάδιο είναι η τροποποίηση του αρχείου **ProjectName.pro**, ώστε να περιέχει τους φακέλους και τις κατάλληλες σημαίες, για να αναγνωρίζει τις συναρτήσεις της βιβλιοθήκης OpenGL και τη διαδικασία του **compile**.

Τέλος χρειάζεται να σημειωθεί ότι για στο αρχείο **mainwindow.ui** πρέπει να δημιουργηθεί ένα **Widget**, το οποίο στη συνέχεια θα συνδεθεί με την κλάση **GLWidget**, χρησιμοποιώντας της επιλογής **Promote to**. Όσον αφορά την αλλαγή του ονόματος του παραθύρου, στο αρχείο **mainwindow.ui** και στις ιδιότητες του **MainWindow** αρχεί να αλλάξει το όνομα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

contextMenuPolicy	DefaultContextMenu
acceptDrops	<input type="checkbox"/>
▶ <b>windowTitle</b>	Hello
▶ <b>windowIcon</b>	
windowOpacity	1.000000

Σχήμα 2.3: Αλλαγή του Ονόματος Παραθύρου

Στις επόμενες σελίδες φαίνονται τα αρχεία κώδικα.

```

1 #-----
2 #
3 # Project created by QtCreator 2018-02-05T17:43:03
4 #
5 #-----
6
7 QT      += core gui opengl
8
9 greaterThan(QT_MAJOR_VERSION, 4): QT += widgets
10
11 TARGET = 03_Qt_version
12 TEMPLATE = app
13
14 # The following define makes your compiler emit warnings if you use
15 # any feature of Qt which has been marked as deprecated (the exact warnings
16 # depend on your compiler). Please consult the documentation of the
17 # deprecated API in order to know how to port your code away from it.
18 DEFINES += QT_DEPRECATED_WARNINGS
19
20 # You can also make your code fail to compile if you use deprecated APIs.
21 # In order to do so, uncomment the following line.
22 # You can also select to disable deprecated APIs only up to a certain version
23 # of Qt.
24 #DEFINES += QT_DISABLE_DEPRECATED_BEFORE=0x060000    # disables all the APIs
25 # deprecated before Qt 6.0.0
26
27 SOURCES += \
28     main.cpp \
29     mainwindow.cpp \
30     glwidget.cpp
31
32 HEADERS += \
33     mainwindow.h \
34     glwidget.h
35
36 FORMS += \
37     mainwindow.ui
38
39 LIBS += -lGL -lGLEW -lglut -lGLU

```

```

1 /*******/
2 /* main.cpp */
3 /*******/
4
5 #include "mainwindow.h"
6 #include <QApplication>
7
8 int main(int argc, char *argv[])
9 {
10     QApplication a(argc, argv);
11     MainWindow w;
12     w.show();
13
14     return a.exec();
15 }

```

```

1  /*****
2  /*mainwindow.h */
3  *****/
4
5  #ifndef MAINWINDOW_H
6  #define MAINWINDOW_H
7
8  #include <QMainWindow>
9
10 namespace Ui {
11 class MainWindow;
12 }
13
14 class MainWindow : public QMainWindow
15 {
16     Q_OBJECT
17
18 public:
19     explicit MainWindow(QWidget *parent = 0);
20     ~MainWindow();
21
22 private:
23     Ui::MainWindow *ui;
24 };
25
26 #endif // MAINWINDOW_H

```

```

1  /*****
2  /*mainwindow.cpp */
3  *****/
4
5  #include "mainwindow.h"
6  #include "ui_mainwindow.h"
7
8  MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) :
9     QMainWindow(parent),
10     ui(new Ui::MainWindow)
11 {
12     ui->setupUi(this);
13 }
14
15 MainWindow::~MainWindow()
16 {
17     delete ui;
18 }

```

```

1  /*****
2  /*glwidget.h */
3  *****/
4
5  #ifndef GLWIDGET_H
6  #define GLWIDGET_H
7
8  #include <QGLWidget>
9  #include <QTimer>
10
11 class GLWidget : public QGLWidget
12 {
13     Q_OBJECT

```

```

14 public:
15     explicit GLWidget(QWidget *parent = nullptr);
16
17     void initializeGL(void);
18
19     void paintGL(void);
20
21     void resizeGL(int w, int h);
22
23 private:
24     QTimer GLtimer;
25 };
26
27 #endif // GLWIDGET_H

```

```

1  /******
2  /* glwidget.cpp */
3  /******
4
5  #include "glwidget.h"
6  #include <GL/glu.h>
7
8  GLWidget::GLWidget(QWidget *parent) : QGLWidget(parent)
9  {
10     //Update Window every 30ms
11     connect(&GLtimer, SIGNAL(timeout()), this, SLOT(updateGL()));
12     GLtimer.start(30);
13 }
14
15 /* Same as init(void) */
16 void GLWidget::initializeGL(void) {
17     glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0); //Set Clear Color State
18 }
19
20
21 /* Same as display(void) */
22 void GLWidget::paintGL(void) {
23     glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT); //Clear Window Background
24
25     glColor3f(1.0, 1.0, 1.0); //Set Draw Color to WHITE
26
27     //Draw rectangle
28     glBegin(GL_POLYGON);
29         glVertex3f(0.25, 0.25, 0.0);
30         glVertex3f(0.75, 0.25, 0.0);
31         glVertex3f(0.75, 0.75, 0.0);
32         glVertex3f(0.25, 0.75, 0.0);
33     glEnd();
34 }
35
36 /* Same as reshape(int w, int h) */
37 void GLWidget::resizeGL(int w, int h) {
38     glViewport(0, 0, (GLint)w, (GLint)h);
39     glMatrixMode(GL_PROJECTION);
40     glLoadIdentity();
41     glOrtho(0.0, 1.0, 0.0, 1.0, -1.0, 1.0);
42 }

```

Αυτά που πρέπει να σημειωθούν είναι ότι το αρχείο `ProjectName.pro` πρέπει να είναι όπως φαίνεται παραπάνω, ενώ τα αρχεία `main.cpp`, `mainwindow.h` και `mainwindow.cpp` όσον αφορά τη διαχείριση της OpenGL μένουν ως έχουν. Τα αρχεία `mainwindow.h` και `mainwindow.cpp` αποτελούν το συνδετικό κρίκο όλων των διαδικασιών που πραγματοποιούνται από την εφαρμογή, ωστόσο αυτό έχει να κάνει καθαρά με τη διαχείριση Qt παραθύρων κι έτσι δε θα πραγματοποιηθούν εκτενείς αναλύσεις (στο παρόν εγχειρίδιο θα αναλύονται μόνον ότι έχει να κάνει με την OpenGL και το πως αυτή μπορεί να συνεργαστεί με το Qt).

### 2.3.1 Ανάλυση των Συναρτήσεων

Αυτό που πρέπει να επισημανθεί σε αυτή την ενότητα είναι ότι στο περιβάλλον Qt, εφόσον στο αρχείο `glwidget.h` περιέχεται η βιβλιοθήκη **QGLWidget**, είναι πως δε χρειάζεται να γίνει τίποτε περισσότερο από τη δημιουργία των τριών βασικών συναρτήσεων της βιβλιοθήκης OpenGL με συγκεκριμένο όνομα. Επιπλέον χρειάζεται να δημιουργηθεί κι ένα χρονόμετρο `QTimer`, το οποίο θα ανανεώνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα το παράθυρο.

Αυτό επιτυγχάνεται με τον εξής τρόπο:

- Στην κλάση `GLWidget` δημιουργείται μία ιδιωτική μεταβλητή `QTimer GLtimer`.
- Στο constructor της κλάσης στο αρχείο `glwidget.cpp` προστίθενται οι εξής γραμμές:  
`connect(&GLtimer, SIGNAL(timeout()), this, SLOT(UpdateGL()));`  
`GLtimer.start(30);`

Τέλος οι τρεις βασικές συναρτήσεις που πρέπει να περιέχονται στην κλάση είναι οι εξής:

- `initializeGL(void)`
- `paintGL(void)`
- `resizeGL(int w, int h)`

#### 2.3.1.A' initializeGL(void)

Η συνάρτηση αυτή είναι η ίδια με την `init(void)` που χρησιμοποιείται στη δημιουργία παραθύρου μέσω GLUT. Αυτό που πρέπει να παρατηρηθεί είναι πως στη συνάρτηση αυτή τοποθετούνται μόνον οι συναρτήσεις που δίνουν ορίζουν αρχικές τιμές. Οι συναρτήσεις που διαχειρίζονται τους προσανατολισμούς και γενικά το πως θα προβληθούν στην οθόνη τα γεωμετρικά στοιχεία, τοποθετούνται στη συνάρτηση `resizeGL(int w, int h)`.

#### 2.3.1.B' paintGL(void)

Η συνάρτηση αυτή είναι η ίδια με την `display(void)` που χρησιμοποιείται στη δημιουργία παραθύρου μέσω GLUT. Οτιδήποτε χρειάζεται να σχεδιαστεί στην οθόνη, τοποθετείται σε αυτή τη συνάρτηση.

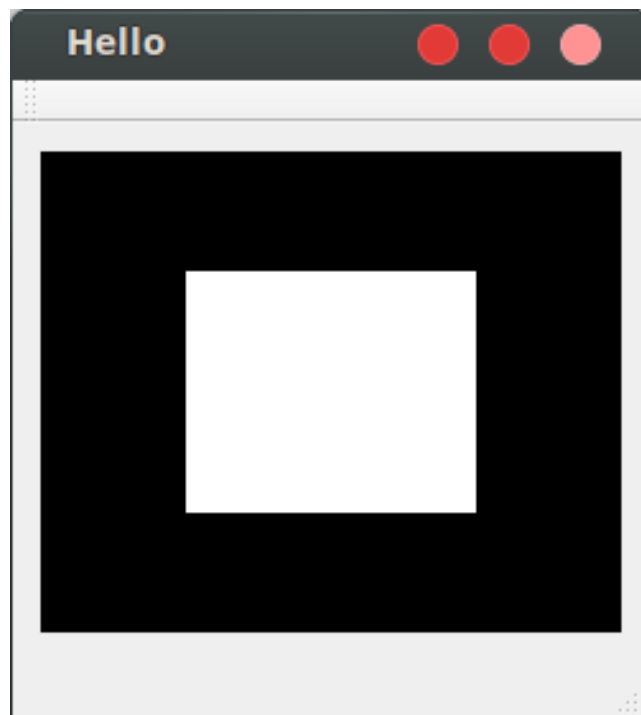
#### 2.3.1.Γ' resizeGL(int w, int h)

Η συνάρτηση αυτή αποτελεί στην τρίτη βασική συνάρτηση που απαιτείται να έχει ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιεί τη βιβλιοθήκη OpenGL και αντιστοιχεί στη συνάρτηση `reshape(int w, int h)` που θα χρησιμοποιηθεί στο επόμενο παράδειγμα. Η συνάρτηση αυτή περιέχει όλα εκείνα τα στοιχεία που απαιτούνται ώστε να προσδιοριστεί το πως θα απεικονιστούν τα γεωμετρικά στοιχεία στην οθόνη.



### 2.3.1.Δ' OpenGL Functions

- **glViewport**(GLint x, GLint y, GLsizei width, GLsizei height): Καθορίζει τα στοιχεία του αφινικού μετασχηματισμού των x και y από κανονικοποιημένες συντεταγμένες σε συντεταγμένες παραθύρου.



Σχήμα 2.4: Το απεικονιζόμενο παράθυρο με χρήση του QtCreator



## Κεφάλαιο 3

# Απεικόνιση Απλής Κίνησης

### 3.1 Βασική Θεωρεία

#### 3.1.1 Ο Μηχανισμός της Κίνησης

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα πράγματα που μπορούν να συμβούν με τα γραφικά υπολογιστών είναι ο σχεδιασμός κινούμενων εικόνων. Το αντικείμενο αυτό έχει ευρεία χρήση και μπορεί να απασχολήσει, είτε μηχανικούς που προσπαθούν να μελετήσουν όλες τις πλευρές ενός μηχανικού αντικειμένου, είτε από πιλότους που εκπαιδεύονται μέσω ενός προγράμματος προσομοίωσης, είτε απλά από προγραμματιστές βιντεοπαιχνιδιών. Γενικότερα η κίνηση είναι ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στα γραφικά υπολογιστών.

Σε μία κινηματογραφική ταινία, η κίνηση πραγματοποιείται από τη μία διαδοχική προβολή εικόνων, οι οποίες προβάλλονται με ταχύτητα 24 καρέ/δευτερόλεπτο στην οθόνη. Κάθε καρέ μετακινείται πίσω από το φακό και το κλείστρο της μηχανής ανοίγει ώστε να προβληθεί το καρέ. Στη συνέχεια το κλείστο ξανακλείνει καθώς η ταινία μεταβάλλεται στο επόμενο καρέ και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται. Αν και οι θεατές βλέπουν 24 διαφορετικά καρέ/δευτερόλεπτο, το μυαλό του ανθρώπου τα αναμειγνύει, δημιουργώντας κατά αυτό τον τρόπο την αίσθηση μίας απλής κίνησης.

Τα σύγχρονα συστήματα προβολής προβάλλουν κάθε καρέ δύο φορές με ταχύτητα 48 καρέ/δευτερόλεπτο προκειμένου να μειώσουν το θόρυβο που προκαλείται από τη γρήγορη αλληλουχία των εικόνων που δίνουν την αίσθηση πως οι εικόνες τρεμοπαίζουν στην οθόνη. Οι οθόνες γραφικών των υπολογιστών τυπικά ανανεώνονται (επανασχεδιάζουν την εικόνα) με ταχύτητα που προσεγγίζει τα 60 καρέ/δευτερόλεπτο έως 76 καρέ/δευτερόλεπτο, ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις που μπορούν να φτάσουν έως και ταχύτητα 120 καρέ/δευτερόλεπτο. Είναι φανερό πως ταχύτητα 60 καρέ/δευτερόλεπτο είναι πιο ομαλή από ταχύτητα 30 καρέ/δευτερόλεπτο και ταχύτητα 120 καρέ/δευτερόλεπτο είναι ελαφρώς καλύτερη από ταχύτητα 60 καρέ/δευτερόλεπτο. Ωστόσο δεν έχει νόημα να γίνεται συζήτηση για ταχύτητα πάνω από 120 καρέ/δευτερόλεπτο, αφού αυτή είναι η μέγιστη αντιληπτή από τον άνθρωπο ταχύτητα.

Προκειμένου η OpenGL να πετύχει τα παραπάνω αποτελέσματα, χρησιμοποιεί διπλές διεπαφές. Η διεπαφή  $D_1$  προβάλλεται στην οθόνη και είναι αυτό που φαίνεται κάποια χρονική στιγμή  $t_0$ , ενώ η διεπαφή  $D_2$  βρίσκεται στην προσωρινή μνήμη και λειτουργεί ως καμβάς σχεδίασης της επόμενης εικόνας. Έτσι τη χρονική στιγμή  $t_1 = t_0 + dt$  η διεπαφή  $D_2$  είναι αυτή που προβάλλεται στην οθόνη, ενώ η διεπαφή  $D_1$  λειτουργεί ως καμβάς σχεδίασης και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου τερματιστεί η εφαρμογή. Το βήμα εναλλαγής  $dt$  των καρέ ισούται με το αντίστροφο της ταχύτητας εναλλαγής ( $\text{fps} = \text{frame per second}$ ) των εικόνων, δηλαδή  $dt = 1/\text{fps}$ .

### 3.1.2 Ανανέωση με Παύσεις

Σε μερικές εκτελέσεις της OpenGL, εκτός από την απλή αλλαγή της εικονιζόμενης και της σχεδιαστικής διεπαφής, της ρουτίνας `swap_the_buffers()`, το σύστημα περιμένει μέχρι ο υφιστάμενος χρόνος ανανέωσης της οθόνης τελειώσει, ώστε η προηγούμενη διεπαφή να προβληθεί πλήρως. Η ρουτίνα αυτή επιπλέον επιτρέπει στη νέα διεπαφή να προβληθεί ολοκληρωμένη, ξεκινώντας από την αρχή.

Για παράδειγμα, ας γίνει η υπόθεση ότι ένα σύστημα ανανεώνεται 60 φορές/δευτερόλεπτο, αυτό σημαίνει ότι η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να επιτευχθεί είναι 60fps και εάν όλα τα καρέ καθαρίζονται κι επανασχεδιάζονται σε λιγότερο από  $\frac{1}{60}sec$ , τότε η κίνηση θα προβάλεται ομαλά σε αυτό το ρυθμό. Αυτό όμως που συμβαίνει σε ένα πραγματικό σύστημα είναι ότι τα καρέ είναι αρκετά πολύπλοκα ώστε να σχεδιάζονται σε χρόνο  $\frac{1}{60}sec$ , με αποτέλεσμα κάθε καρέ να προβάλεται περισσότερες από μία φορές. Εάν για παράδειγμα, το κάθε καρέ χρειάζεται  $\frac{1}{45}sec$  για να σχεδιαστεί, τότε η ταχύτητα μειώνεται στα 30fps και τα γραφικά προβάλλονται ιδανικά για χρόνο  $\frac{1}{30} - \frac{1}{45} = \frac{1}{90}spf$  (second per frame), ή αλλιώς το  $\frac{1}{3}$  του χρόνου.

Επιπλέον, ο χρόνος ανανέωσης ενός βίντεο είναι σταθερός, το οποίο μπορεί να έχει προβλήματα στην απόδοση. Για παράδειγμα με  $\frac{1}{60}spr$  (second per refresh) monitor και ένα σταθερό χρόνο εναλλαγής των καρέ, το σύστημα μπορεί να τρέχει με ταχύτητες 60fps, 30fps, 20fps, 15fps, 12fps και λοιπά ( $\frac{60}{1}, \frac{60}{2}, \frac{60}{3}, \frac{60}{4}, \frac{60}{5}, \dots, \frac{60}{n}$ ). Αυτό σημαίνει πως όταν προγραμματίζεται μία εφαρμογή και προστίθενται σταδιακά διάφορα χαρακτηριστικά, αρχικά κάθε χαρακτηριστικό που προστίθεται δεν έχει κανένα ίχνος χρονικής καθυστέρησης ως προς τη συνολική απόδοση, ενώ κάποια στιγμή, με την προσθήκη ενός ακόμα χαρακτηριστικού, το σύστημα δε μπορεί να σχεδιάσει τη σκηνή του καρέ σε χρόνο  $\frac{1}{60}sec$  κι έτσι η κίνηση μειώνεται από 60fps στα 30fps, επειδή χάνει το πρώτο χρονικό περιθώριο της πρώτης εναλλαγής της διεπαφής. Αντίστοιχα συμβαίνει και όταν ο χρόνος σχεδίασης αυξάνεται περισσότερο από  $\frac{1}{30}sec$  (η κίνηση μειώνεται από 30έν φπς στα 20fps).

Στην περίπτωση όπου η χρονική καθυστέρηση μεταξύ των καρέ είναι οριακή, δηλαδή έστω ότι το ένα καρέ μεταβάλλεται με ταχύτητα 60fps, ενώ το επόμενο με ταχύτητα 30fps και μετά πάλι μεταβολή με ταχύτητα 60fps, τότε το αποτέλεσμα είναι ενοχλητικό και συνίσταται η προσθήκη μίας επιπλέον καθυστέρησης, ώστε όλα τα καρέ να μεταβάλλονται σε χρόνο  $\frac{1}{30}sec$ , ώστε το τελικό αποτέλεσμα να φαίνεται ομαλότερο. Εάν η κατάσταση τείνει να είναι πιο πολύπλοκη, τότε χρειάζεται μία πιο σοφιστική μέθοδος προσέγγισης.

Γενικά αυτό που χρειάζεται να έχει υπόψιν ο προγραμματιστής είναι πως ο χρόνος μεταβολής της κίνησης υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$Motion = Redraw_{scene} + Swap_{buffers} \quad (3.1)$$

## 3.2 Απεικόνιση Κίνησης σε Περιβάλλον GLUT

```

1  /*****/
2  /* main.cpp */
3  /*****/
4
5  #include <GL/gl.h>
6  #include <GL/glu.h>
7  #include <GL/glut.h>
8  #include <stdlib.h>
9
10 #define MY_WIN_WIDTH 250
11 #define MY_WIN_HEIGHT 250
12 #define MY_WIN_POS_X 100
13 #define MY_WIN_POS_Y 100

```

```

14 #define MY_WIN_TITLE "Motion"
15
16 static GLfloat spin = 0.0;
17
18 void init(void) {
19     glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);
20     glShadeModel(GL_FLAT);
21 }
22
23 void display(void) {
24     glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
25     glPushMatrix();
26     glRotatef(spin, 0.0, 0.0, 1.0);
27     glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);
28     glRectf(-25.0, -25.0, 25.0, 25.0);
29     glPopMatrix();
30     glutSwapBuffers();
31 }
32
33 void reshape(int w, int h) {
34     glViewport(0, 0, (GLsizei) w, (GLsizei) h);
35     glMatrixMode(GL_PROJECTION);
36     glLoadIdentity();
37     glOrtho(-50.0, 50.0, -50.0, 50.0, -1.0, 1.0);
38     glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
39     glLoadIdentity();
40 }
41
42 void spinDisplay(void) {
43     spin = spin + 2.0;
44     if(spin > 360)
45         spin -= 360;
46     glutPostRedisplay();
47 }
48
49 void mouse(int button, int state, int x, int y) {
50     switch(button) {
51         case GLUT_LEFT_BUTTON: {
52             if(state == GLUT_DOWN)
53                 glutIdleFunc(spinDisplay);
54             break;
55         } case GLUT_MIDDLE_BUTTON: {
56             if(state == GLUT_DOWN)
57                 glutIdleFunc(NULL);
58             break;
59         } default:
60             break;
61     }
62 }
63
64 void initializeGL(void) {
65     glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE | GLUT_RGB);
66     glutInitWindowSize(MY_WIN_WIDTH, MY_WIN_HEIGHT);
67     glutInitWindowPosition(MY_WIN_POS_X, MY_WIN_POS_Y);
68     glutCreateWindow(MY_WIN_TITLE);
69 }

```

```

70
71 /*
72  * Request double buffer display mode.
73  * Register mouse input callback functions.
74  */
75 int main(int argc, char** argv)
76 {
77     glutInit(&argc, argv);
78     initializeGL();
79
80     init();
81     glutDisplayFunc(display);
82     glutReshapeFunc(reshape);
83     glutMouseFunc(mouse);
84     glutMainLoop();
85
86     return 0;
87 }

```

Το παράδειγμα αυτό είναι συνέχεια του προηγούμενου. Ο κώδικας που παρουσιάζεται παραπάνω ανοίγει ένα παράθυρο, στο κέντρο του οποίου εμφανίζεται ένα άσπρο ορθογώνιο. Τα νέα χαρακτηριστικά που εισάγει ο κώδικας είναι τα εξής:

- Τη συνάρτηση **reshape**(int w, int h), η οποία όπως ειπώθηκε στην προηγούμενη ενότητα διαχειρίζεται τους πίνακες προσανατολισμού και γενικότερα όλες εκείνες τις εξισώσεις που προσδιορίζουν την απεικόνιση των γεωμετρικών στοιχείων στην οθόνη. Η συνάρτηση αυτή εκτελείται κάθε φορά που αλλάζει διαστάσεις το παράθυρο.
- Απλή αλληλεπίδραση του χρήστη με το περιεχόμενο του παραθύρου, με τη χρήση του ποντικιού.
- Απλή στροφική κίνηση του ορθογωνίου, γύρω από το κέντρο μάζας του.

### 3.2.1 Ανάλυση των Συναρτήσεων

Σε αυτό το παράδειγμα εισήχθησαν οι εξής συναρτήσεις:

- reshape(int w, int h)
- mouse(int button, int state, int x, int y)

#### 3.2.1.A' reshape(int w, int h)

Περιέχει τις συναρτήσεις της OpenGL, οι οποίες προσδιορίζουν το πως θα προβληθούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά στην οθόνη. Η συνάρτηση αυτή αποτελεί την τρίτη βασική συνάρτηση που πρέπει να έχει ένα πρόγραμμα OpenGL, για να δημιουργεί χρήσιμες εφαρμογές. Καλείται από τη συνάρτηση **glutReshapeFunc(...)** κι εκτελείται κάθε φορά που το παράθυρο αλλάζει διαστάσεις.

#### 3.2.1.B' mouse(int button, int state, int x, int y)

Διαχειρίζεται τα σήματα που δέχεται το πρόγραμμα από το ποντίκι. Τα ορίσματά της πρέπει αυστηρά να είναι τα παραπάνω, διότι καλείται αργότερα από τη συνάρτηση **glutMouseFunc(...)**, ώστε να γίνει η διεπαφή μεταξύ της εφαρμογής και του ποντικιού (σύνδεση μεταξύ hardware-software).

### 3.2.1.Γ' OpenGL/GLUT Functions

- **glShadeModel(GLenum mode):** Τα γεωμετρικά πρωτεύοντα μπορούν να έχουν είτε επίπεδο, είτε ομαλό τρόπο σκίασης (shading). Η ομαλή σκίαση, το προκαθορισμένο, επιβάλλει στον υπολογισμό του χρώματος των κόμβων την παρεμβολή κατά τη διαδικασία ραστεροποίησης, τυπικά καθορίζει ένα διαφορετικό χρώμα για κάθε ένα pixel. Η επίπεδη σκίαση επιλέγει το υπολογιζόμενο χρώμα ενός κόμβου και με αυτό χρωματίζει όλα τα pixel κατά τη ραστεροποίηση ως εννιαίο πρωτεύον.

Οι τιμές αυτές επιλέγονται με τη χρήση των σημαιών `GL_SMOOTH` και `GL_FLAT`.

- **glPushMatrix(void):** Υπάρχει μία στοίβα από πίνακες για κάθε σύστημα πινάκων. Στο `GL_MODELVIEW` σύστημα, το μέγεθος της στοίβας είναι τουλάχιστον 32. Στα άλλα συστήματα `GL_COLOR`, `GL_PROJECTION` και `GL_TEXTURE`, το μέγεθος της στοίβας είναι τουλάχιστον 2. Ο υφιστάμενος πίνακας σε οποιοδήποτε σύστημα είναι ο πίνακας που βρίσκεται στην κορυφή της στοίβας του συστήματος.

Η συνάρτηση αυτή λοιπόν, προωθεί τον υφιστάμενο πίνακα της στοίβας, έναν πίνακα κάτω, διπλασιάζοντας τον υφιστάμενο πίνακα. Έτσι λοιπόν, μετά το κάλεσμα της συνάρτησης `glPushMatrix(void)`, ο πίνακας στην κορυφή της στοίβας είναι ίδιος με τον πίνακα που βρίσκεται ακριβώς από κάτω του.

- **glPopMatrix(void):** Η συνάρτηση αυτή αντικαθιστά τον υφιστάμενο πίνακα που βρίσκεται στην κορυφή της στοίβας με τον ακριβώς από κάτω του πίνακα.
- **glRectf(GLfloat x1, GLfloat y1, GLfloat x2, GLfloat y2):** Υποστηρίζει έναν ιδανικό τρόπο για τη δημιουργία ενός τετραγώνου, προσδιορίζοντας τα σημεία δύο αντιδιαμετρικών γωνιών. Το τελικό ορθογώνιο ορίζεται πάνω στο επίπεδο με  $z = 0$ .
- **glutSwapBuffers(void):** Πραγματοποιεί την αλλαγή των διεπαφών, εάν το παράθυρο έχει οριστεί ως παράθυρο διπλής διεπαφής (double buffered window).
- **glutPostRedisplay(void):** Μαρκάρει το υφιστάμενο παράθυρο έτσι όπως χρειάζεται ώστε να επαναπαρουσιαστεί.
- **glutIdleFunc(void (\*func)(void)):** Θέτει ένα καθολικό κάλεσμα, ώστε το πρόγραμμα που χρησιμοποιεί διαχείριση παραθύρων GLUT να πραγματοποιεί επεξεργασία παρασκήνιου ή να συνεχίζει την κίνηση όταν η δραστηριότητα στο σύστημα παραθύρου δεν έχει ακόμα ληφθεί.

## 3.3 Συνοπτική Περιγραφή του Αλγορίθμου Κίνησης

Όπως φαίνεται παραπάνω, ο αλγόριθμος ακολουθεί μερικά απλά βήματα. Συνοπτικά τα βήματα είναι τα εξής:

- **Δημιουργία-Άνοιγμα Παραθύρου:** Σε αυτό το στάδιο συμπεριλαμβάνονται οι συναρτήσεις αρχικοποίησης και προσδιορισμού των γεωμετρικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών του παραθύρου.
- **Επιλογή Προβολικού Συστήματος:** Συμπεριλαμβάνεται η συνάρτηση `reshape(int w, int h)`, η οποία προσδιορίζει το πως θα προβληθούν τα γεωμετρικά στοιχεία. Το βήμα αυτό εκτελείται κάθε φορά που αλλάζουν οι διαστάσεις του παραθύρου.

- Υπολογισμός των Συντεταγμένων: Σε κάθε επανάληψη επαναπροσδιορίζονται οι συντεταγμένες των γεωμετρικών στοιχείων. Εάν οι συντεταγμένες είναι ίδιες, τότε το σημείο θεωρείται σταθερό. Εάν αλλάζουν, τότε το αντικείμενο κινείται. Σημειώνεται πως ως κίνηση μπορεί να θεωρηθεί και η αλλαγή θέσης της κάμερας. Το πως θα πραγματοποιηθεί η κίνηση σε μία εφαρμογή, εξαρτάται καθαρά από την προβαλλόμενη σκηνή και από την αίσθηση που πρέπει να δοθεί.
- Προβολή της Σκηνής (Εναλλαγή των Διεπαφών): Σε αυτό το στάδιο προβάλεται η σκηνή στην οθόνη, εναλλάσσοντας τις διεπαφές.
- Επανάληψη των δύο τελευταίων σταδίων.

### 3.4 Απεικόνιση Κίνησης σε Περιβάλλον QtCreator

```

1  /*****
2  /* mainwindow.h */
3  *****/
4
5  #ifndef MAINWINDOW_H
6  #define MAINWINDOW_H
7
8  #include <QMainWindow>
9
10 namespace Ui {
11 class MainWindow;
12 }
13
14 class MainWindow : public QMainWindow
15 {
16     Q_OBJECT
17
18 public:
19     explicit MainWindow(QWidget *parent = 0);
20     ~MainWindow();
21
22 private slots:
23     void on_SpinIt_clicked();
24
25 private:
26     Ui::MainWindow *ui;
27 };
28
29 #endif // MAINWINDOW_H

```



```

1  /*****
2  /*mainwindow.cpp */
3  *****/
4
5  #include "mainwindow.h"
6  #include "ui_mainwindow.h"
7
8  MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) :
9      QMainWindow(parent),
10     ui(new Ui::MainWindow)
11     {
12         ui->setupUi(this);
13     }
14
15  MainWindow::~MainWindow()
16  {
17     delete ui;
18 }
19
20 void MainWindow::on_SpinIt_clicked() //When Button Clicked
21 {
22     ui->glWidget->changeSpinState();
23 }

```

```

1  /*****
2  /*glwidget.h */
3  *****/
4
5  #ifndef GLWIDGET_H
6  #define GLWIDGET_H
7
8  #include <QGLWidget>
9  #include <QMouseEvent>
10 #include <QTimer>
11
12 class GLWidget : public QGLWidget
13 {
14 public:
15     GLWidget(QWidget *parent);
16
17     void initializeGL(void); //init(void)
18     void resizeGL(int w, int h); //reshape(int h, int w)
19     void paintGL(void); //display(void)
20     void mousePressEvent(QMouseEvent* event); //Check Mouse Events
21     void changeSpinState();
22
23 private:
24     QTimer glTimer;
25     GLdouble spin;
26     bool spinState;
27
28     void spinDisplay(void);
29 };
30
31 #endif // GLWIDGET_H

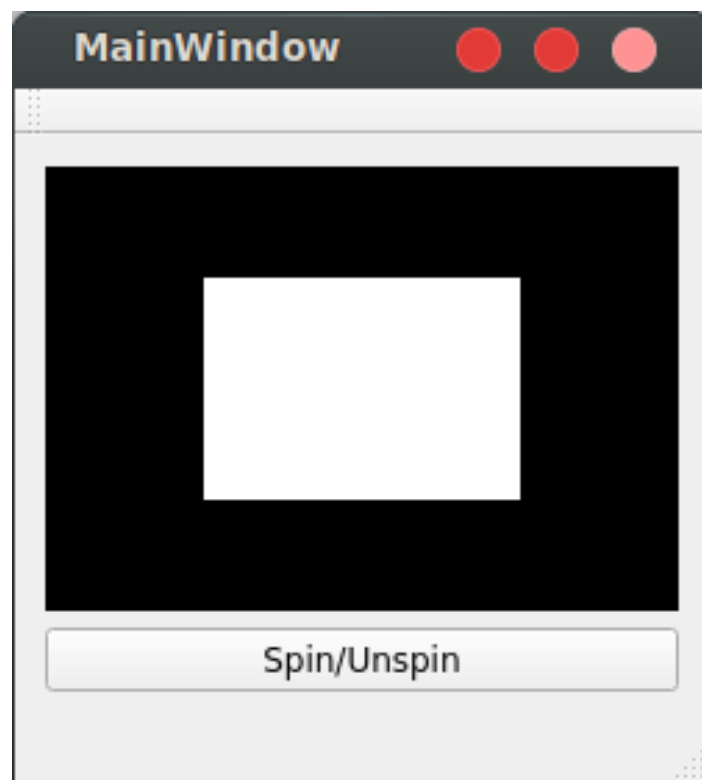
```

```

1  /*****
2  /* glwidget.cpp */
3  *****/
4
5  #include "glwidget.h"
6
7  GLWidget::GLWidget(QWidget* parent) :
8      QGLWidget(parent)
9  {
10     connect(&glTimer, SIGNAL(timeout()), this, SLOT(updateGL()));
11     glTimer.start(30);
12
13     spin = 0.0;
14     spinState = false;
15 }
16
17 /* Same as
18 * void init(void){...}
19 * function.
20 */
21 void GLWidget::initializeGL(void) {
22     glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);
23     glShadeModel(GL_FLAT);
24 }
25
26 /* Same as
27 * void reshape(int w, int h){...}
28 * function. There isn't any need to call
29 * glutReshapeFunc(...)
30 * to run this function.
31 */
32 void GLWidget::resizeGL(int w, int h) {
33     glViewport(0, 0, (GLsizei) w, (GLsizei) h);
34     glMatrixMode(GL_PROJECTION);
35     glLoadIdentity();
36     glOrtho(-50.0, 50.0, -50.0, 50.0, -1.0, 1.0);
37     glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
38     glLoadIdentity();
39 }
40
41 /* Same as
42 * void display(void){...}
43 * function. There isn't any need to call
44 * glutDisplayFunc(...)
45 * to run this function.
46 */
47 void GLWidget::paintGL(void) {
48     if(spinState)
49         spinDisplay();
50     glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
51     glPushMatrix();
52     glRotatef(spin, 0.0, 0.0, 1.0);
53     glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);
54     glRectf(-25.0, -25.0, 25.0, 25.0);
55     glPopMatrix();
56 }

```

```
57
58 //Mouse Event Handling on QT
59 void GLWidget::mousePressEvent(QMouseEvent* event) {
60     if(event->button() == Qt::LeftButton) {
61         spinState = true;
62     } else if (event->button() == Qt::MiddleButton) {
63         spinState = false;
64     } else {
65         ;
66     }
67 }
68
69 void GLWidget::spinDisplay(void) {
70     spin += 2.0;
71     if(spin > 360)
72         spin -= 360;
73 }
74
75 void GLWidget::changeSpinState() {
76     spinState = (spinState == true) ? false : true;
77 }
```



Σχήμα 3.1: Το απεικονιζόμενο παράθυρο με χρήση του QtCreator. Εάν παρηθεί το κουμπί Spin/Unspin το ορθογώνιο αρχίζει να στρέφεται ή σταματά την κίνηση. Το τετράγωνο κινείται επίσης με αριστερό κλικ στο παράθυρο και σταματάει πιέζοντας τη ροδέλα.

Από αυτό το παράδειγμα και μετά, στην ενότητα αυτή θα προστίθενται μόνο τα τμήματα κώδικα που διαφοροποιούνται από το αρχικό. Δηλαδή το αρχείο κώδικα **main.cpp**, είναι το ίδιο με το πρώτο παράδειγμα κώδικα, οπότε δεν υπάρχει λόγος υπόδειξής του. Μία δεύτερη επισήμανση που πρέπει να γίνει σε αυτό το σημείο, είναι ότι ο κώδικας στο περιβάλλον QtCreator θα έχει επιπλέον προσθήκες, προκειμένου να προσεγγίζει όσο το δυνατόν γίνεται μία εμφανίσιμη εφαρμογή. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, εκτός από την αλληλεπίδραση του χρήστη με το παράθυρο μέσω του ποντικιού, προστίθεται κι ένα PushButton (κουμπί), το οποίο κάνει ακριβώς το ίδιο, αλλά με πιο κομψό τρόπο.

Οι διαφορές του περιβάλλοντος QtCreator με το περιβάλλον GLUT είναι οι εξής:

- **mousePressEvent**(QMouseEvent\* event): Η αντίστοιχη συνάρτηση που διαχειρίζεται τα σήματα του ποντικιού.
- **changeSpinState**(void): Προκειμένου να ελεγχθεί το αν πρέπει η όχι να πραγματοποιηθεί η κίνηση, ορίζεται μία μεταβλητή **bool**, η οποία έχει τιμή **true** όταν πρέπει να γίνει κίνηση και τιμή **false** όταν δεν πρέπει να γίνει κίνηση. Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιείται από το PushButton.
- **on\_SpinIt\_Clicked**(void): Είναι ένα Slot του QtCreator, το οποίο σημαίνει πως όταν γίνει κλικ στο PushButton με όνομα SpinIt, θα εκτελεστεί το αντίστοιχο τμήμα κώδικα που υπάρχει στο αρχείο mainwindow.cpp και αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη συνάρτηση.

## Κεφάλαιο 4

# Tic-Tac-Toe

Σε αυτό το κεφάλαιο δε θα εισαχθεί κάποια νέα συνάρτηση της OpenGL. Για την ακρίβεια ότι έχει ειπωθεί έως τώρα είναι ότι χρειάζεται κάποιος για να δημιουργήσει απλές ολοκληρωμένες εφαρμογές. Οι πιο σύνθετες εφαρμογές, χρησιμοποιούν τις παραπάνω έννοιες, εμπλουτίζοντάς τις με μαθηματικά μοντέλα που διαχειρίζονται χαρακτηριστικά μεγέθη, όπως είναι η φωτεινότητα του χώρου, το υλικό ενός αντικειμένου, το χρώμα ενός αντικειμένου, η σκιά ενός αντικειμένου πάνω σε μία ή πολλές επιφάνεια/ες και γενικότερα οτιδήποτε θεωρεί ο προγραμματιστής απαραίτητο, ώστε να δημιουργήσει τη σκηνή που φαντάζεται.

Γι' αυτό το λόγο, κρίνεται σκόπιμο σε αυτό το σημείο η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου προγράμματος, κυρίως για δύο λόγους:

- Ολοκλήρωση της θεωρίας που έχει αναφερθεί παραπάνω, εμπλουτίζοντας παράλληλα και τις περιγραφές κάποιων συναρτήσεων, με στοιχεία που έχουν παραληφθεί.
- Σύνδεση των εντολών της OpenGL που έχουν αναφερθεί έως τώρα με στοιχειώδη προγραμματιστική λογική που θεωρείται δεδομένη στο παρόν εγχειρίδιο, για τη δημιουργία μίας χρήσιμης εφαρμογής.

Τέλος σε αυτή την ενότητα θα φανεί και η μεγάλη των δυνατοτήτων και της σημαντικότητας επιλογής του περιβάλλοντος διαχείρισης παραθύρων. Ενώ το πρόγραμμα σε γενικές γραμμές θα είναι το ίδιο, θα υπάρχουν διαφοροποιήσεις ως προς την οργάνωση του και την απόδοση του μεταξύ των δύο περιβάλλοντων διαχείρισης παραθύρων.

### 4.1 Βασική Θεωρία

#### 4.1.1 Ενίσχυση της μέχρι τώρα θεωρίας της OpenGL

Στη μέχρι τώρα θεωρία, έχουν σκοπίμως παραληφθεί κάποιες μικρές λεπτομέρειες, οι οποίες αναφέρονται παρακάτω και αποτελούν τη θεματολογία αυτής της ενότητας.

- Σύνταξη των συναρτήσεων της OpenGL.
- Τα ορίσματα της συνάρτησης `glBegin(...)`.
- Οι διεπαφές της συνάρτησης `glClear(...)`.

##### 4.1.1.A' Σύνταξη των συναρτήσεων OpenGL

Οι εντολές της βιβλιοθήκης OpenGL έχουν συνταχθεί με μία συγκεκριμένη τυποποίηση. Για παράδειγμα η συνάρτηση με την οποία δημιουργείται ένα σημείο έχει όνομα `glVertex3f(...)` ή

**glVertex2i(...)**. Παρατηρώντας τις παραπάνω συναρτήσεις, μπορεί εύκολα κάποιος να διακρίνει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Κάθε εντολή της βιβλιοθήκης OpenGL αρχίζει με την προσφώνηση `gl`. Αυτό συμβαίνει, επειδή υπάρχουν και άλλες βοηθητικές βιβλιοθήκες συμβατές με την OpenGL, οι οποίες έχουν άλλες προσφωνήσεις, όπως π.χ. `glut` για τη βιβλιοθήκη OpenGL Utility Toolkit, την οποία χρησιμοποιεί το παρόν εγχειρίδιο για τη δημιουργία παραθύρων.
- Το δεύτερο τμήμα της εντολής υποδεικνύει το τι κάνει η εντολή. Στα παραπάνω παραδείγματα το τμήμα αυτό αποτελεί η λέξη `Vertex` και δημιουργεί ένα κόμβο - σημείο. Αντίστοιχα η εντολή προσδιορισμού χρώματος, θα είχε τη λέξη `Color`.
- Το τρίτο τμήμα κάθε εντολής, εάν υπάρχει, είναι το πλήθος των ορισμάτων της εντολής. Για παράδειγμα η εντολή `glVertex3f(...)` δέχεται τρία ορίσματα, ενώ η εντολή `glVertex2f(...)` δέχεται δύο ορίσματα.
- Τέλος ο αριθμός ακολουθείται από τουλάχιστον ένα γράμμα, το οποίο προσδιορίζει τον τύπο των δεδομένων που δέχεται (π.χ. `f` για floating point μορφοποίηση)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι διάφοροι τύποι μορφοποιήσεων που μπορεί να δέχεται μία εντολή και τα γράμματα με τα οποία υποδεικνύεται αυτό στις συναρτήσεις.

Κατάληξη	Τύπος Δεδομένων	Μορφοποίηση στη C	Όρισμος μορφοποίησης στην OpenGL
b	8-bit ακέραιος	signed char	GLbyte
s	16-bit ακέραιος	short	GLshort
i	32-bit ακέραιος	int ή long	GLint, GLsizei
f	32-bit δεκαδικός	float	GLfloat, GLclampf
d	64-bit δεκαδικός	double	GLdouble, GLclampd
ub	8-bit μη προσημασμένος ακέραιος	unsigned char	GLubyte, GLboolean
us	16-bit μη προσημασμένος ακέραιος	unsigned short	GLushort
ui	32-bit μη προσημασμένος ακέραιος	unsigned int ή unsigned long	GLuint, GLenum, GLbitfield

Σχήμα 4.1: Μορφοποιήσεις Εντολών OpenGL

Τέλος κάποιες από τις εντολές μπορεί στο τέλος να έχουν το γράμμα `n`, το οποίο υποδεικνύει πως αντί για μια σειρά ορισμάτων, απαιτείται ένας μόνο πίνακας μεγέθους όσο ο αριθμός των ορισμάτων και αντίστοιχης μορφοποίησης. Για παράδειγμα η εντολή `glColor3fv(...)`, δέχεται σαν όρισμα έναν πίνακα τριών διαστάσεων δεκαδικής μορφοποίησης (`GLfloat array[3]`).

#### 4.1.1.B' Τα ορίσματα της συνάρτησης `glBegin(...)`

Σε προηγούμενο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε ανάλυση της συνάρτησης `glBegin(...)`. Όπως ειπώθηκε, οτιδήποτε βρίσκεται μεταξύ της των συναρτήσεων `glBegin(...)` και `glEnd()` θα σχεδιαστεί στην οθόνη. Αυτά που δεν ειπώθηκαν είναι πως η συνάρτηση `glBegin(...)` δέχεται ένα

συγκεκριμένο πλήθος ορισμάτων/σημαίων, τα οποία χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό διαφορετικών πρωτεύοντων, καθώς επίσης πως οι συναρτήσεις, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταξύ των `glBegin(...)` και `glEnd()` είναι περιορισμένες.

Αυτή η ενότητα αποσκοπεί, στο να καλύψει αυτά τα κενά. Παρακάτω φαίνονται οι λίστες των συναρτήσεων που χρησιμοποιούνται εντός των `glBegin(...)` και `glEnd()`, καθώς και τα επιτρεπόμενα ορίσματα της `glBegin(...)`.

#### Λίστα Συναρτήσεων:

- **glVertex\*(...)**: Ορίζει τις συντεταγμένες του κόμβου.
- **glColor\*(...)**: Ορίζει το χρώμα σχεδίασης.
- **glIndex\*(...)**: Θέτει δείκτη για το υφιστάμενο χρώμα.
- **glNormal\*(...)**: Ορίζει τις συντεταγμένες ενός κανονικού διανύσματος.
- **glTexCoord\*(...)**: Θέτει τις συντεταγμένες ταπετσαρίας (texture).
- **glEdgeFlag\*(...)**: Ελέγχει τις ακμές του σχεδίου.
- **glMaterial\*(...)**: Ορίζει τις ιδιότητες των υλικών.
- **glArrayElement(...)**: Αποσυμπίεζει διανυσματικά δεδομένα πίνακα.
- **glEvalCoord\*(...), glEvalPoint\*()**: Παράγει συντεταγμένες.
- **glCallList(...), glCallLists(...)**: Εκτελεί λίστα/ες προβολής.

Όπου υπάρχει το σύμβολο \*, η συνάρτηση συντάσσεται με παραπάνω από ένα τρόπο.

#### Λίστα Ορισμάτων της `glBegin(...)`:

- **GL\_POINTS**: Σχεδιάζει ένα σημείο για κάθε κόμβο.
- **GL\_LINES**: Σχεδιάζει μία σειρά από μη ενωμένες ευθείες. Κάθε ευθεία σχεδιάζεται μεταξύ δύο κόμβων. Έστω ότι ορίζονται οι κόμβοι  $v_1, v_2, v_3$  και  $v_4$ , θα σχεδιαστούν δύο ευθείες μεταξύ των κόμβων  $v_1$  και  $v_2$  ( $e_1$ ) και  $v_3$  και  $v_4$  ( $e_2$ ). Εάν ο αριθμός των κόμβων είναι περιττός (δε διαιρείται με το 2, τότε ο κόμβος που περισσεύει αγνοείται).
- **GL\_LINE\_STRIP**: Σχεδιάζει μία σειρά ευθειών που ενώνει τους κόμβους, με τη σειρά που ορίζονται. Έστω ότι ορίζονται οι κόμβοι  $v_1, v_2, v_3, \dots, v_{n-1}$ . Το τελικό σχήμα θα σχηματίζεται από τις ευθείες,  $v_1 - v_2, v_2 - v_3, \dots, v_{n-2} - v_{n-1}$ . Τίποτα δε σχεδιάζεται εάν δεν ισχύει  $n > 1$ .
- **GL\_LINE\_LOOP**: Εκτελεί το ίδιο με το όρισμα **GL\_LINE\_STRIP**, με τη διαφορά ότι η το σχήμα κλείνει, ενώνοντας τους κόμβους  $v_{n-1} - v_1$ , σχηματίζοντας έτσι ένα βρόγχο.
- **GL\_TRIANGLES**: Σχεδιάζει μία σειρά από τρίγωνα, με την ίδια λογική που σχεδιάζει μία σειρά ευθειών χρησιμοποιώντας το όρισμα **GL\_LINES**. Η διαφορά εδώ είναι πως οι κόμβοι πρέπει να είναι πολλαπλάσιοι του τρία, ενώ εάν περισσεύουν ένας ή δύο, τότε αυτοί αγνοούνται.

- **GL\_TRIANGLE\_STRIP**: Σχεδιάζει μία σειρά από τρίγωνα που μοιράζονται μία πλευρά, για παράδειγμα  $v_0 - v_1 - v_2$ ,  $v_2 - v_1 - v_3$  (προσοχή στη σειρά σχεδίασης, δηλαδή τα επόμενα δύο τρίγωνα θα είναι  $v_2 - v_3 - v_4$  και  $v_4 - v_3 - v_5$ ). Η σειρά αυτή ορίστηκε, ώστε τα τρίγωνα να σχεδιάζονται όλα με συγκεκριμένη φορά, ώστε το τελικό σχήμα να προσδιορίζει σωστά μία επιφάνεια. Για να σχεδιαστεί κάτι, πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τρεις κόμβοι.
- **GL\_TRIANGLE\_FAN**: Έχει ακριβώς την ίδια φιλοσοφία με το προαναφερθέν όρισμα **GL\_TRIANGLE\_STRIP**, με τη διαφορά ότι τα τρίγωνα που σχηματίζονται είναι τα  $v_0 - v_1 - v_2$ ,  $v_0 - v_2 - v_3$ ,  $v_0 - v_3 - v_4$  και λοιπά.
- **GL\_QUADS**: Σχεδιάζει μία σειρά από τετράπλευρα, με την ίδια λογική που σχεδιάζει μία σειρά από ευθείες, χρησιμοποιώντας το όρισμα **GL\_LINE**, δηλαδή για κόμβους  $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7$  και  $v_8$ , θα σχεδιάσει δύο τετράπλευρά ενώνοντας τους κόμβους  $v_1 - v_2 - v_3 - v_4$  ( $q_1$ ) και  $v_5 - v_6 - v_7 - v_8$  ( $q_2$ ). Το ελάχιστο πλήθος των κόμβων που απαιτείται για να σχεδιάσει κάτι πρέπει να είναι 4, ενώ για κάθε πολλαπλάσιο του 4 σχεδιάζει κι από ένα τετράπλευρο, εάν περισσεύουν ένα, δύο ή τρεις κόμβοι, τότε αυτοί αγνοούνται.
- **GL\_QUAD\_STRIP**: Σχεδιάζει μία σειρά από τετράπλευρα που μοιράζονται μία κοινή πλευρά. Για να σχεδιάσει κάτι στην οθόνη απαιτούνται τουλάχιστον 4 κόμβοι, ενώ ο αριθμός των κόμβων πρέπει να είναι άρτιος. Εάν ο αριθμός είναι περιττός, ο κόμβος που περισσεύει (τελευταίος κατά σειρά κόμβος) αγνοείται.
- **GL\_POLYGON**: Σχεδιάζει ένα κλειστό συμπαγές πολύγωνο χρησιμοποιώντας τους κόμβους που δίνονται. Το ελάχιστο πλήθος κόμβων για να σχεδιάσει κάτι είναι 3, ενώ χρησιμοποιούνται όλοι οι κόμβοι που δίνονται με τη σειρά, για το σχηματισμό του πολυγώνου. Επιπλέον το πολύγωνο δεν πρέπει να τέμνει τον εαυτό του και πρέπει να είναι κυρτό. Εάν δεν πληρούνται αυτές οι προδιαγραφές, τότε το αποτέλεσμα θα είναι απροσδόκητο.

#### 4.1.1.Γ' Οι διεπαφές της συνάρτησης `glClear(...)`

Η βιβλιοθήκη OpenGL διαθέτει τέσσερις διεπαφές, για τις οποίες μπορούν να καθοριστούν αρχικές τιμές, οι οποίες τίθενται σε εφαρμογή κάθε φορά που εκτελείται η συνάρτηση `glClear(...)`. Προκειμένου να εφαρμοστεί όμως η αρχική τιμή σε μία συγκεκριμένη διεπαφή, αυτή πρέπει να έχει οριστεί στη συνάρτηση `glClear(...)`. Παρακάτω φαίνονται οι σημαίες που μπορεί να δεχτεί η συνάρτηση `glClear(...)`.

##### Διεπαφές Καθαρισμού

- **GL\_COLOR\_BUFFER\_BIT**: Διεπαφή χρώματος παρασκήνιου.
- **GL\_DEPTH\_BUFFER\_BIT**: Διεπαφή βάθους.
- **GL\_ACCUMULATION\_BUFFER\_BIT**: Διεπαφή συσσώρευσης.
- **GL\_STENCIL\_BUFFER\_BIT**: Διεπαφή πολυγράφου.

Ο τρόπος με τον οποίο ορίζονται παραπάνω από μία διεπαφή, είναι η χρήση του λογικού συμβόλου `or`, το οποίο στο πληκτρολόγιο ορίζεται ως `|`. Δηλαδή:

```
glClearColor(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
```



### 4.1.2 Δομή Προγράμματος - Αλγόριθμος

Η δημιουργία του Tic-Tac-Toe, δηλαδή της κλασσικής τρίλιζας είναι ένα από τα πιο απλά παιχνίδια που μπορεί να προγραμματίσει κανείς. Η λογική είναι η εξής:

- Δημιουργία ενός πίνακα  $3 \times 3$ , ο οποίος θα αποθηκεύει τις επιλογές των παιχτών, ώστε να γίνεται ο έλεγχος νίκης και ισοπαλίας. Στην περίπτωση των γραφικών, ο πίνακας θα έχει αποθηκευμένες και τις συντεταγμένες των σημείων που περιγράφουν το αντίστοιχο κελί στην οθόνη.
- Ορισμός μεταβλητών ελέγχου νίκης και ισοπαλίας, οι οποίες θα δέχονται λογικά ορίσματα (true ή false) και θα τερματίζουν την εφαρμογή, εμφανίζοντας το κατάλληλο μήνυμα.
- Πρέπει να υπάρχει μία συνάρτηση που θα διαχειρίζεται το πως θα επιλέγουν οι παίκτες το κελί που θέλουν. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η επιλογή αυτή πραγματοποιείται με αριστερό κλικ στο κελί. Το πρόγραμμα αναγνωρίζει τις συντεταγμένες σε pixel παραθύρου και πραγματοποιεί αλλαγή κλίμακας, ώστε να μετατραπούν οι συντεταγμένες παραθύρου σε συντεταγμένες πίνακα.
- Ακόμα υπάρχουν άλλες δύο λογικές μεταβλητές. Η μία μεταβλητή ελέγχει εάν το κελί είναι ελεύθερο ή όχι, ενώ η δεύτερη εάν πρέπει να σχεδιαστεί κάποιο σύμβολο ή όχι. Ένας εναλλακτικός τρόπος για την αντικατάσταση αυτών των μεταβλητών, είναι να οριστεί μία αρχική τιμή για κάθε κελί και το κελί να σχεδιάζεται, όταν η τιμή του είναι διαφορετική από την αρχική.
- Τέλος στα κελιά που έχουν επιλεγεί σχεδιάζεται το σύμβολο του παίκτη που τα επέλεξε και η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου κάποιος από τους δύο παίκτες κερδίσει ή συμπληρωθούν όλα τα κελιά του πίνακα (συνθήκη ισοπαλίας).

Σε αυτό το παράδειγμα, δεν θα υπάρξει επεξήγηση του κώδικα. Οι παραπάνω περιγραφές και η θεώρηση ότι ο αναγνώστης έχει βασικές γνώσεις σχετικά με τη γλώσσα προγραμματισμού C/C++, είναι ότι χρειάζεται κανείς για να κατανοήσει τους κώδικες. Επιπλέον σε αυτό το σημείο θα δοθεί και η πρώτη άσκηση.

**Άσκηση:** Να τροποποιηθεί ο κώδικας του παιχνιδιού Tic-Tac-Toe, ώστε να υποστηρίζει την επιλογή παιχνιδιού ενάντια σε υπολογιστή. Ποιές πρέπει να είναι οι επιλογές και με ποια σειρά που πρέπει να εκτελέσει ένας υπολογιστής, ώστε το καλύτερο δυνατό σενάριο που μπορεί να φέρει ένας παίκτης εναντίον του να είναι ισοπαλία;

## 4.2 Tic-Tac-Toe σε περιβάλλον GLUT

]

```

1  /*****
2  /* main.cpp */
3  *****/
4
5  #include <GL/gl.h>
6  #include <GL/glut.h>
7  #include <math.h>
8  #include <iostream>
9
10 #define MY_WIN_WIDTH 200
11 #define MY_WIN_HEIGHT 200
12 #define MY_WIN_POS_X 100
13 #define MY_WIN_POS_Y 100
14 #define MY_WIN_TITLE "Tic-Tac-Toe"
15
16 #define PLAYER_X 'X'
17 #define PLAYER_O 'O'
18
19 /*
20  * This is ta GameBoard Tiles Structure.
21  * Every classic Tic-Tac-Toe has a 3x3 board.
22  * The win objective is for a player to score
23  * 3 of his symbol horrizondal or vertical or diagonal.
24  */
25 struct Tiles {
26     float X_min;
27     float Y_min;
28
29     float X_max;
30     float Y_max;
31
32     char ID;
33     bool isFree;
34     bool isDraw;
35 };
36
37 /*
38  * Global Variables
39  */
40 Tiles tiles[9]; //Tiles
41 bool O_turn = true; //Check whose turn is
42 float width; //keep the current width of the window
43 float height; //keep the current height of the window
44 const float DEG2RAD = 3.14159265/180; //transform DEGREE to RAD
45 bool winGame = false; //set the winGame bool value
46 bool drawGame = false; //set the drawGame bool value
47 char winPlayer = '\0'; //set win Player symbol

```

```

48
49 /*
50 * Set the values for a tile
51 */
52 Tiles setTiles(float x_min, float y_min, float x_max, float y_max, bool
    freeState, bool drawState, char id = '\0') {
53     Tiles t;
54
55     t.X_min = x_min;
56     t.Y_min = y_min;
57     t.X_max = x_max;
58     t.Y_max = y_max;
59     t.isFree = freeState;
60     t.isDraw = drawState;
61     t.ID = id;
62
63     return t;
64 }
65
66 /*
67 * Initialize the starting tiles values. When the game needs to be restart
    this function must be called
68 *
69 *  6 | 7 | 8
70 * ---|---|---
71 *  3 | 4 | 5
72 * ---|---|---
73 *  0 | 1 | 2
74 */
75 void initializeTiles(void) {
76     tiles[0] = setTiles(0.0, 0.0, 1.0, 1.0, true, false);
77     tiles[1] = setTiles(1.0, 0.0, 2.0, 1.0, true, false);
78     tiles[2] = setTiles(2.0, 0.0, 3.0, 1.0, true, false);
79
80     tiles[3] = setTiles(0.0, 1.0, 1.0, 2.0, true, false);
81     tiles[4] = setTiles(1.0, 1.0, 2.0, 2.0, true, false);
82     tiles[5] = setTiles(2.0, 1.0, 3.0, 2.0, true, false);
83
84     tiles[6] = setTiles(0.0, 2.0, 1.0, 3.0, true, false);
85     tiles[7] = setTiles(1.0, 2.0, 2.0, 3.0, true, false);
86     tiles[8] = setTiles(2.0, 2.0, 3.0, 3.0, true, false);
87
88 }
89
90 /*
91 * The init(void) function.
92 * This function runs when the program start and set the
93 * default clearing values.
94 */
95 void init(void) {
96     glClearColor(1.0, 1.0, 1.0, 1.0);
97     glShadeModel(GL_FLAT);
98 }

```

```

99
100 /*
101  * The reshape(int w, int h) function.
102  * This function runs when the window is reshaped.
103  */
104 void reshape(int w, int h) {
105     glViewport(0, 0, (GLsizei) w, (GLsizei) h);
106     glMatrixMode(GL_PROJECTION);
107     glLoadIdentity();
108     glOrtho(0.0, 3.0, 0.0, 3.0, -1.0, 1.0);
109     glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
110     glLoadIdentity();
111
112     width = w;
113     height = h;
114 }
115
116 void grid(void) {
117     glLineWidth(5.0);
118     glColor3f(0.0, 0.0, 0.0);
119     glBegin(GL_LINES);
120         glVertex3f(0.0, 1.0, 0.0);
121         glVertex3f(3.0, 1.0, 0.0);
122
123         glVertex3f(0.0, 2.0, 0.0);
124         glVertex3f(3.0, 2.0, 0.0);
125
126         glVertex3f(1.0, 0.0, 0.0);
127         glVertex3f(1.0, 3.0, 0.0);
128
129         glVertex3f(2.0, 0.0, 0.0);
130         glVertex3f(2.0, 3.0, 0.0);
131     glEnd();
132 }
133
134 /*
135  * draw the symbol for X player.
136  */
137 void drawX(float x_min, float y_min, float x_max, float y_max) {
138     glLineWidth(3.0);
139     glColor3f(0.5, 0.0, 0.0);
140     glBegin(GL_LINES);
141         glVertex3f(x_min + 0.2, y_min + 0.2, 0.0);
142         glVertex3f(x_max - 0.2, y_max - 0.2, 0.0);
143
144         glVertex3f(x_min + 0.2, y_max - 0.2, 0.0);
145         glVertex3f(x_max - 0.2, y_min + 0.2, 0.0);
146     glEnd();
147 }

```

```

148
149 /*
150  * draw the symbol for O player.
151  */
152 void drawO(float x_min, float y_min, float x_max, float y_max) {
153
154     glLineWidth(2.0);
155     glColor3f(0.0, 0.0, 0.5);
156     float x_circle = x_min + (x_max-x_min)/2;
157     float y_circle = y_min + (y_max-y_min)/2;
158     glBegin(GL_LINE_LOOP);
159
160     for (int i=0; i < 360; i++)
161     {
162         float degInRad = i*DEG2RAD;
163         glVertex2f(x_circle + cos(degInRad)*0.4, y_circle + sin(degInRad)
164 *0.4);
165     }
166     glEnd();
167 }
168
169 /*
170  * Check if three char values are the same.
171  */
172 bool checkSameChar(char c1, char c2, char c3) {
173     if ((c1 != '\0' || c2 != '\0' || c3 != '\0') && c1 == c2 && c2 == c3) {
174         winPlayer = c1;
175         return true;
176     }
177     return false;
178 }
179
180 /*
181  * Check if someone Wonned
182  */
183 bool checkWinCondition(void) {
184     if(checkSameChar(tiles[0].ID, tiles[1].ID, tiles[2].ID) || checkSameChar(
185 tiles[0].ID, tiles[3].ID, tiles[6].ID)
186 || checkSameChar(tiles[0].ID, tiles[4].ID, tiles[8].ID) ||
187 checkSameChar(tiles[1].ID, tiles[4].ID, tiles[7].ID)
188 || checkSameChar(tiles[2].ID, tiles[5].ID, tiles[8].ID) ||
189 checkSameChar(tiles[2].ID, tiles[4].ID, tiles[6].ID)
190 || checkSameChar(tiles[3].ID, tiles[4].ID, tiles[5].ID) ||
191 checkSameChar(tiles[6].ID, tiles[7].ID, tiles[8].ID))
192         return true;
193     return false;
194 }

```

```

191
192 /*
193  * Check if game is Drawn
194  */
195 bool checkDrawCondition(void) {
196     int counter = 0;
197     for(int i = 0; i < 9; i++) {
198         if(!tiles[i].isFree) {
199             counter++;
200         }
201     }
202     if(counter == 9)
203         return true;
204     return false;
205 }
206
207 /*
208  * The display(void) function.
209  * This function draw the graphics to screen.
210  */
211 void display(void) {
212     glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
213     grid();
214
215     for(int i = 0; i < 9; i++) {
216         if(tiles[i].isDraw) {
217             if(tiles[i].ID == PLAYER_O) {
218                 drawO(tiles[i].X_min, tiles[i].Y_min, tiles[i].X_max, tiles[i]
219 ].Y_max);
220             } else if(tiles[i].ID == PLAYER_X) {
221                 drawX(tiles[i].X_min, tiles[i].Y_min, tiles[i].X_max, tiles[i]
222 ].Y_max);
223             }
224         }
225     }
226
227     glutSwapBuffers();
228
229     if(winGame) {
230         std::cout << "The player " << winPlayer << " won the game" << std::
231 endl;
232     } else if(drawGame) {
233         std::cout << "The game is draw! Well done to both of you!" << std::endl
234 ;
235     }
236 }
237
238 /*
239  * Initialize GLUT window features.
240  */
241 void initializeGL(void) {
242     glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE | GLUT_RGB);
243     glutInitWindowSize(MY_WIN_WIDTH, MY_WIN_HEIGHT);
244     glutInitWindowPosition(MY_WIN_POS_X, MY_WIN_POS_Y);
245     glutCreateWindow(MY_WIN_TITLE);
246 }

```

```

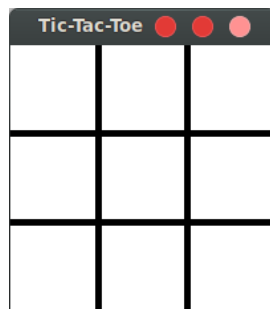
244
245 /*
246  * Check if a number is between a min and a max value.
247  */
248 bool NumBetweenEqual(float num, float min, float max) {
249     if(min <= num && max >= num)
250         return true;
251     return false;
252 }
253
254 /*
255  * Check which tiles must be drawn and set tiles symbol.
256  */
257 void checkTile(float x, float y) {
258     for(int i = 0; i < 9; i++) {
259         if(NumBetweenEqual(x*3.0, tiles[i].X_min, tiles[i].X_max) &&
260            NumBetweenEqual(3-y*3.0, tiles[i].Y_min, tiles[i].Y_max)) {
261             if(tiles[i].isFree) {
262                 tiles[i].isFree = false;
263                 tiles[i].isDraw = true;
264                 if(O_turn) {
265                     tiles[i].ID = PLAYER_O;
266                     O_turn = false;
267                 } else {
268                     tiles[i].ID = PLAYER_X;
269                     O_turn = true;
270                 }
271             }
272             winGame = checkWinCondition();
273             if(!winGame)
274                 drawGame = checkDrawCondition();
275             glutPostRedisplay();
276             break;
277         }
278     }
279 }
280
281 /*
282  * Check mouse input events.
283  */
284 void mouse(int button, int state, int x, int y) {
285     switch(button) {
286     case GLUT_LEFT_BUTTON: {
287         if(state == GLUT_DOWN)
288             if(!winGame && !drawGame)
289                 checkTile((float)x/width, (float)y/height);
290         break;
291     } default:
292         break;
293     }
294 }

```

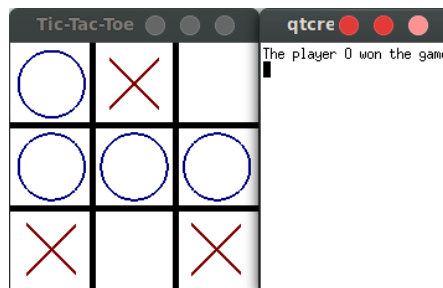
```

294
295 int main(int argc, char** argv)
296 {
297     glutInit(&argc, argv);
298     initializeGL();
299     initializeTiles();
300
301     init();
302     glutMouseFunc(mouse);
303     glutDisplayFunc(display);
304     glutReshapeFunc(reshape);
305     glutMainLoop();
306     return 0;
307 }

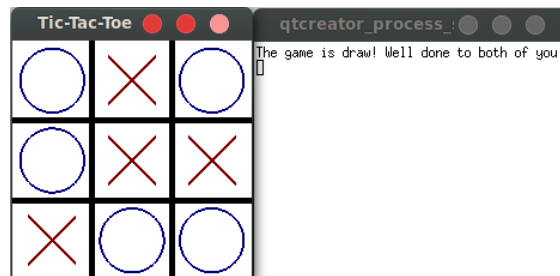
```



Σχήμα 4.2: Αρχικός Πίνακας



Σχήμα 4.3: Σενάριο Νίκης



Σχήμα 4.4: Σενάριο Ισοπαλίας



## 4.3 Tic-Tac-Toe σε περιβάλλον QtCreator

```

1  /*****
2  /*mainwindow.h */
3  *****/
4
5  #ifndef MAINWINDOW_H
6  #define MAINWINDOW_H
7
8  #include <QMainWindow>
9  #include <QStatusBar>
10 #include <QTimer>
11 #include <QLCDNumber>
12
13 namespace Ui {
14 class MainWindow;
15 }
16
17 class MainWindow : public QMainWindow
18 {
19     Q_OBJECT
20
21 public:
22     explicit MainWindow(QWidget *parent = 0);
23     ~MainWindow();
24
25 private slots:
26     void checkWinDrawConditions();
27
28     void on_resetBoard_clicked();
29
30 private:
31     Ui::MainWindow *ui;
32
33     QTimer timer;
34     int WinCounter_O;
35     int WinCounter_X;
36     bool isOn;
37 };
38
39 #endif // MAINWINDOW_H

```

```

1  /*****
2  /*mainwindow.cpp */
3  *****/
4
5  #include "mainwindow.h"
6  #include "ui_mainwindow.h"
7
8  #include "tictactoe.h"

```

```

9
10 MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) :
11     QMainWindow(parent),
12     ui(new Ui::MainWindow)
13 {
14     ui->setupUi(this);
15     ui->StatusBar->showMessage("Player O plays First", 2000);
16
17     connect(&timer, SIGNAL(timeout()), this, SLOT(checkWinDrawConditions()));
18     timer.start(500);
19
20     WinCounter_O = 0;
21     WinCounter_X = 0;
22
23     ui->OWins_LCD->display(WinCounter_O);
24     ui->OWins_LCD->setPalette(Qt::blue);
25
26     ui->XWins_LCD->display(WinCounter_X);
27     ui->XWins_LCD->setPalette(Qt::red);
28
29     isOn = true;
30 }
31
32 MainWindow::~MainWindow()
33 {
34     delete ui;
35 }
36
37 void MainWindow::checkWinDrawConditions() {
38     if(ui->TicTacToeWidget->isWin()) {
39         if(ui->TicTacToeWidget->WinPlayer() == PLAYER_O && isOn) {
40             WinCounter_O++;
41             ui->StatusBar->showMessage("Player O win!", 2000);
42             ui->OWins_LCD->display(WinCounter_O);
43             isOn = false;
44         } else if(ui->TicTacToeWidget->WinPlayer() == PLAYER_X && isOn) {
45             WinCounter_X++;
46             ui->StatusBar->showMessage("Player X win!", 2000);
47             ui->XWins_LCD->display(WinCounter_X);
48             isOn = false;
49         }
50     } else if(ui->TicTacToeWidget->isDraw() && isOn) {
51         ui->StatusBar->showMessage("Congratulations both of you! The game is
52         DRAWN!", 2000);
53         isOn = false;
54     }
55 }
56
57 void MainWindow::on_resetBoard_clicked()
58 {
59     ui->TicTacToeWidget->resetGame();
60     ui->StatusBar->showMessage("Player O plays First", 2000);
61     isOn = true;
62 }

```

```

1  /*****
2  /* glwidget.h */
3  *****/
4
5  #ifndef GLWIDGET_H
6  #define GLWIDGET_H
7
8  #include <QGLWidget>
9  #include <QMouseEvent>
10 #include <QTimer>
11
12 #include "tictactoe.h"
13
14 class GLWidget : public QGLWidget
15 {
16 public:
17     GLWidget(QWidget *parent);
18
19     void initializeGL(void); //init(void)
20
21     void resizeGL(int w, int h); //reshape(int h, int w)
22
23     void paintGL(void); //display(void)
24
25     void mousePressEvent(QMouseEvent* event); //Check Mouse Events
26
27     void resetGame(void) {game.resetBoard();}
28
29     bool isWin(void) {return game.IsWin();}
30
31     bool isDraw(void) {return game.IsDraw();}
32
33     char WinPlayer(void) {return game.WinPlayer();}
34
35 private:
36     QTimer glTimer;
37     TicTacToe game;
38
39 };
40
41 #endif // GLWIDGET_H

```

```

1  /*****
2  /* glwidget.cpp */
3  *****/
4
5  #include "glwidget.h"
6
7  GLWidget::GLWidget(QWidget* parent) :
8      QGLWidget(parent)
9  {
10     connect(&glTimer, SIGNAL(timeout()), this, SLOT(updateGL()));
11     glTimer.start(30);
12
13     resetGame();
14 }

```

```

15
16 /* Same as
17 * void init(void) {...}
18 * function.
19 */
20 void GLWidget::initializeGL(void) {
21     glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);
22     glShadeModel(GL_FLAT);
23 }
24
25 /* Same as
26 * void reshape(int w, int h){...}
27 * function. There isn't any need to call
28 * glutReshapeFunc(...)
29 * to run this function.
30 */
31 void GLWidget::resizeGL(int w, int h) {
32     glViewport(0, 0, (GLsizei) w, (GLsizei) h);
33     glMatrixMode(GL_PROJECTION);
34     glLoadIdentity();
35     glOrtho(0.0, game.boardWidth(), 0.0, game.boardHeight(), -1.0, 1.0);
36     glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
37     glLoadIdentity();
38 }
39
40 /* Same as
41 * void display(void){...}
42 * function. There isn't any need to call
43 * glutDisplayFunc(...)
44 * to run this function.
45 */
46 void GLWidget::paintGL(void) {
47     glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
48     game.drawGrid();
49     game.drawTiles();
50 }
51
52
53 //Mouse Event Handling on QT
54 void GLWidget::mousePressEvent(QMouseEvent* event) {
55     switch (event->button()) {
56     case Qt::LeftButton:
57         if (!game.IsWin() && !game.IsDraw())
58             game.checkTileToDraw((float)event->x()/width(), (float)(height() -
59             event->y())/height());
60         break;
61     default:
62         break;
63     }
64 }

```

```

1  /*****
2  /* tictactoe.h */
3  *****/
4
5  #ifndef TICTACTOE_H
6  #define TICTACTOE_H
7
8  #define PLAYER_X 'X'
9  #define PLAYER_O 'O'
10 #define DEFAULT_SYMBOL '\0'
11
12 class Tile
13 {
14 public:
15     void setTile(float x_min, float y_min, float x_max, float y_max, char sym
        = DEFAULT_SYMBOL);
16
17     inline float minX(void) {return Xmin;}
18     inline float minY(void) {return Ymin;}
19     inline float maxX(void) {return Xmax;}
20     inline float maxY(void) {return Ymax;}
21     inline char Symbol(void) {return symbol;}
22     inline void setSymbol(char sym) {symbol = sym;}
23
24 private:
25     float Xmin; //minimum X tile coordinate
26     float Ymin; //minimum Y tile coordinate
27     float Xmax; //maximum X tile coordinate
28     float Ymax; //maximum Y tile coordinate
29
30     char symbol; //the symbol of the player 'O' or 'X' if not free or '\0' if
        free.
31 };
32
33 class TicTacToe
34 {
35 public:
36     TicTacToe(void);
37
38     void resetBoard(void);
39     void drawGrid(void);
40     void drawTiles(void);
41     void drawSymbolX(float x_min, float y_min, float x_max, float y_max);
42     void drawSymbolO(float x_min, float y_min, float x_max, float y_max);
43
44     float boardWidth(void) {return maxBoardWidth;}
45     float boardHeight(void) {return maxBoardHeight;}
46
47     inline bool IsWin(void) {return isWin;}
48     inline bool IsDraw(void) {return isDraw;}
49     inline char WinPlayer(void) {return winPlayer;}
50
51     void checkTileToDraw(float x, float y);

```

```

52
53 private:
54     Tile boardTiles[9];
55
56     float maxBoardWidth;
57     float maxBoardHeight;
58
59     bool isWin;
60     bool isDraw;
61     bool O_plays;
62
63     char winPlayer;
64
65     bool checkSameChar(char c1, char c2, char c3);
66     bool checkWinCondition(void);
67     bool checkDrawCondition(void);
68     bool numBetweenOrEqualToMin(float num, float min, float max);
69 };
70
71 #endif // TICTACTOE_H

```

```

1  /*****
2  /* tictactoe.cpp */
3  *****/
4
5  #include "tictactoe.h"
6  #include "GL/gl.h"
7
8  #include "math.h"
9
10 const float DEG2RAD = 3.14159265/180;
11
12 void Tile::setTile(float x_min, float y_min, float x_max, float y_max, char
13     sym) {
14     Xmin = x_min;
15     Ymin = y_min;
16     Xmax = x_max;
17     Ymax = y_max;
18     symbol = sym;
19 }
20 TicTacToe::TicTacToe(void)
21 {
22     maxBoardWidth = 3.0;
23     maxBoardHeight = 3.0;
24
25     isWin = false;
26     isDraw = false;
27     O_plays = true;
28 }

```

```

29
30 /*
31  * Reset the board tiles when the game needs to be called.
32  *
33  *  6 | 7 | 8
34  * ---|---|---
35  *  3 | 4 | 5
36  * ---|---|---
37  *  0 | 1 | 2
38  *
39  */
40 void TicTacToe::resetBoard(void) {
41
42     /*
43     * boardTiles[0].setTile(0.0, 0.0, 1.0, 1.0);
44     * boardTiles[1].setTile(1.0, 0.0, 2.0, 1.0);
45     * boardTiles[2].setTile(2.0, 0.0, 3.0, 1.0);
46     *
47     * boardTiles[3].setTile(0.0, 1.0, 1.0, 2.0);
48     * boardTiles[4].setTile(1.0, 1.0, 2.0, 2.0);
49     * boardTiles[5].setTile(2.0, 1.0, 3.0, 2.0);
50     *
51     * boardTiles[6].setTile(0.0, 2.0, 1.0, 3.0);
52     * boardTiles[7].setTile(1.0, 2.0, 2.0, 3.0);
53     * boardTiles[8].setTile(2.0, 2.0, 3.0, 3.0);
54     */
55     int index = 0;
56     for(int y = 0; y < maxBoardHeight; y++)
57         for(int x = 0; x < maxBoardWidth; x++)
58             boardTiles[index++].setTile(x, y, x+1, y+1);
59
60     isWin = false;
61     isDraw = false;
62     O_plays = true;
63 }
64
65 /*
66  * Draw GameBoard Grid
67  */
68 void TicTacToe::drawGrid(void) {
69     glLineWidth(5.0);
70     glColor3f(0.9, 0.9, 0.9);
71     glBegin(GL_LINES);
72         for(int y = 1; y < maxBoardHeight; y++) {
73             glVertex2f(0.0, y);
74             glVertex2f(maxBoardWidth, y);
75         }
76         for(int x = 1; x < maxBoardWidth; x++) {
77             glVertex2f(x, 0.0);
78             glVertex2f(x, maxBoardHeight);
79         }
80     glEnd();
81 }

```

```

82
83 void TicTacToe::drawTiles(void) {
84     for(int i = 0; i < maxBoardWidth*maxBoardHeight; i++) {
85         if(boardTiles[i].Symbol() != DEFAULT_SYMBOL) {
86             if(boardTiles[i].Symbol() == PLAYER_O)
87                 drawSymbolO(boardTiles[i].minX(), boardTiles[i].minY(),
88 boardTiles[i].maxX(), boardTiles[i].maxY());
89             else if(boardTiles[i].Symbol() == PLAYER_X)
90                 drawSymbolX(boardTiles[i].minX(), boardTiles[i].minY(),
91 boardTiles[i].maxX(), boardTiles[i].maxY());
92         }
93     }
94 }
95
96 /*
97 * Draw 'O' Symbol
98 */
99 void TicTacToe::drawSymbolO(float x_min, float y_min, float x_max, float y_max
100 ) {
101     glLineWidth(2.0);
102     glColor3f(0.0, 0.0, 1.0);
103     float x_circle = x_min + (x_max - x_min)/2;
104     float y_circle = y_min + (y_max - y_min)/2;
105
106     glBegin(GL_LINE_LOOP);
107     for(int i = 0; i < 360; i++) {
108         float degInRad = i * DEG2RAD;
109         glVertex2f(x_circle + cos(degInRad) * 0.4, y_circle + sin(degInRad
110 ) * 0.4);
111     }
112     glEnd();
113 }
114
115 /*
116 * Draw 'X' Symbol
117 */
118 void TicTacToe::drawSymbolX(float x_min, float y_min, float x_max, float y_max
119 ) {
120     glLineWidth(3.0);
121     glColor3f(1.0, 0.0, 0.0);
122     glBegin(GL_LINES);
123     glVertex2f(x_min + 0.2, y_min + 0.2);
124     glVertex2f(x_max - 0.2, y_max - 0.2);
125
126     glVertex2f(x_min + 0.2, y_max - 0.2);
127     glVertex2f(x_max - 0.2, y_min + 0.2);
128     glEnd();
129 }

```



```

126
127 /*
128  * Check if three char values are the same.
129  */
130 bool TicTacToe::checkSameChar(char c1, char c2, char c3) {
131     if ((c1 != DEFAULT_SYMBOL && c2 != DEFAULT_SYMBOL && c3 != DEFAULT_SYMBOL)
132         && (c1 == c2 && c2 == c3)) {
133         winPlayer = c1;
134         return true;
135     }
136     return false;
137 }
138
139 /*
140  * Check if the game has been won.
141  */
142 bool TicTacToe::checkWinCondition(void) {
143     if (checkSameChar(boardTiles[0].Symbol(), boardTiles[1].Symbol(),
144         boardTiles[2].Symbol())
145         || checkSameChar(boardTiles[0].Symbol(), boardTiles[4].Symbol(),
146         boardTiles[8].Symbol())
147         || checkSameChar(boardTiles[0].Symbol(), boardTiles[3].Symbol(),
148         boardTiles[6].Symbol())
149         || checkSameChar(boardTiles[1].Symbol(), boardTiles[4].Symbol(),
150         boardTiles[7].Symbol())
151         || checkSameChar(boardTiles[2].Symbol(), boardTiles[4].Symbol(),
152         boardTiles[6].Symbol())
153         || checkSameChar(boardTiles[3].Symbol(), boardTiles[4].Symbol(),
154         boardTiles[5].Symbol())
155         || checkSameChar(boardTiles[6].Symbol(), boardTiles[7].Symbol(),
156         boardTiles[8].Symbol()))
157         return true;
158     return false;
159 }
160
161 /*
162  * Check if the game has been drawn.
163  */
164 bool TicTacToe::checkDrawCondition(void) {
165     for (int i = 0; i < maxBoardWidth*maxBoardHeight; i++) {
166         if (boardTiles[i].Symbol() == DEFAULT_SYMBOL) {
167             return false;
168         }
169     }
170     return true;
171 }
172
173 /*
174  * Check if a Number is higher or equal than a min value and lower than a max
175  * value
176  */
177 bool TicTacToe::numBetweenOrEqualToMin(float num, float min, float max) {
178     if (min <= num && max > num)
179         return true;
180     return false;
181 }

```

```

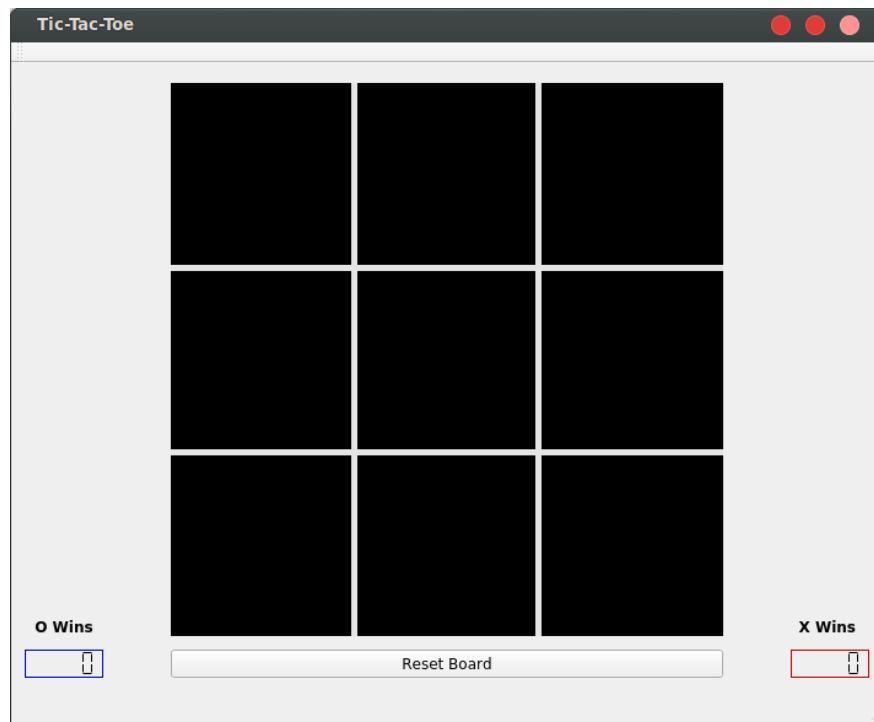
173
174 /*
175  * Check which Tile must be drawn and set tile symbol.
176  */
177 void TicTacToe::checkTileToDraw(float x, float y) {
178     for(int i = 0; i < maxBoardWidth*maxBoardHeight; i++) {
179         if(numBetweenOrEqualToMin(x * 3.0, boardTiles[i].minX(), boardTiles[i]
180             .maxX())
181             && numBetweenOrEqualToMin(y * 3.0, boardTiles[i].minY(),
182                 boardTiles[i].maxY())) {
183
184             if(boardTiles[i].Symbol() == DEFAULT_SYMBOL) {
185                 if(O_plays) {
186                     boardTiles[i].setSymbol(PLAYER_O);
187                     O_plays = false;
188                 } else {
189                     boardTiles[i].setSymbol(PLAYER_X);
190                     O_plays = true;
191                 }
192             }
193             break;
194         }
195     }
196     isWin = checkWinCondition();
197     if(!isWin)
198         isDraw = checkDrawCondition();
199 }

```

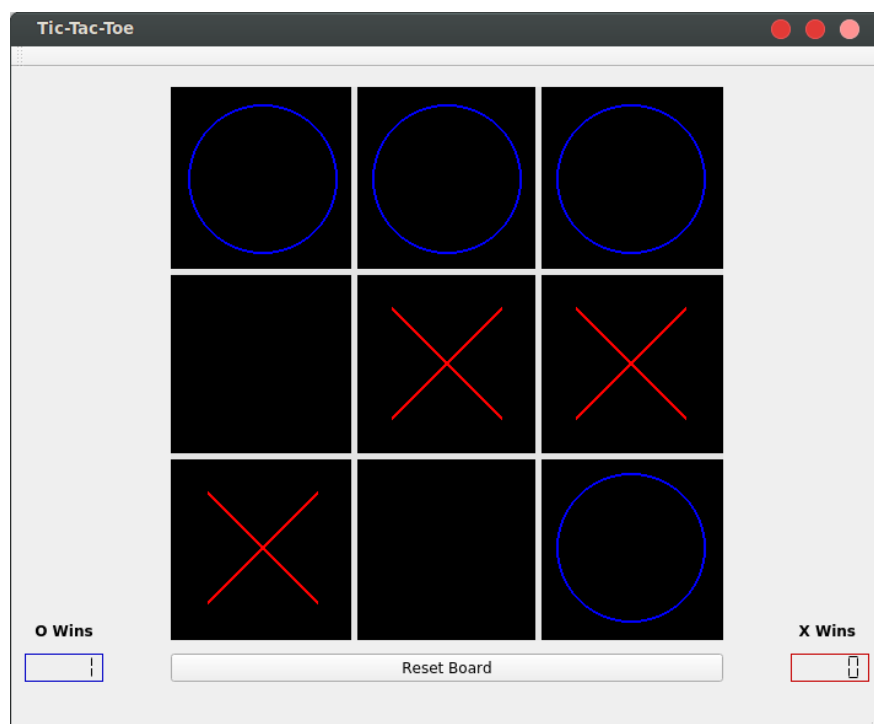
**Παρατήρηση:** Ο κώδικας στο περιβάλλον QtCreator ορίζει την κλάση **TicTacToe**, στην οποία πραγματοποιούνται όλες οι απαραίτητες λειτουργίες διαχείρισης του παιχνιδιού. Αυτός ο τρόπος σχεδιασμού του προγράμματος διευκολύνει τόσο τις τροποποιήσεις/διορθώσεις του υφιστάμενου κώδικα, όσο και τις επιπλέον προσθήκες (πχ παιχνίδι εναντίων του υπολογιστή κι επιλογή παιχνιδιού μεταξύ χρήστη και υπολογιστή ή μεταξύ χρηστών). Επιπλέον σε πιο πολύπλοκα παιχνίδια (πχ rpg), μία τέτοια αρχιτεκτονική δομή του κώδικα (σε τέτοια προγράμματα συνήθως δημιουργούνται περισσότερες κλάσεις, μία για κάθε λειτουργία), δημιουργεί λιγότερα λάθη κατά τη διαδικασία προγραμματισμού, διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό τόσο τη διαδικασία του debugging, όσο και την προσθήκη επιπλέον στοιχείων στο παιχνίδι.

Ακόμα σημειώνεται ότι ο σχεδιασμός στο QtCreator δίνει τη δυνατότητα για την προσθήκη επιπλέον στοιχείων, όπως είναι η καταμέτρηση των κερδισμένων παιχνιδιών κάθε παίχτη. Μία καλή εξάσκηση είναι να προστεθεί η δυνατότητα αλλαγής σειράς μετά από κάθε παιχνίδι, δηλαδή στο πρώτο παιχνίδι να ξεκινάει ο παίχτης με το σύμβολο O, ενώ στο επόμενο ο παίχτης με το σύμβολο X και επανάληψη της σειράς.

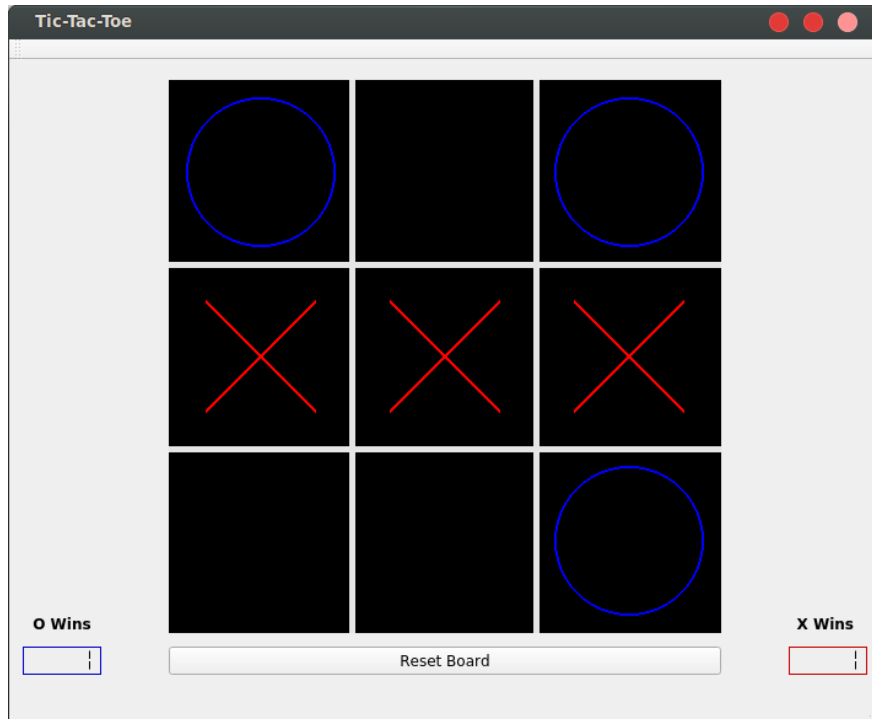
Τέλος το αποτέλεσμα του παραπάνω κώδικα φαίνεται στις επόμενες σελίδες.



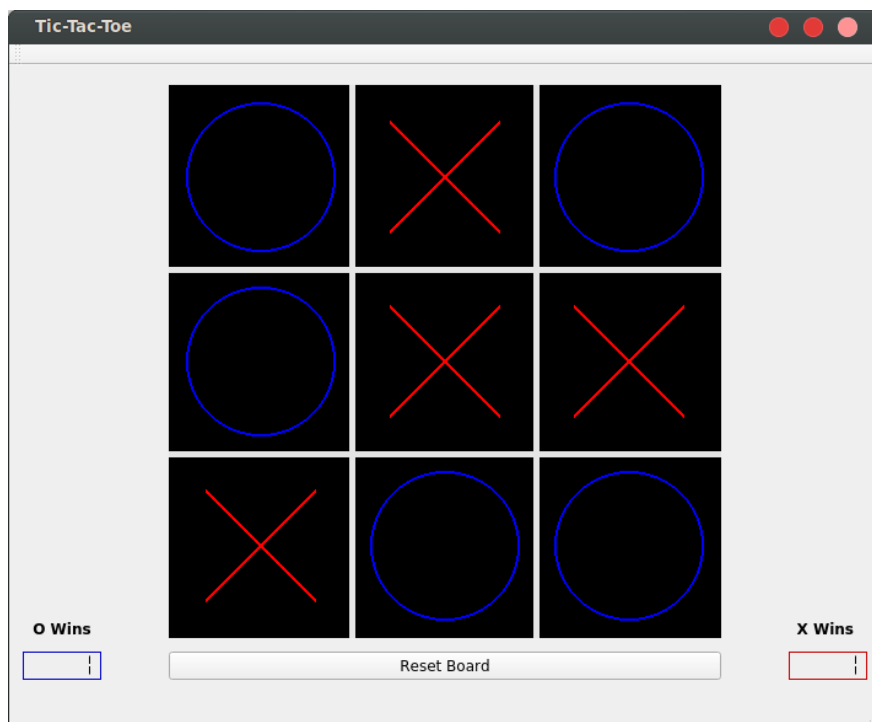
Σχήμα 4.5: Αρχικός Πίνακας



Σχήμα 4.6: Σενάριο Νίκης για τον Παίκτη O



Σχήμα 4.7: Σενάριο Νίκης για τον Παίχτη X



Σχήμα 4.8: Σενάριο Ισοπαλίας

## Κεφάλαιο 5

# Πρότυπα Ευθειών

Έχει ήδη ειπωθεί πως οτιδήποτε σχεδιάζεται στην οθόνη με τη χρήση της OpenGL, αποτελεί ένα συνδυασμό γεωμετρικών πρωτεύοντων. Τα βασικά γεωμετρικά πρωτεύοντα είναι τρία (**σημεία, ευθείες, πολύγωνα**). Για αυτό το λόγο, το εγχειρίδιο αυτό θα αφιερώσει δύο κεφάλαια στην περιγραφή των γεωμετρικών προτύπων.

Τέλος αναφέρεται ότι στα κεφάλαια, όπου η θεωρεία αναφέρεται σε απλά γραφικά, για τα οποία η μέθοδος απεικόνισης ή ο σχεδιασμός του κώδικα δε διαφοροποιείται σημαντικά, τόσο μεταξύ των δύο περιβάλλοντων, όσο και μεταξύ προηγούμενων παραδειγμάτων (του ίδιου περιβάλλοντος), τότε το παράδειγμα θα παρουσιάζεται **μόνο** σε περιβάλλον **GLUT**.

### 5.1 Βασική Θεωρεία

#### 5.1.1 Σημεία

**Ορισμός:** Ως σημείο ορίζεται ένα σετ συντεταγμένων  $(x,y,z)$ , το οποίο προσδιορίζει μία συγκεκριμένη θέση στο χώρο, την οποία στην OpenGL καλείται κόμβος.

Επιπλέον σημειώνεται πως λόγω κατασκευαστικών περιορισμών η έννοια του σημείου δεν πληρεί τις προδιαγραφές του μαθηματικού σημείου (η κατώτερη σημειακή μονάδα στην οθόνη είναι η διαστάσεις του ενός pixel).

Το όρισμα με το οποίο σχεδιάζεται ένα σημείο είναι το **GL\_POINTS**. Το μέγεθος του σημείου ορίζεται με τη συνάρτηση **glPointSize(GLfloat size)**, η οποία δέχεται σαν όρισμα το μέγεθος του σημείου. Το προκαθορισμένο μέγεθος είναι 1.

#### 5.1.2 Ευθείες

**Ορισμός:** Ως ευθεία, η OpenGL, ορίζει το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει δύο κόμβους.

Το όρισμα με το οποίο σχεδιάζεται μία ευθεία είναι το **GL\_LINES** (όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο υπάρχουν κι άλλα τα οποία αποτελούν προεκτάσεις του ορίσματος αυτού). Το μέγεθος της ευθείας ορίζεται με τη συνάρτηση **glLineWidth(GLfloat width)**, η οποία δέχεται σαν όρισμα το πάχος της ευθείας. Το προκαθορισμένο πάχος είναι 1.

#### 5.1.3 Μοτίβα Ευθειών

Η βιβλιοθήκη OpenGL έχει προνοήσει για τη δημιουργία συνάρτησης που ορίζει το μοτίβο με το οποίο θα σχεδιαστεί στην οθόνη μία ευθεία (πχ ευθεία με κουκίδες, ευθεία μοτίβου παύλα-κουκίδα-παύλα κλπ). Η συνάρτηση αυτή συντάσσεται ως:

- **glLineStipple(GLint factor, GLushort pattern):** Θέτει το υφιστάμενο πρότυπο κουκίδων για τις ευθείες. Το μοτίβο είναι μία σειρά 16-bit από 0 και 1 κι επαναλαμβάνεται

όσες φορές χρειαστεί για να καλύψει την ευθεία. Το 1 υποδηλώνει ότι πως η ευθεία θα σχεδιαστεί και το 0 υποδηλώνει ότι δε θα σχεδιαστεί. Η σειρά σχεδίασης είναι από δεξιά προς τα αριστερά. Το μοτίβο μπορεί να «τεντώσει»με τη χρήση του ορίσματος factor. Δηλαδή εάν οριστεί factor ίσο με 2 και το μοτίβο ορίζει είναι της μορφής:

0011001100110011

τότε θα εκφραστεί ως:

0000111100001111

Ο συντελεστής factor δέχεται τιμές 1 έως 255. Προκειμένου το μοτίβο να σχεδιαστεί, πρέπει πρώτα να ενεργοποιηθεί με την εντολή **glEnable(GLenum cap)** και το όρισμα **GL\_LINE\_STIPPLE**, αλλιώς η ευθεία θα σχεδιαστεί σαν να έχει οριστεί μοτίβο **0xFFFF** και συντελεστής(factor) 1. Όταν η σχεδίαση ολοκληρωθεί, για λόγους απόδοσης συνίστανται η απενεργοποίησή του με την εντολή **glDisable(GLenum cap)**.

## 5.2 Απεικόνιση Μοτίβων Ευθειών σε περιβάλλον GLUT

```

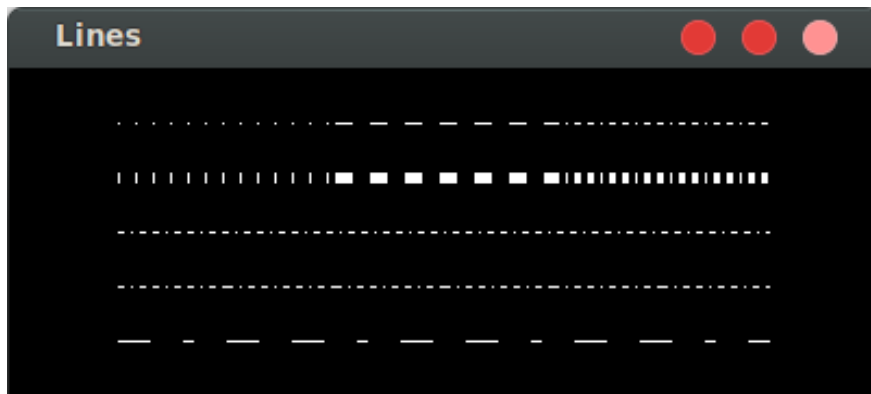
1  /*****/
2  /* main.cpp */
3  /*****/
4
5  #include <GL/gl.h>
6  #include <GL/glut.h>
7
8  #define drawOneLine(x1, y1, x2, y2) glBegin(GL_LINES); \
9      glVertex2f((x1), (y1)); glVertex2f((x2), (y2)); glEnd();
10
11 #define MY_WIN_WIDTH 400
12 #define MY_WIN_HEIGHT 150
13 #define MY_WIN_POS_X 100
14 #define MY_WIN_POS_Y 100
15 #define MY_WIN_TITLE "Lines"
16
17 void init(void) {
18     glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);
19     glShadeModel(GL_FLAT);
20 }
21
22 void reshape(int w, int h) {
23     glViewport(0, 0, (GLsizei) w, (GLsizei) h);
24     glMatrixMode(GL_PROJECTION);
25     glLoadIdentity();
26     glOrtho(0.0, 400.0, 0.0, 150.0, -1.0, 1.0);
27 }
```

```

28
29 void display(void) {
30     glClear((GL_COLOR_BUFFER_BIT));
31
32     /* select white for all lines */
33     glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);
34
35
36     glEnable(GL_LINE_STIPPLE);
37     /* int 1st row, 3 lines, each with a different stipple */
38     glLineWidth(1.0);
39     glLineStipple(1, 0x0101); /* dotted */
40     drawOneLine(50.0, 125.0, 150.0, 125.0);
41     glLineStipple(1, 0x00FF); /* dashed */
42     drawOneLine(150.0, 125.0, 250.0, 125.0);
43     glLineStipple(1, 0x1C47); /* dash/dot/dash */
44     drawOneLine(250.0, 125.0, 350.0, 125.0);
45
46     /* int 2nd row, 3 wide lines, each with a different stipple */
47     glLineWidth(5.0);
48     glLineStipple(1, 0x0101); /* dotted */
49     drawOneLine(50.0, 100.0, 150.0, 100.0);
50     glLineStipple(1, 0x00FF); /* dashed */
51     drawOneLine(150.0, 100.0, 250.0, 100.0);
52     glLineStipple(1, 0x1C47); /* dash/dot/dash */
53     drawOneLine(250.0, 100.0, 350.0, 100.0);
54
55     /* int 3rd row, 6 lines, with dash/dot/dash stipple */
56     /* as part of a single connected line strip */
57     glLineWidth(1.0);
58     glLineStipple(1, 0x1C47); /* dash/dot/dash */
59     glBegin(GL_LINE_STRIP);
60     for(int i = 0; i < 7; i++)
61         glVertex2f(50.0 + ((GLfloat) i * 50.0), 75.0);
62     glEnd();
63
64     /* int 4th row, 6 independent lines, with same stipple */
65     /* as part of a single connected line strip */
66     for(int i = 0; i < 6; i++) {
67         drawOneLine(50.0 + ((GLfloat) i * 50.0), 50.0,
68                     50.0 + ((GLfloat) (i+1) * 50.0), 50.0);
69     }
70     /* in the 5th row, 1 line, with dash/dot/dash stipple */
71     /* and a stipple repeat factor of 5 */
72     glLineStipple(5, 0x1c47); /* dash/dot/dash */
73     drawOneLine(50.0, 25.0, 350.0, 25.0);
74
75     glDisable(GL_LINE_STIPPLE);
76     glFlush();
77 }
78
79 void initializeGL(void) {
80     glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGB);
81     glutInitWindowSize(MY_WIN_WIDTH, MY_WIN_HEIGHT);
82     glutInitWindowPosition(MY_WIN_POS_X, MY_WIN_POS_Y);
83     glutCreateWindow(MY_WIN_TITLE);
84 }

```

```
85
86 int main(int argc, char** argv)
87 {
88     glutInit(&argc, argv);
89     initializeGL();
90     init();
91     glutDisplayFunc(display);
92     glutReshapeFunc(reshape);
93     glutMainLoop();
94
95     return 0;
96 }
```



Σχήμα 5.1: Μοτίβα Ευθειών

**Σημείωση:** Τόσο το μέγεθος των σημείων, όσο και το πάχος των ευθειών, όταν σε ένα κώδικα χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί πάνω από ένα μέγεθος, τότε πρέπει πριν από κάθε σχεδιασμό να ορίζεται, αλλιώς γραμμές κάποιες από τις ευθείες θα σχεδιαστούν με λάθος πάχος. Αυτό οφείλεται στο ότι η βιβλιοθήκη OpenGL λειτουργεί ως μηχανή κατάστασης και αφού οριστεί μία τιμή, τότε αυτή παραμένει εν ενεργεία έως ότου αλλάξει.



## Κεφάλαιο 6

# Σχεδίαση Πολυγώνων

### 6.1 Βασική Θεωρεία

#### 6.1.1 Πολύγωνα

**Ορισμός:** Ονομάζεται κάθε περιοχή που περικλείεται από μία γραμμή, την οποίας το τέλος ταυτίζεται με την αρχή της. Πιο απλά, κάθε κλειστό σχήμα ονομάζεται πολύγωνο.

Το όρισμα με το οποίο σχεδιάζεται ένα πολύγωνο είναι το **GL\_POLYGON**.

Γενικά η περιγραφή ενός πολυγώνου μπορεί να είναι περίπλοκη, για αυτό το λόγο η OpenGL έχει δημιουργήσει κάποιους αυστηρούς περιορισμούς, για το τι θεωρεί ως πρότυπο πολύγωνο. Οι περιορισμοί αυτοί είναι οι εξής:

- Οι πλευρές του πολυγώνου δεν πρέπει να τέμνονται. Οι μαθηματικοί ονομάζουν ένα τέτοιο πολύγωνο **απλό πολύγωνο**.
- Το πολύγωνο πρέπει να είναι κυρτό, αυτό σημαίνει ότι δεν πρέπει να έχει εσοχές.
- Τέλος πολύγωνα με τρύπες στο εσωτερικό τους είναι αδύνατο να σχεδιαστούν.

Ο λόγος που η OpenGL θέτει αυτούς τους περιορισμούς, είναι καθαρά θέμα ταχύτητας. Ένα απλό πολύγωνο σχεδιάζεται γρηγορότερα από ένα σύνθετο. Τέλος σημειώνεται πως ένα πολύγωνο, δε βρίσκεται αναγκαστικά πάνω σε ένα επίπεδο. Όταν ισχύει αυτό, έπειτα από την πραγματοποίηση αρκετών στροφών και την προβολή τους στην οθόνη, το πολύγωνο χάνει την κυρτότητά του και παύει να είναι απλό.

#### 6.1.2 Σχεδιασμός καμπύλων γραμμών-επιφανειών

Μέχρι τώρα έχει ειπωθεί πως η OpenGL σχεδιάζει μόνο σημεία, ευθείες και πολύγωνα. Ένα εύλογο και κατανοητό ερώτημα σε αυτό το σημείο είναι το πως σχεδιάζονται οι καμπύλες ευθείες ή επιφάνειες. Η απάντηση ωστόσο είναι απλή.

Ας θεωρηθούν δύο σημεία, τα οποία βρίσκονται τόσο κοντά, ώστε η ευθεία που τα ενώνει να μην είναι ορατή. Η επόμενη ευθεία θα σχεδιαστεί υπό γωνία ως προς την πρώτη και θα πληρεί και αυτή τις ίδιες προδιαγραφές με την πρώτη. Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία  $N$ -φορές, όπου  $N = lines - 1$ , σχηματίζεται η επιθυμητή καμπύλη.

Στο κεφάλαιο Tic-Tac-Toe, δόθηκε η συνάρτηση σχεδιασμού ενός κύκλου, η οποία με μία μικρή τροποποίηση μπορεί να σχεδιάσει οποιοδήποτε τόξο κύκλου.

#### 6.1.3 Λεπτομέρειες Πολυγώνων

Τα πολύγωνα συνήθως σχεδιάζονται ως κλειστά σχήματα, απεικονιζόμενα με το ίδιο χρώμα. Ωστόσο μπορούν να σχεδιαστούν και ως αδιαφανή πολύγωνα η απλά να οριοθετηθούν από τα

σημεία των κόμβων τους. Οι δύο τελευταίοι τρόποι σχεδιασμού των πολυγώνων, εξυπηρετούν τις περιπτώσεις γειτνίασης. Όταν δύο πολύγωνα μοιράζονται μία κοινή πλευρά, η πλευρά αυτή αρκεί να σχεδιαστεί μόνο για το πρώτο πολύγωνο. Για το δεύτερο πολύγωνο η κοινή αυτή πλευρά, θα περιγραφεί από τους δύο κόμβους που ενώνουν την ευθεία. Τα διαφανή πολύγωνα από την άλλη, εξυπηρετούν περιπτώσεις που χρειάζεται να οριοθετηθεί μία επιφάνεια, χωρίς να αποκρύπτει το υπόβαθρο (για παράδειγμα στη δημιουργία ενός χάρτη ή τη δημιουργία ενός πολυγώνου που απεικονίζει ένα παράθυρο). Τέλος τα πολύγωνα χαρακτηρίζονται από δύο όψεις (τη μπροστά όψη και την πίσω όψη -front face and back face).

### 6.1.3.A' Πολύγωνα ως Σημεία, Αδιαφανή ή Συμπαγή

Όπως ειπώθηκε παραπάνω, τα πολύγωνα χαρακτηρίζονται από τις μπροστά και πίσω όψεις τους. Ως μπροστά χαρακτηρίζεται η πλευρά η οποία βλέπει τον παρατηρητή, ενώ ως πίσω, αυτή που αποκρύπτεται. Από προεπιλογή και οι δύο όψεις σχεδιάζονται με τον ίδιο τρόπο. Προκειμένου να αλλάξει αυτό, ή να σχεδιαστεί μόνο το περίγραμμα ή τα σημεία, χρησιμοποιείται η εντολή:

- **glPolygonMode**(GLenum face, GLenum mode): Ελέγχει τον τρόπο σχεδίασης της μπροστά ή πίσω όψης ενός πολυγώνου. Το όρισμα face ανάλογα με την όψη που χρειάζεται να επιλεγεί μπορεί να είναι είτε **GL\_FRONT\_AND\_BACK**, είτε **GL\_FRONT**, είτε **GL\_BACK**. Το όρισμα mode μπορεί να είναι είτε **GL\_POINT**, είτε **GL\_LINE**, είτε **GL\_FILL**, ώστε να υποδείξει εάν το πολύγωνο πρέπει να σχεδιαστεί μόνο με τα σημεία των κόμβων του, το περίγραμμά του ή γεμισμένο. Από προεπιλογή τόσο η μπροστά όψη, όσο και η πίσω είναι γεμισμένες.

### 6.1.3.B' Αναστροφή και Σκούπισμα Όψης Πολυγώνου

Από σύμβαση, τα πολύγωνα, των οποίων οι κόμβοι εμφανίζονται αριστερόστροφα στην οθόνη καλούνται πολύγωνα μπροστινής όψεως. Έτσι μπορούν να σχεδιαστεί οποιαδήποτε επιφάνεις χρησιμοποιώντας πολύγωνα ίδιας φοράς. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι μαθηματικά τα αριστερόστροφα πολύγωνα ονομάζονται προσανατολισμένα.

Ας γίνει η υπόθεση ότι πρέπει να περιγραφεί ένα μοντέλο από προσανατολισμένα πολύγωνα, αλλά η εξωτερική φορά των πολυγώνων είναι δεξιόστροφη (πίσω όψη). Η OpenGL έχει σχεδιαστεί ώστε να μπορεί οποιαδήποτε στιγμή να οριστεί ποια πλευρά θα θεωρηθεί ως μπροστινή όψη. Η εντολή αυτή ορίζεται ως:

- **glFrontFace**(GLenum mode): Ελέγχει πως θα οριστεί η μπροστινή όψη ενός πολυγώνου. Από προεπιλογή το όρισμα είναι **GL\_CCW**, το οποίο αντιστοιχεί σε αριστερόστροφο προσανατολισμό σχεδίασης των κόμβων του προβαλλόμενου πολυγώνου σε συντεταγμένες παραθύρου. Εάν το όρισμα αλλάξει σε **GL\_CW**, τότε ο δεξιόστροφος προσανατολισμός σχεδίασης αποτελεί την μπροστινή όψη.

Σε μία τελείως κλειστή επιφάνεια, η οποία κατασκευάστηκε από αδιαφανή πολύγωνα με σταθερό προσανατολισμό, καμία από τις πίσω όψεις των πολυγώνων δεν είναι ποτέ ορατή - είναι πάντα καλυμμένες από τις μπροστά όψεις. Εάν βρεθεί κανείς εκτός επιφάνειας, τότε ίσως χρειαστεί να ενεργοποιηθεί το σκούπισμα, ώστε να αφαιρεθούν πολύγωνα για τα οποία η OpenGL θεωρεί ως πίσω όψη. Αντίστοιχα εάν βρεθεί κανείς εντός του αντικειμένου, τότε μόνο οι πίσω όψεις των πολυγώνων θα είναι ορατές. Προκειμένου να οδηγηθεί η OpenGL στην αφαίρεση της μπροστά ή πίσω όψης των πολυγώνων αρκεί να χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση **glCullFace(...)** και να ενεργοποιηθεί με τη συνάρτηση **glEnable(...)**.

- **glCullFace**(GLenum mode): Υποδηλώνει ποια πολύγωνα πρέπει να αφαιρεθούν (σκούπιστούν) πριν μετατραπούν σε συντεταγμένες οθόνης. Το όρισμα μπορεί να είναι είτε

**GL\_FRONT\_AND\_BACK**, είτε **GL\_FRONT**, είτε **GL\_BACK**. Για να δράσει το σκούπισμα πρέπει να ενεργοποιηθεί με την εντολή **glEnable(...)** και την επιλογή **GL\_CULL\_FACE**. Με το ίδιο όρισμα και την εντολή **glDisable(...)** απενεργοποιείται.

Με πιο τεχνικούς όρους, η απόφαση για το αν η όψη ενός πολυγώνου είναι μπροστά ή πίσω, εξαρτάται από το πρόσημο της περιοχής του πολυγώνου υπολογισμένο σε συντεταγμένες παραθύρου. Ένας τρόπος υπολογισμού της περιοχής είναι ο παρακάτω:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} x_i y_{i+1} + 1 \oplus x_i + 1 \oplus y_{i+1} \quad (6.1)$$

όπου  $x_i$  και  $y_i$  είναι οι συντεταγμένες  $x$  και  $y$  του παραθύρου του  $i$ th κόμβου από τους  $N$ -κόμβους του πολυγώνου και  $i \oplus 1$  ορίζεται ως  $(i + 1) \bmod N$ .

Θεωρώντας ότι έχει οριστεί **GL\_CCW**, εάν  $A > 0$ , τότε για το πολύγωνο που αντιστοιχεί σε αυτή την κορυφή συμπεραίνεται πως φαίνεται η μπροστά όψη του, αλλιώς η πίσω όψη του. Θεωρώντας πως έχει οριστεί η **GL\_CW**, εάν  $A < 0$ , τότε για το πολύγωνο που αντιστοιχεί σε αυτή την κορυφή συμπεραίνεται πως φαίνεται η μπροστά όψη του, αλλιώς η πίσω όψη του.

### 6.1.3.Γ' Ταπετσαρίες Πολυγώνων

Από προεπιλογή τα γεμισμένα πολύγωνα σχεδιάζονται με συμπαγές πρότυπο. Ωστόσο μπορεί να γίνει γέμισμα με μοτίβο ταπετσαρίας μεγέθους 32-bit επί 32-bit, το οποίο προσδιορίζεται με την εντολή:

- **glPolygonStipple(const GLubyte \*mask)**: Καθορίζει το υφιστάμενο μοτίβο ταπετσαρίας, με το οποίο θα γεμίσει το πολύγωνο. Το όρισμα είναι ένας δείκτης μάσκας που αντιστοιχεί σε ένα  $32 \times 32$  bitmap, το οποίο μεταφράζεται σε μάσκα από 0 και 1. Όπου εμφανίζεται 1, το αντίστοιχο pixel σχεδιάζεται και όπου εμφανίζεται 0, δε σχεδιάζεται τίποτα. Το μοτίβο πολυγώνου ενεργοποιείται κι απενεργοποιείται χρησιμοποιώντας τις εντολές **glEnable(...)** και **glDisable(...)** με **GL\_POLYGON\_STIPPLE** σαν παράμετρο. Η μετάφραση της παραμέτρου των δεδομένων της μάσκας επηρεάζεται από τη συνάρτηση **glPixelStore\*(...)** και το όρισμα **GL\_UNPACK\***.

Όπου \* σημαίνει πως υπάρχουν πολλές παραλλαγές της συνάρτησης ή της μεταβλητής.

Ο πίνακας χρησιμοποιεί τιμές του δεκαεξαδικού συστήματος. Έστω ο αριθμός  $0 \times 8B$ , αυτό μεταφράζεται ως:

$$0x8B = 10001011 \quad (6.2)$$

Δηλαδή θα σχεδιαστούν 2 pixel, μετά 1 κενό, μετά 1 σχεδιασμένο, μετά 3 κενά και 1 σχεδιασμένο και ακολουθεί επανάληψη του μοτίβου. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα μοτίβα ανά δεκαεξαδικό αριθμό.

Decimal	Binary	Pattern
0	0000	
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0100	
5	0101	
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	
A	1010	
B	1011	
C	1100	
D	1101	
E	1110	
F	1111	

Σχήμα 6.1: Πίνακας Μοτίβων

#### 6.1.3.Δ' Σημαδεύοντας τις Ακμές των Ορίων των Πολυγώνων

Η OpenGL μπορεί να προβάλει μόνο κυρτά πολύγωνα, αλλά πολλά μη κυρτά συναντώνται στην πράξη. Προκειμένου να σχεδιαστούν αυτά τα πολύγωνα, τυπικά υποδιαιρούνται σε κυρτά πολύγωνα - συνήθως τρίγωνα - κι έπειτα σχεδιάζονται τα τρίγωνα. Δυστυχώς εάν ένα πολύγωνο υποδιαιρεθεί σε τρίγωνα, τα οποία θα σχεδιαστούν στην οθόνη, τότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση **glPolygonMode(...)**, διότι θα σχεδιαστεί και το περίγραμμα αυτών κι αυτό θα έχει σαν συνέπεια στο εσωτερικό του πολυγώνου να φαίνονται τα περιγράμματα τους. Για την επίλυση αυτού του ζητήματος, η βιβλιοθήκη OpenGL εισήγαγε μία μέθοδο με την οποία ελέγχει πότε ένας κόμβος συμμετέχει στο περίγραμμα του πολυγώνου και πότε όχι. Η βιβλιοθήκη καταγράφει αυτή την πληροφορία καθώς ανατρέχει τους κόμβους κι ελέγχει ποιες γραμμές αποτελούν τις ακμές των ορίων του περιγράμματος. Τότε, όταν το πολύγωνο σχεδιάζεται σε σύστημα **GL\_LINE**, οι ακμές που δεν αποτελούν μέρος του περιγράμματος, δε σχεδιάζονται.

Από προεπιλογή, όλες οι ακμές θεωρούνται ως ακμές περιγράμματος, όμως με τη συνάρτηση **glEdgeFlag\* (...)**, μπορεί να οριστεί χειροκίνητα ποια ακμή θα θεωρηθεί ως ακμή περιγράμματος και ποια όχι. Η συνάρτηση αυτή χρησιμοποιείται μεταξύ των συναρτήσεων **glBegin(...)** και **glEnd()** και η επίδρασή της ισχύει έως ότου αλλάξει από το επόμενο κάλεσμα της συνάρτησης. Η επίδρασή της ισχύει μόνο για **πολύγωνα, τρίγωνα και τετράπλευρα**, όχι όμως για αυτά που σχεδιάζοντας ως **strips**.

- **glEdgeFlag(GLboolean flag)**, **glEdgeFlagv(GLboolean \*flag)**: Καθορίζει πότε ένας κόμβος θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ως κόμβος ακμής περιγράμματος σε ένα πολύγωνο. Εάν το όρισμα **flag** είναι **GL\_TRUE**, τότε η ακμή τίθεται ως **TRUE** (προκαθορισμένη τιμή) και κάθε κόμβος που σχεδιάζεται θεωρείται ως κόμβος περιγράμματος, έως το επόμενο κάλεσμα της συνάρτησης με το όρισμα **flag** είναι **GL\_FALSE**.

## 6.2 Σχεδίαση Μοτίβων Ταπετσαρίας σε περιβάλλον GLUT

```

1  /*****
2  /* main.cpp */
3  *****/
4
5  #include <GL/gl.h>
6  #include <GL/glut.h>
7
8  #define MY_WIN_WIDTH 450
9  #define MY_WIN_HEIGHT 250
10 #define MY_WIN_POS_X 100
11 #define MY_WIN_POS_Y 100
12 #define MY_WIN_TITLE "Polygons"
13
14 /*
15  * Pattern Logic
16  *
17  * Hex   Binary
18  * 0     0000
19  * 1     0001
20  * 2     0010
21  * 3     0011
22  * 4     0100
23  * 5     0101
24  * 6     0110
25  * 7     0111
26  * 8     1000
27  * 9     1001
28  * A     1010
29  * B     1011
30  * C     1100
31  * D     1101
32  * E     1110
33  * F     1111
34  *
35  */
36
37 void display(void) {
38
39     GLubyte mypattern[] = {
40         0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
41         0x0F, 0xFF, 0x03, 0xFF, 0x0F, 0xFF, 0x03, 0xFF,
42         0x0C, 0x03, 0x03, 0x07, 0x0C, 0x03, 0x03, 0x07,
43         0x0C, 0x03, 0x03, 0x03, 0x0C, 0x03, 0x03, 0x03,
44         0x0F, 0x03, 0x03, 0x01, 0x0F, 0x03, 0x03, 0x01,
45         0x00, 0x03, 0x03, 0x00, 0x00, 0x03, 0x03, 0x00,
46         0x00, 0x03, 0x03, 0x00, 0x00, 0x03, 0x03, 0x00,
47         0x00, 0x03, 0x03, 0x00, 0x00, 0x03, 0x03, 0x00,
48
49         0x00, 0x03, 0x03, 0x00, 0x00, 0x03, 0x03, 0x00,
50         0x00, 0x03, 0x03, 0x00, 0x00, 0x03, 0x03, 0x00,
51         0x00, 0x03, 0x03, 0x00, 0x00, 0x03, 0x03, 0x00,
52         0x00, 0x03, 0x03, 0x01, 0x00, 0x03, 0x03, 0x01,
53         0x00, 0x03, 0x03, 0x03, 0x00, 0x03, 0x03, 0x03,
54         0x00, 0x03, 0x03, 0x07, 0x00, 0x03, 0x03, 0x07,
55         0x0F, 0xFF, 0xC3, 0x0F, 0x0F, 0xFF, 0xC3, 0xFF,
56         0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00
57     };

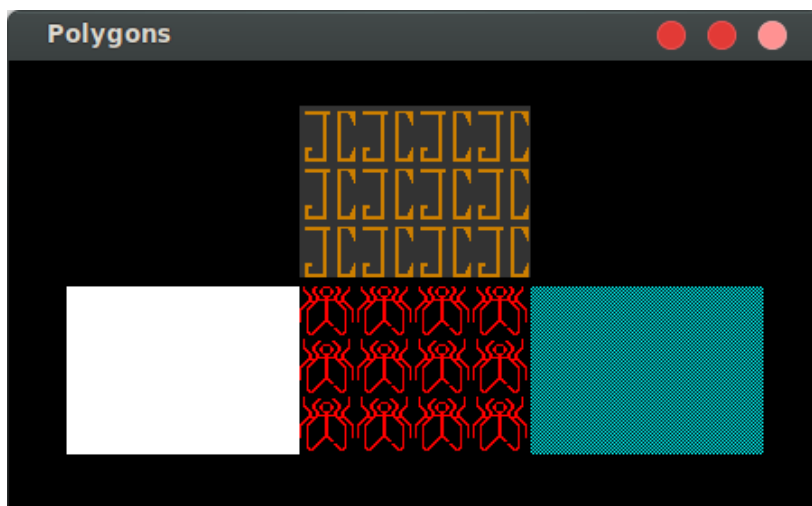
```

```

58
59   GLubyte fly [] = {
60       0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,
61       0x03, 0x80, 0x01, 0xC0, 0x06, 0xC0, 0x03, 0x60,
62       0x04, 0x60, 0x06, 0x20, 0x04, 0x30, 0x0C, 0x20,
63       0x04, 0x18, 0x00, 0x20, 0x04, 0x0C, 0x30, 0x20,
64       0x04, 0x06, 0x60, 0x20, 0x44, 0x03, 0xC0, 0x22,
65       0x44, 0x01, 0x80, 0x22, 0x44, 0x01, 0x80, 0x22,
66       0x44, 0x01, 0x80, 0x22, 0x44, 0x01, 0x80, 0x22,
67       0x44, 0x01, 0x80, 0x22, 0x44, 0x01, 0x80, 0x22,
68
69       0x66, 0x01, 0x80, 0x66, 0x33, 0x01, 0x80, 0xCC,
70       0x19, 0x81, 0x81, 0x98, 0x0C, 0xC1, 0x83, 0x30,
71       0x07, 0xe1, 0x87, 0xe0, 0x03, 0x3f, 0xfc, 0xc0,
72       0x03, 0x31, 0x8c, 0xc0, 0x03, 0x33, 0xcc, 0xc0,
73       0x06, 0x64, 0x26, 0x60, 0x0c, 0xcc, 0x33, 0x30,
74       0x18, 0xcc, 0x33, 0x18, 0x10, 0xc4, 0x23, 0x08,
75       0x10, 0x63, 0xC6, 0x08, 0x10, 0x30, 0x0c, 0x08,
76       0x10, 0x18, 0x18, 0x08, 0x10, 0x00, 0x00, 0x08
77   };
78
79   GLubyte halftone [] = {
80       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
81       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
82       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
83       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
84       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
85       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
86       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
87       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
88       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
89       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
90       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
91       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
92       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
93       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
94       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55,
95       0xAA, 0xAA, 0xAA, 0xAA, 0x55, 0x55, 0x55, 0x55
96   };
97
98   glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
99   /* draw one solid, unstippled rectangle */
100  /* then two stippled rectangles */
101  glColor3f(1.0, 1.0, 1.0); //white rectangle polygon
102  glRectf(25.0, 32.0, 125.0, 125.0);
103
104  glEnable(GL_POLYGON_STIPPLE); //ENABLE STIPPLE
105
106  glColor3f(1.0, 0.0, 0.0); //red fly
107  glPolygonStipple(fly);
108  glRectf(125.0, 32.0, 225.0, 125.0);
109
110
111  glColor3f(0.0, 1.0, 1.0); //cyan halftone
112  glPolygonStipple(halftone);
113  glRectf(225.0, 32.0, 325.0, 125.0);
114
115  glDisable(GL_POLYGON_STIPPLE); //DISABLE STIPPLE

```

```
116
117     /*
118     * Draw a Gray rectangle and
119     * above it mypatterns.
120     * To do this GL_STIPPLE must be disabled
121     * and be enabled again.
122     */
123     glColor3f(0.2, 0.2, 0.2); //gray
124     glRectf(125.0, 130.0, 225.0, 225.0);
125     glEnable(GL_POLYGON_STIPPLE); //ENABLE STIPPLE
126     glColor3f(0.8, 0.5, 0.0); //orange mypattern
127     glPolygonStipple(mypattern);
128     glRectf(125.0, 130.0, 225.0, 225.0);
129     glDisable(GL_POLYGON_STIPPLE); //DISABLE STIPPLE
130
131     glFlush();
132 }
133
134 void init() {
135     glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);
136     glShadeModel(GL_FLAT);
137 }
138
139 void reshape(int w, int h) {
140     glViewport(0, 0, (GLsizei) w, (GLsizei) h);
141     glMatrixMode(GL_PROJECTION);
142     glLoadIdentity();
143     glOrtho(0.0, 350.0, 0.0, 250.0, -1.0, 1.0);
144 }
145
146 void initializeGL(void) {
147     glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGB);
148     glutInitWindowSize(MY_WIN_WIDTH, MY_WIN_HEIGHT);
149     glutInitWindowPosition(MY_WIN_POS_X, MY_WIN_POS_Y);
150     glutCreateWindow(MY_WIN_TITLE);
151 }
152
153 int main(int argc, char** argv)
154 {
155     glutInit(&argc, argv);
156     initializeGL();
157     init();
158     glutDisplayFunc(display);
159     glutReshapeFunc(reshape);
160     glutMainLoop();
161
162     return 0;
163 }
```



Σχήμα 6.2: Μοτίβα Ταπετσαρίας Πολυγώνων

Στο παραπάνω παράδειγμα φαίνεται η σχεδίαση κάποιων μοτίβων ταπετσαρίας πολυγώνων. Μερικά πράγματα που πρέπει να αποσαφηνιστούν είναι πως ο πίνακας ουσιαστικά πρέπει να θεωρείται διαστάσεων  $4 \times 32$ . Κάθε δεκαεξαδικός αριθμός αποτελείται από 8-bit, άρα  $4 \times 8 = 32$ —bit. Έτσι στα παραπάνω παραδείγματα, όπου κάθε σειρά αποτελείται από 8 στοιχεία, σημαίνει πως κάθε σειρά περιγράφει δύο σειρές pixel στην οθόνη. Ένα δεύτερο πράγμα που πρέπει επίσης να εξηγηθεί, είναι πως η τελική εικόνα διαβάζεται από πάνω προς τα κάτω στον πίνακα. Δηλαδή το στοιχείο 0 του πίνακα myrpattern[0], αντιστοιχεί στο κάτω αριστερό pixel του σχήματος του μοτίβου.

**Άσκηση:** Να πραγματοποιηθεί προσπάθεια σχεδίασης απλών μοτίβων ταπετσαρίας πολυγώνου (πχ σταυρός, καρδιά, διαγώνιες γραμμές).