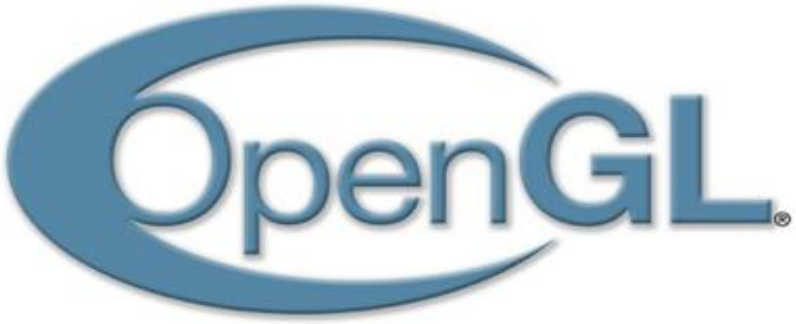
ĐỒ HỌA MÁY TÍNH

Bài thực hành 1

OPENGL

Version 1.0



Lê Viết Tuấn

TP. HCM, 2018

MỤC LỤC

Lab 1: Xây dựng ứng dụng OpenGL cơ bản

1. Mục tiêu

- Xây dựng các ứng dụng OpenGL.
- Làm quen với thư viện hỗ trợ lập trình như: *FreeGLUT, SDL, SDL2, SFML, GLFW, GLEW, SOIL…*

2. Yêu cầu

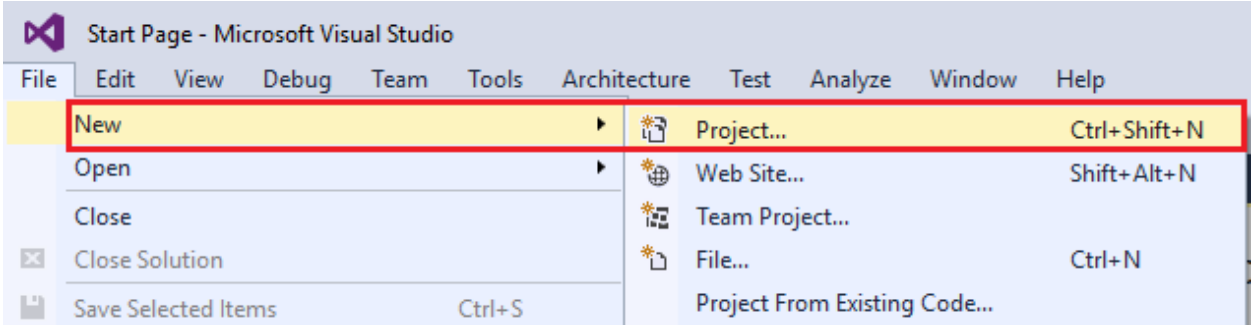
- Đã cài đặt C++ trên môi trường lập trình Visual Studio 2015.
- Đã cài đặt thư viện hỗ trợ lập trình.
- Có một số kiến thức về C/C++.

3. Hướng dẫn cấu hình

- Trong bài hướng dẫn này chúng ta chọn sử dụng thư viện FreeGLUT và GLEW để phục vụ cho việc xây dựng các ứng dụng OpenGL. Ngôn ngữ lập trình được sử dụng cho quá trình thực hành môn Đồ họa máy tính này là C++, ở đây sử dụng môi trường lập trình trênVisual Studio 2015.
- ***Thư viện hỗ trợ cho việc lập trình đã được chuẩn bị sẵn kèm theo bài thực hành***, thay vì thực hiện thiết lập thông số và cài đặt thư viện hỗ trợ lập trình FreeGLUT và GLEW phục vụ cho việc xây dựng các ứng dụng OpenGL. (Tham khảo bài hướng dẫn kèm theo: Chuẩn bị mội trường lập trình OpenGL).

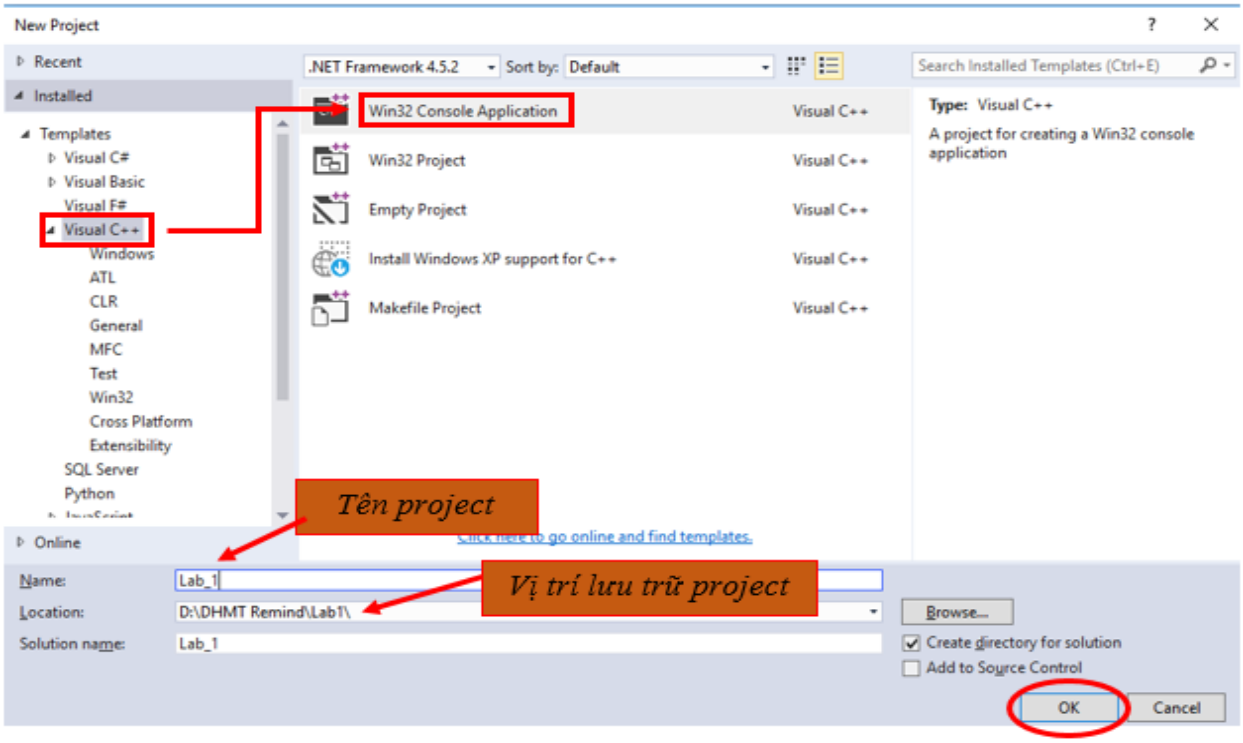
Bước 1: Tạo ứng dụng OpenGL từ Visual Studio 2015.

- Trong Visual Studio 2015 chọn Ctrl + Shift + N hoặc File -> New -> Project



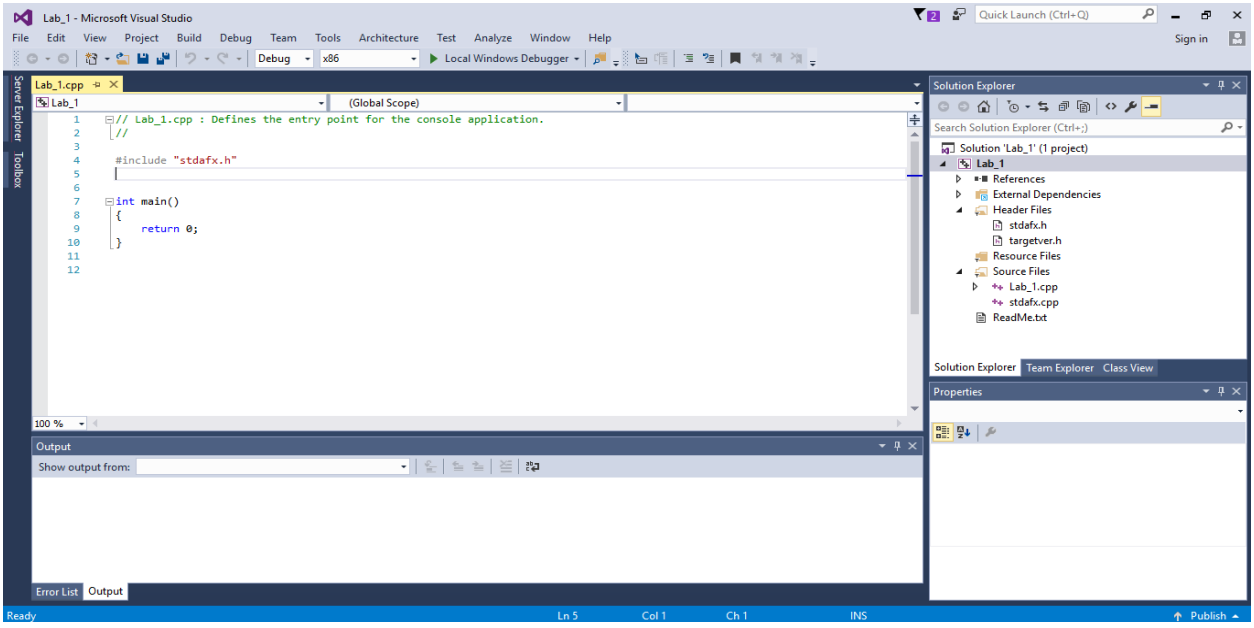
Hình 1: Tạo mới 1 project

Tiếp đến chọn Visual C++, chọn Win32 Console Application để viết code project.



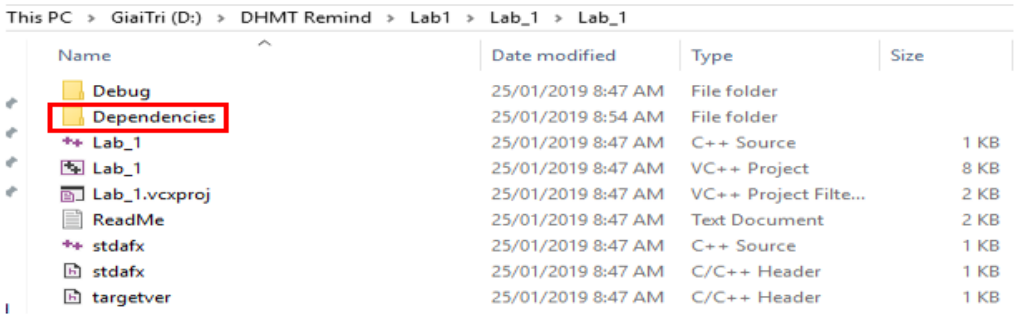
Hình 2: Chọn ngôn ngữ và cửa sổ lập trình

Đây là cửa sổ project sau khi được khởi tạo hoàn thành.



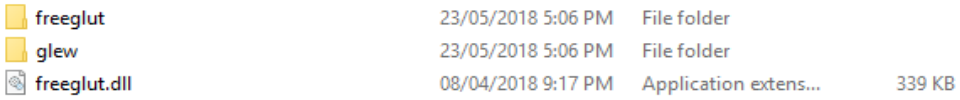
Hình 3: Minh họa project sau khi khởi tạo

Sau khi project được khởi tạo thành công. Tiếp đến chúng ta *chép* thư mục chứa thư viện đã được tải về vào trong project.



Hình 4: Minh họa nơi lưu trữ thư viện trong project.

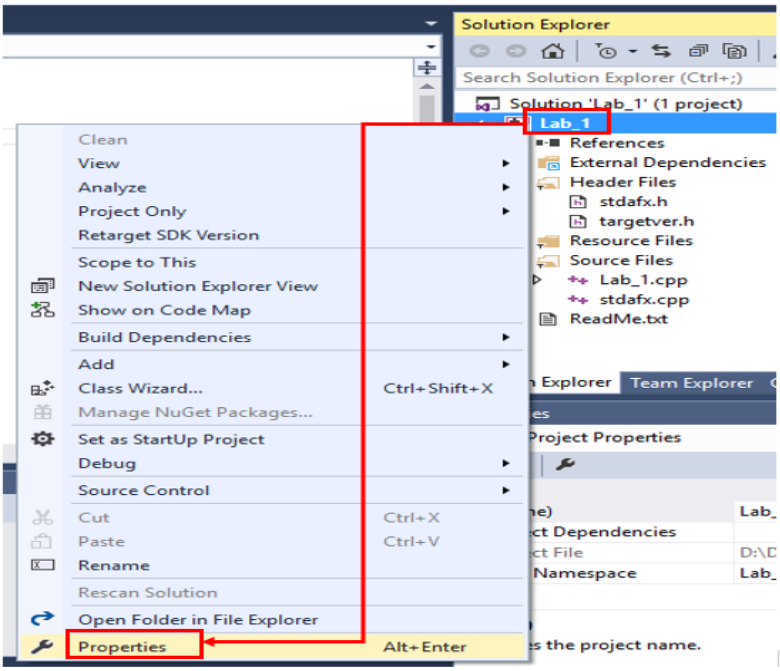
Thư mục Dependencies chứa 2 thư viện sau:



Hình 5: Các thư viện hỗ trợ lập trình.

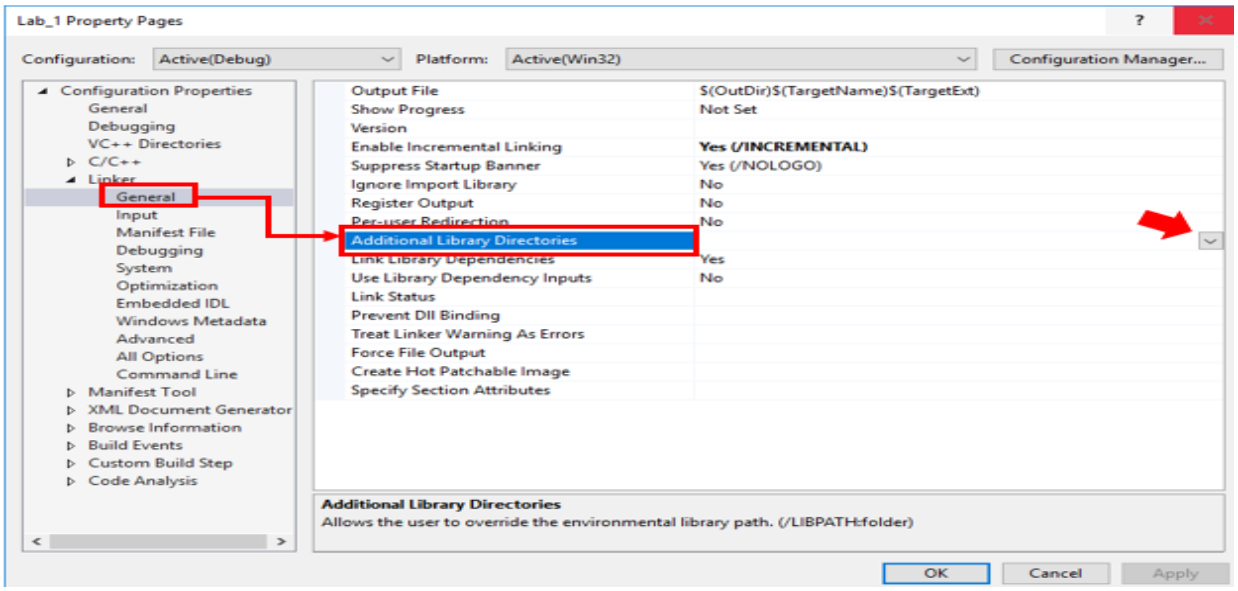
<u>Bước 2</u>: Bây giờ, chúng ta tiến hành cấu hình để nhúng 2 thư viện trên vào project, mặc dù trước đó chúng ta đã chép thư mục vào project rồi.

Click phải chuột vào project trong cửa sổ Solution Explorer -> Properties



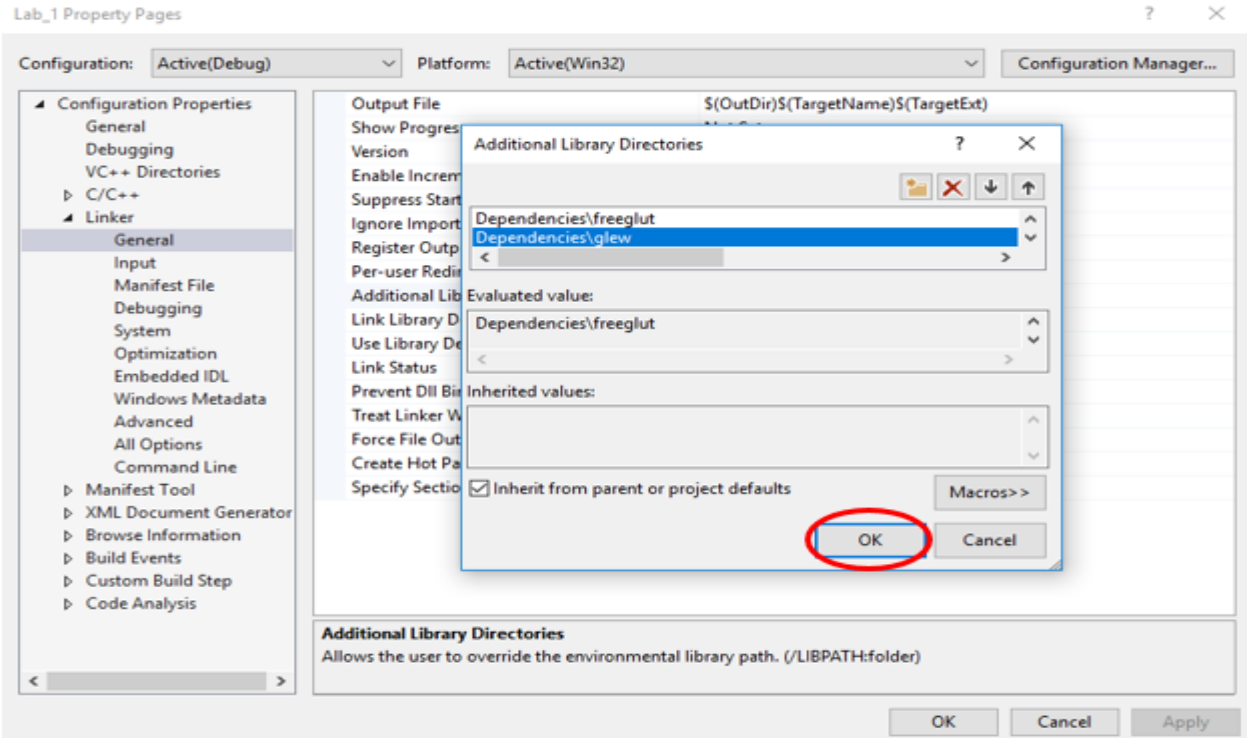
Hình 6: Chọn properties của project từ Solution Explorer.

Cửa sổ Properties hiển thị, chọn Linker -> General -> Additional Library Directories



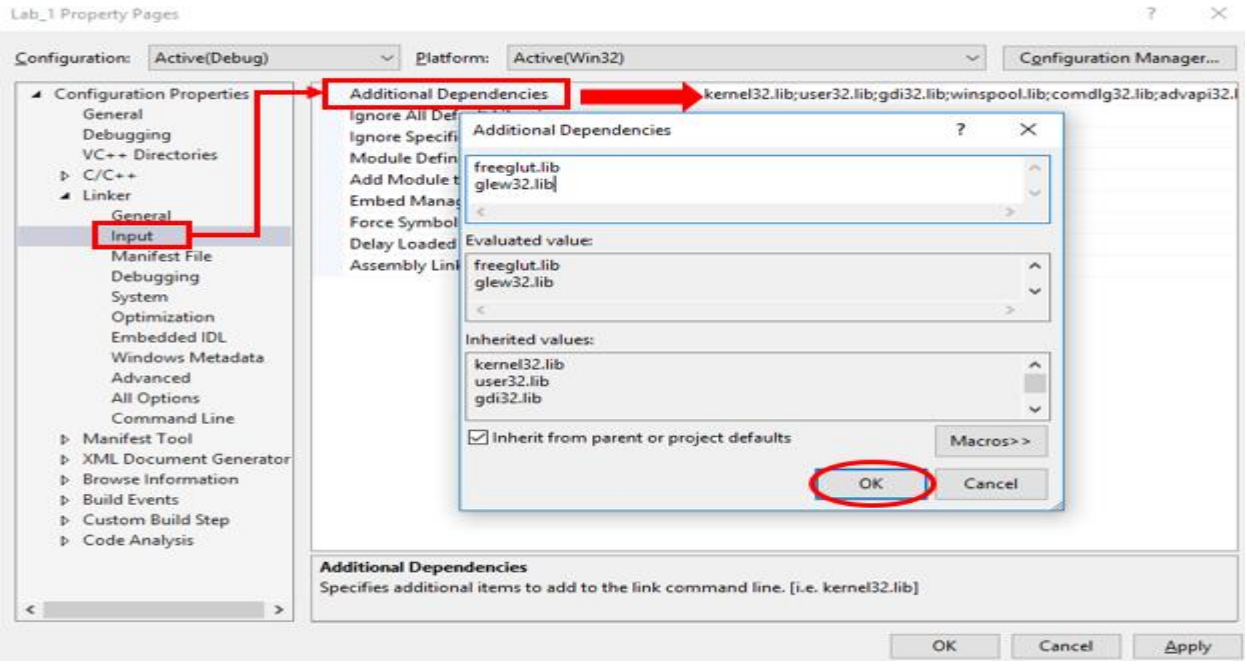
Hình 7: Cấu hình địa chỉ của thư mục chứa thư viện.

Trỏ đến thư mục chứa 2 thư viện FreeGLUT và GLEW, chọn OK.



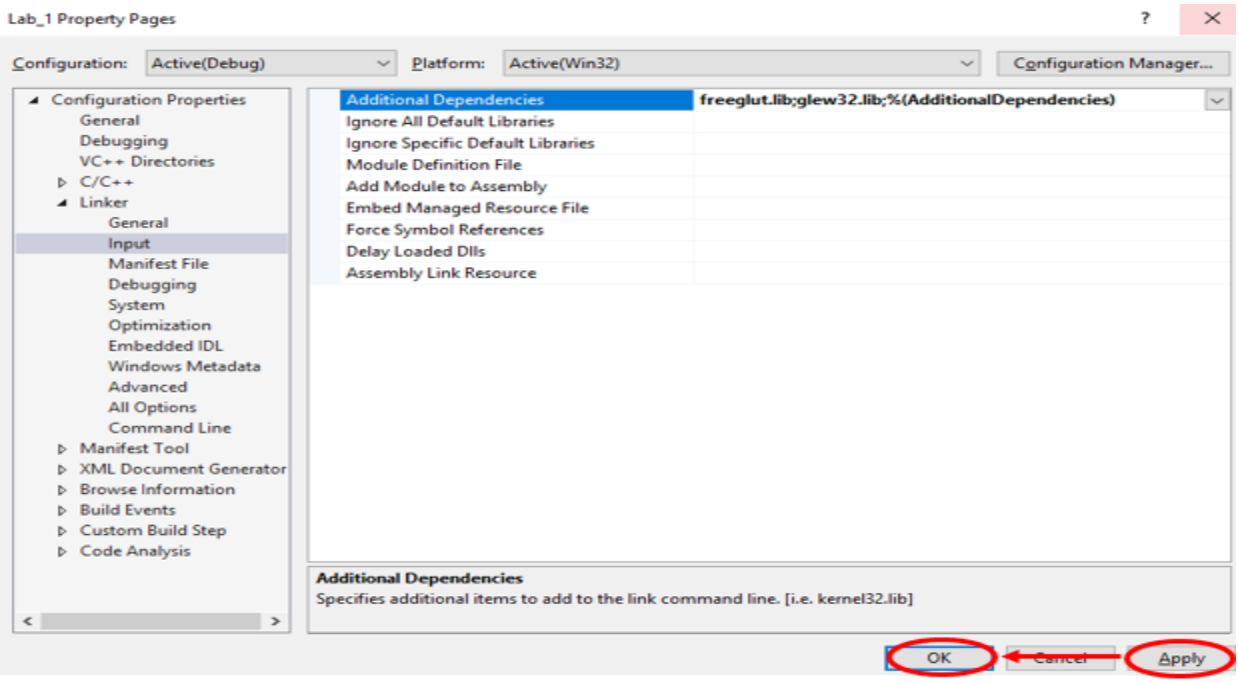
Hình 8: Hai thư mục chứa thư viện được thêm vào project.

Tiếp theo tại Linker -> Input -> Additional Dependencies -> thêm 2 file freeglut.lib và glew32.lib -> OK



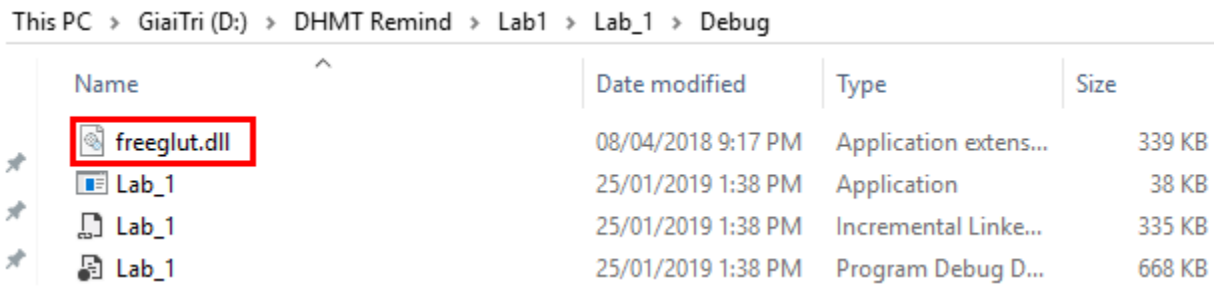
Hình 9: Thêm hai thư viện hỗ trợ lập trình.

Sau đó chọn Apply -> OK



Hình 10: Hai thư viện hỗ trợ lập trình được sau khi được thêm vào.

Cuối cùng copy file freeglut.dll trong thư mục Dependencies vào thư mục Debug của project.

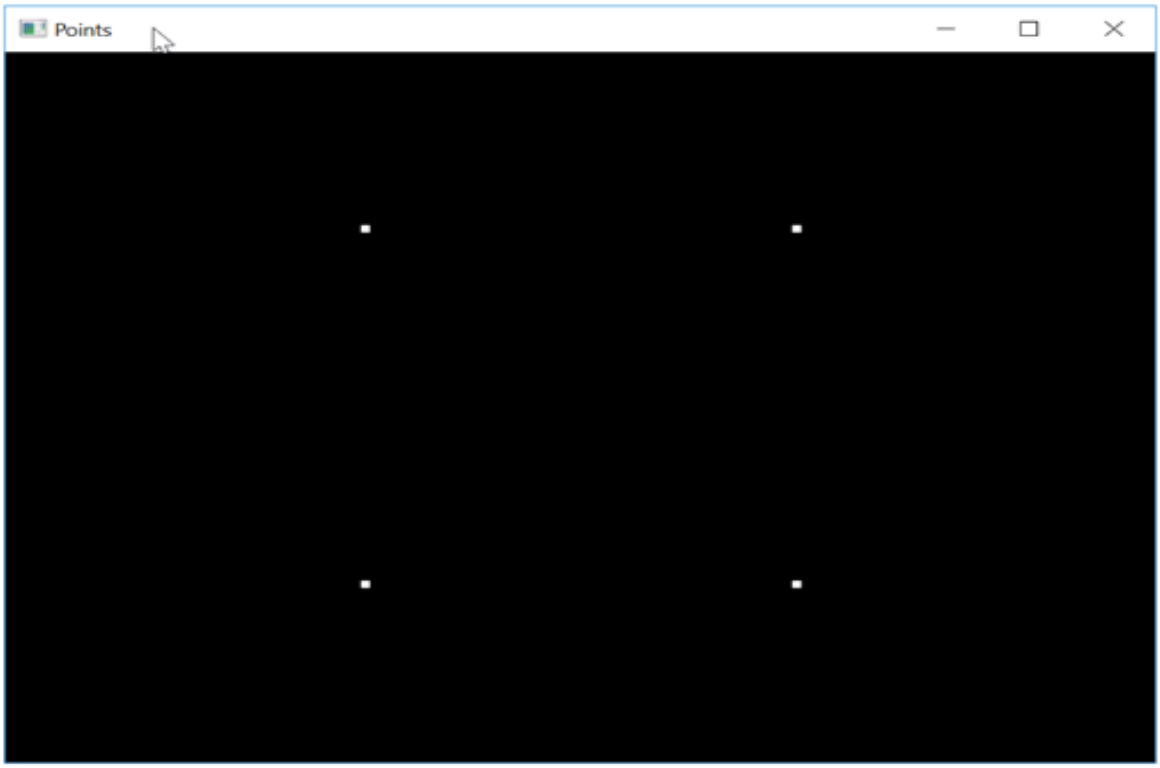


Hình 11: Copy file .dll vào thư mục Debug của project và cấu hình thành công.

Vậy là chúng ta đã cấu hình xong project. Chúc các bạn thành công và học tốt.

4. Bài tập thực hành

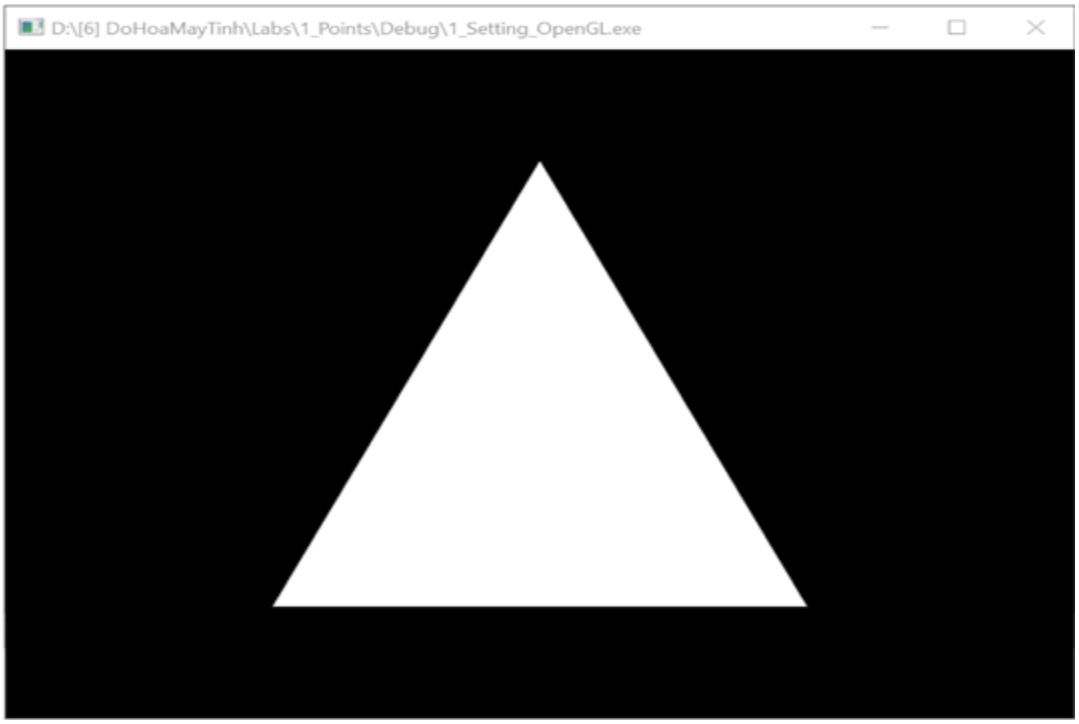
Bài 1. Vẽ 4 đỉnh của một hình vuông có tọa độ p1 (200, 120), p2(440, 120), p3(440, 360), p4(200, 360)



Hướng dẫn:

```
#include "Dependencies\glew\glew.h"
#include "Dependencies\freeglut\freeglut.h"

const int screenWidth = 640;
const int screenHeight = 480;

void init(void)
{
	glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);//clear black
	glShadeModel(GL_FLAT);
}

void display()
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT); //Clears the color buffer
	glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);
	glPointSize(5.0);

	glBegin(GL_POINTS);
		glVertex3f(200.0, 120.0, 0.0);
		glVertex3f(440.0, 120.0, 0.0);
		glVertex3f(440.0, 360.0, 0.0);
		glVertex3f(200.0, 360.0, 0.0);
	glEnd();

	glFlush();
}

void reshape(int w, int h)
{
	glViewport(0, 0, (GLsizei)w, (GLsizei)h);
	glMatrixMode(GL_PROJECTION);
	glLoadIdentity();
	gluOrtho2D(0.0, (GLdouble)w, 0.0, (GLdouble)h);
}

int main(int argc, char **argv)
{
	glutInit(&argc, argv);
	glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA);
	glutInitWindowSize(screenWidth, screenHeight); //optional
	glutInitWindowPosition(100, 100);//optional
	glutCreateWindow("Points");
	init();
	glutDisplayFunc(display);
	glutReshapeFunc(reshape);
	glutMainLoop();
	return 0;
}
```

Bài 2. Vẽ hình tam giác biết 3 đỉnh của tam giác có tọa đồ lần lượt là v_1(160, 160), v_2(480, 160), v_3(320, 320)

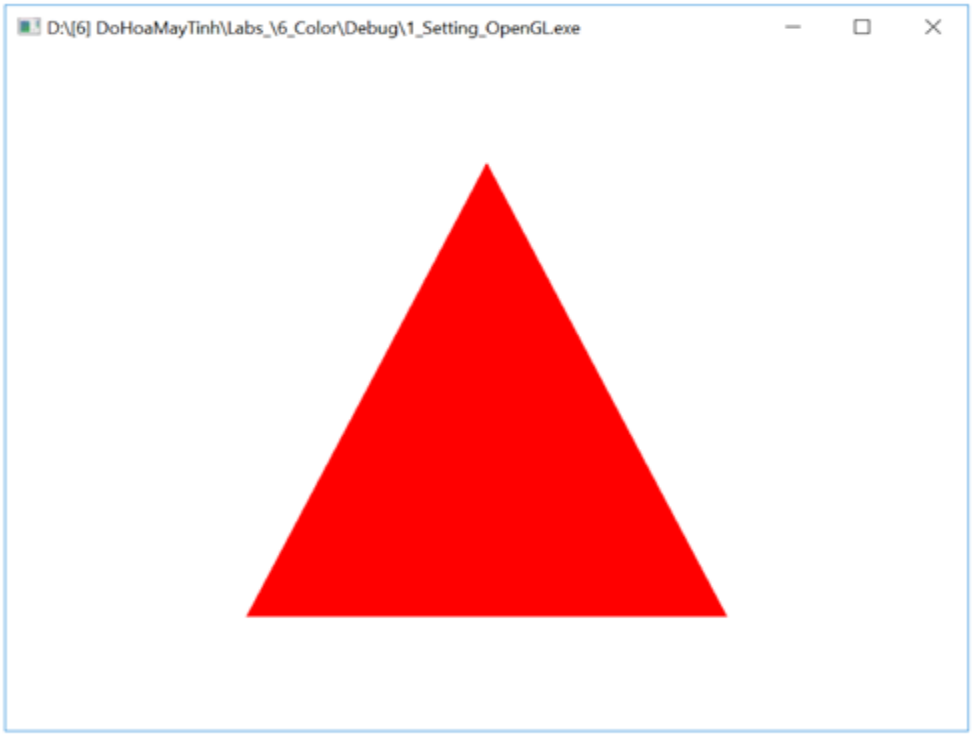


Hướng dẫn:

```
#include "Dependencies\glew\glew.h"
#include "Dependencies\freeglut\freeglut.h"

const int screenWidth = 640;
const int screenHeight = 480;

void init(void)
{
	glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);//clear black
	glShadeModel(GL_FLAT);
}

void display()
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT); //Clears the color buffer
	glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);

	glBegin(GL_TRIANGLES);
		glVertex2i(160, 80);
		glVertex2i(480, 80);
		glVertex2i(320, 400);
	glEnd();

	glFlush();
}
```

```
void reshape(int w, int h)
{
	glViewport(0, 0, (GLsizei)w, (GLsizei)h);
	glMatrixMode(GL_PROJECTION);
	glLoadIdentity();
	gluOrtho2D(0.0, (GLdouble)w, 0.0, (GLdouble)h);
}

int main(int argc, char **argv)
{
	glutInit(&argc, argv); // Khởi tạo glut
	glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA); // Khởi tạo chế độ vẽ
single buffer và hệ màu RGB
	glutInitWindowSize(screenWidth, screenHeight); //optional
	glutInitWindowPosition(100, 100);//optional
	glutCreateWindow(argv[0]);
	init();
	glutDisplayFunc(display);
	glutReshapeFunc(reshape);
	glutMainLoop();
	return 0;

}
```

Bài 3. Tô màu đồng nhất cho tam giác

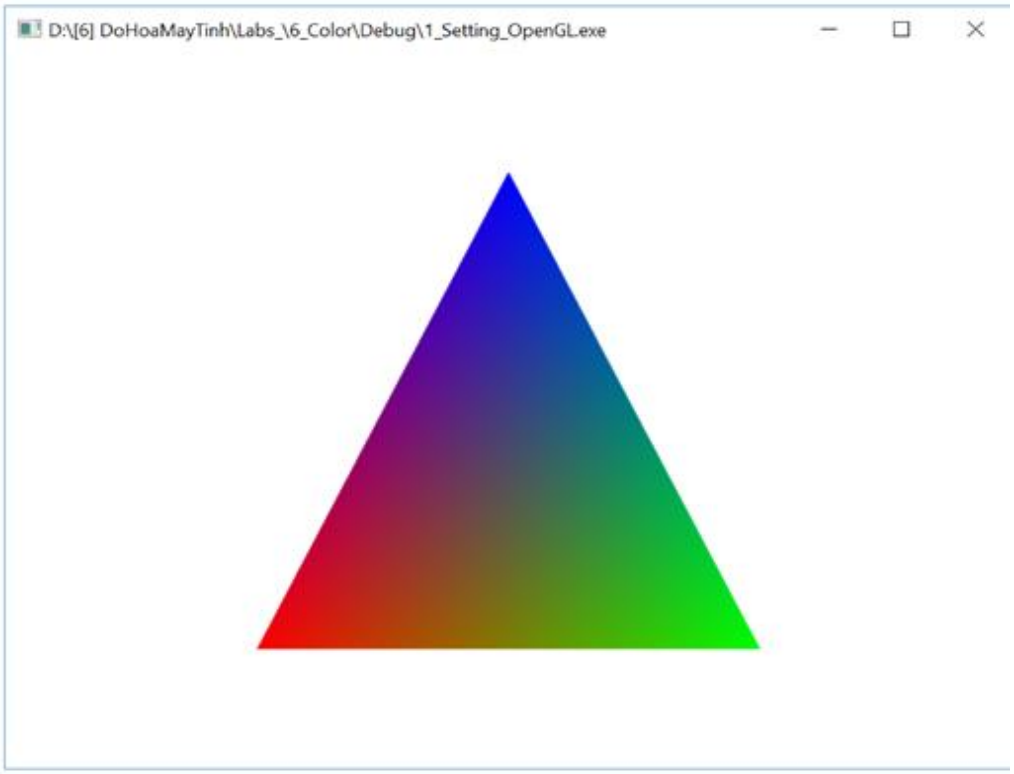


Hướng dẫn:

```
#include "Dependencies\glew\glew.h"
#include "Dependencies\freeglut\freeglut.h"
```

```
const int screenWidth = 640;
const int screenHeight = 480;

void init(void)
{
	glClearColor(1.0, 1.0, 1.0, 1.0); //clear white
}

void triangle()
{
	//To màu flat
	glBegin(GL_TRIANGLES);
		glColor3f(1.0, 0.0, 0.0); //màu đỏ
		glVertex2i(50, 50);
		glVertex2i(250, 50);
		glVertex2i(150, 250);
	glEnd();
}

void display()
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
	triangle();

	glFlush();
}

void reshape(int w, int h)
{
	glViewport(0, 0, (GLsizei) w, (GLsizei) h);
	glMatrixMode(GL_PROJECTION);
	glLoadIdentity();
	gluOrtho2D(0.0, (GLdouble)w, 0.0, (GLdouble)h);
	glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
}

int main(int argc, char **argv)
{
	glutInit(&argc, argv);
	glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA);
	glutInitWindowSize(screenWidth, screenHeight); //optional
	glutInitWindowPosition(100, 100);//optional
	glutCreateWindow(argv[0]);
	init();
	glutDisplayFunc(display);
	glutReshapeFunc(reshape);
	glutMainLoop();
	return 0;
}
```

Bài 4. Tô màu cho tam giác như hình sau



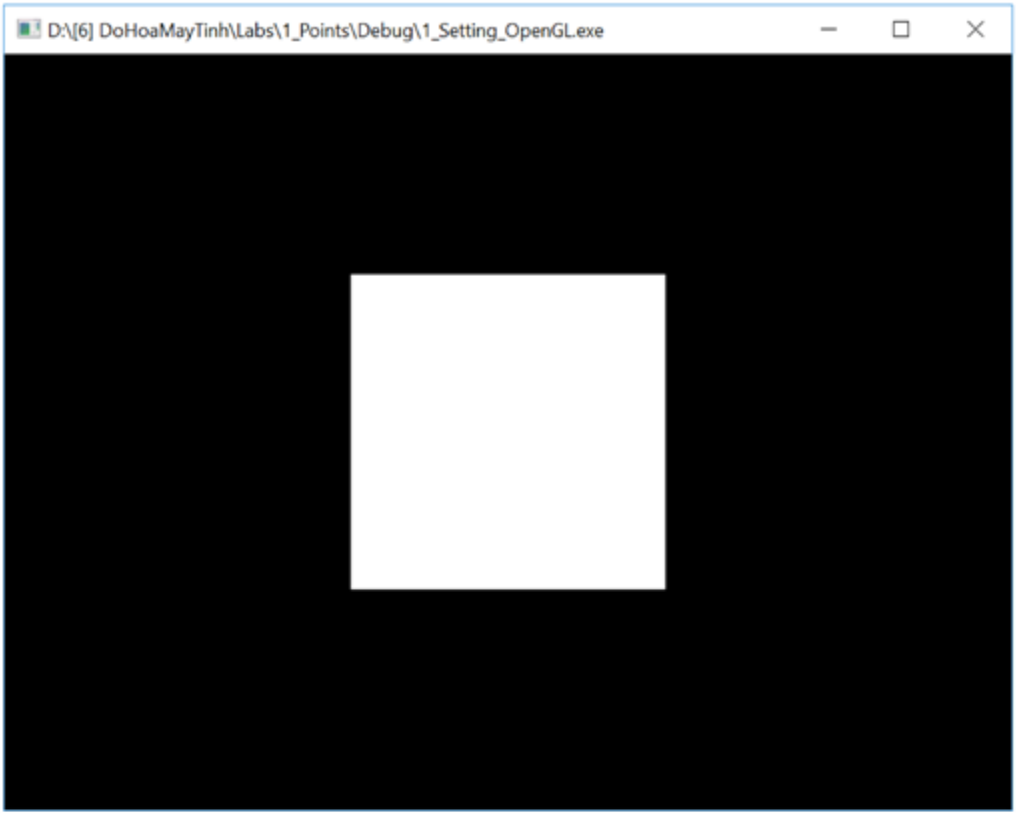
Hướng dẫn:

Vẽ tam giác với mỗi đỉnh lần lượt có các màu đỏ, lục và lam. Ta sử dụng hàm `glColor3f` với 3 thành phần r, g, b trong đoạn [0..1] để gán trị màu cho từng đỉnh của tam giác.

```
#include "Dependencies\glew\glew.h"
#include "Dependencies\freeglut\freeglut.h"

const int screenWidth = 640;
const int screenHeight = 480;

void init(void)
{
	glClearColor(1.0, 1.0, 1.0, 1.0); //clear white
}

void triangle()
{
	glBegin(GL_TRIANGLES);
		glColor3f(1.0, 0.0, 0.0);
		glVertex2i(160, 80);
		glColor3f(0.0, 1.0, 0.0);
		glVertex2i(480, 80);
		glColor3f(0.0, 0.0, 1.0);
		glVertex2i(320, 400);
	glEnd();
}
```

```
void display()
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
	triangle();

	glFlush();
}

void reshape(int w, int h)
{
	glViewport(0, 0, (GLsizei) w, (GLsizei) h);
	glMatrixMode(GL_PROJECTION);
	glLoadIdentity();
	gluOrtho2D(0.0, (GLdouble)w, 0.0, (GLdouble)h);
	glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
}

int main(int argc, char **argv)
{
	glutInit(&argc, argv);
	glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA);
	glutInitWindowSize(screenWidth, screenHeight); //optional
	glutInitWindowPosition(100, 100);//optional
	glutCreateWindow(argv[0]);
	init();
	glutDisplayFunc(display);
	glutReshapeFunc(reshape);
	glutMainLoop();
	return 0;

}
```

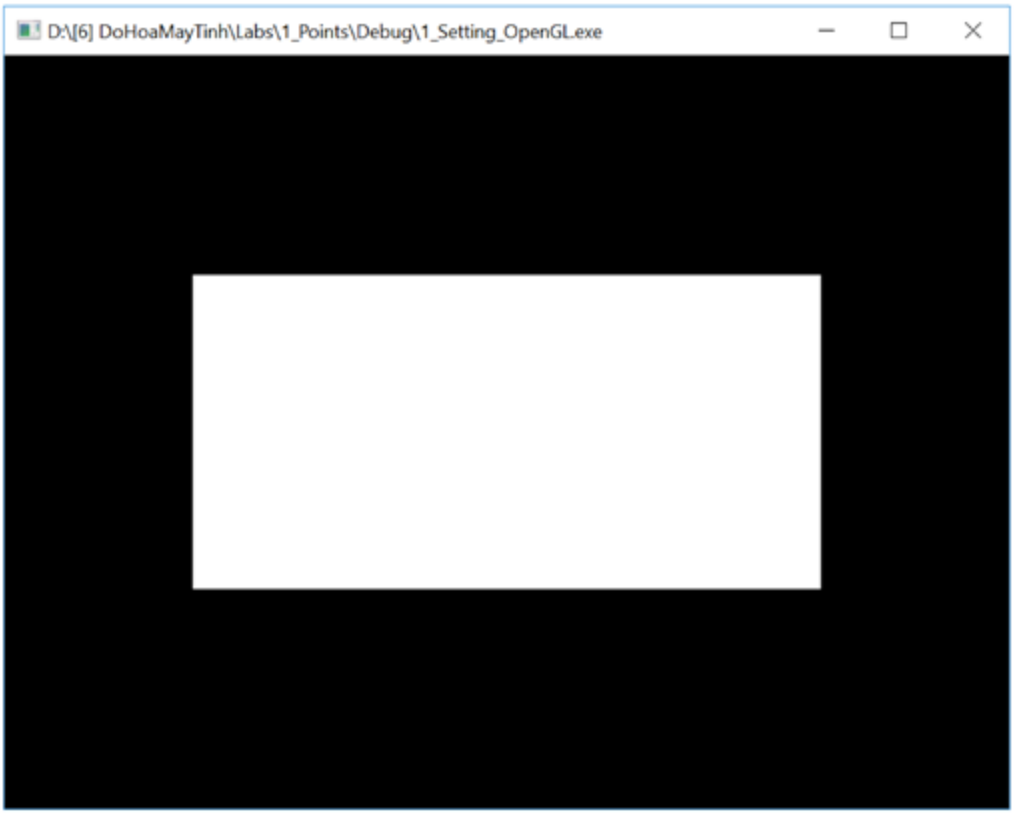
Bài 5. Xây dựng một hàm vẽ hình vuông có độ dài cạnh là a bắt đầu từ tọa độ (x, y). Áp dụng để vẽ hình vuông có độ dài cạnh là a = 200 và được đặt vào chính giữa cửa sổ OpenGL. Gợi ý: sử dụng `glBegin` và `GL_POLYGON`.



Hướng dẫn:

```
void drawSquare(GLint x, GLint y, GLint a)
{
	glBegin(GL_POLYGON);
		glVertex2i(x, y);
		glVertex2i(x + a, y);
		glVertex2i(x + a, y + a);
		glVertex2i(x, y + a);
	glEnd();
}

void display()
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT); //Clears the color buffer

	GLint size = 200; // độ dài cạnh = 200
	GLint x = (screenWidth - size) / 2; // canh vào giữa theo x
	GLint y = (screenHeight - size) / 2; // canh vào giữa theo y
	drawSquare(x, y, size);

	glFlush();

}
```

Bài 6. Xây dựng một hàm vẽ hình chữ nhật có độ dài chiều rộng là a và chiều cao là b, bắt đầu tại tọa độ (x, y). Áp dụng để vẽ một hình chữ nhật có chiều rộng 400, chiều cao 200 và được đặt vào chính giữa cửa sổ OpenGL



Hướng dẫn:

```
void drawRectangle(GLint x, GLint y, GLint width, GLint height)
{
	glBegin(GL_POLYGON);
	glVertex2i(x, y);                    // (trên, trái) +------->
	glVertex2i(x + width, y);            // (trên, phải) ^       |
	glVertex2i(x + width, y + height); // (dưới, phải) |       v
	glVertex2i(x, y + height);           // (dưới, trái) +<------+
	glEnd();

}

void display()
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT); //Clears the color buffer

	GLint w = 400, h = 200; // chiều rộng = 400, chiều cao = 200
	GLint x = (screenWidth - w) / 2; // canh vào giữa màn hình
	GLint y = (screenHeight - h) / 2;
	drawRectangle(x, y, w, h);

	glFlush();
```

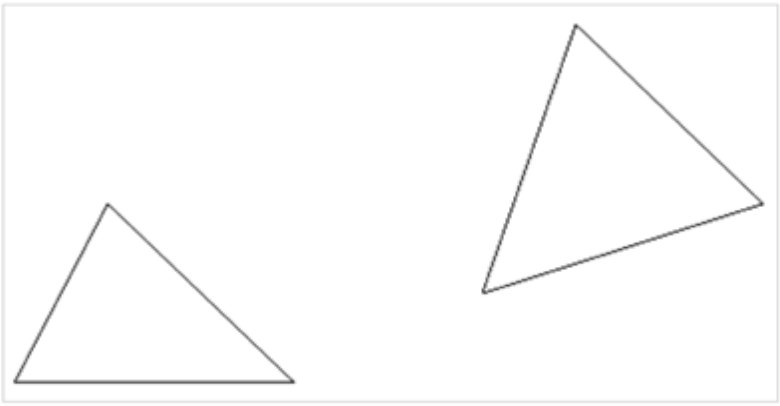
```
}
```

Bài 7. Tô màu cho hình chữ nhật

Hướng dẫn:

```
void drawRectangle(GLint x, GLint y, GLint width, GLint height)
{
	glBegin(GL_POLYGON);
		glColor3f(1.0f, 0.0f, 1.0f); // đỉnh có màu màu hồng
		glVertex2i(x, y);
		glColor3f(0.0f, 1.0f, 1.0f); // đỉnh có màu xanh da trời
		glVertex2i(x + width, y);
		glColor3f(1.0f, 1.0f, 0.0f); // đỉnh có màu xanh vàng
		glVertex2i(x + width, y + height);
		glColor3f(1.0f, 1.0f, 1.0f); // đỉnh có màu trắng
		glVertex2i(x, y + height);
	glEnd();

}
```

Bài 8. Cho các điểm v0 = (50, 50), v1= (100, 150), v2 = (200, 50), v3 = (180, 100), v4 = (450, 150), v5 = (350, 250). Vẽ các hình sau

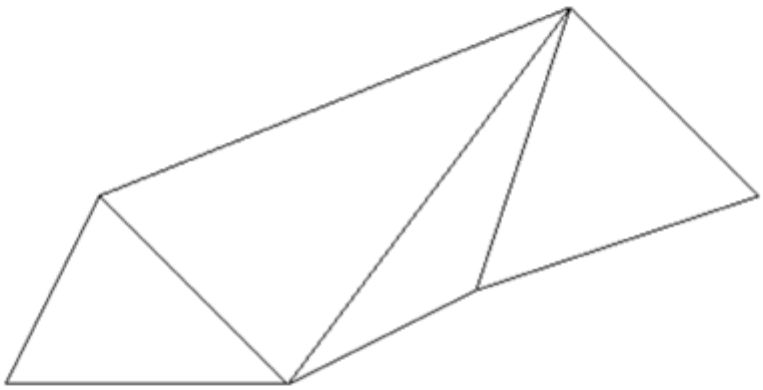


Hướng dẫn:

```
#include "Dependencies\glew\glew.h"
#include "Dependencies\freeglut\freeglut.h"

const int screenWidth = 640;
const int screenHeight = 480;

void init(void)
{
	//glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0); //clear black
	glClearColor(1.0, 1.0, 1.0, 1.0); //clear white
	glShadeModel(GL_FLAT);
}

void display()
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT); // Clears the color buffer
	//glColor3f(1.0, 1.0, 1.0); // white
	glColor3f(0.0, 0.0, 0.0); // black
	glPolygonMode(GL_FRONT_AND_BACK, GL_LINE);

	glBegin(GL_TRIANGLES);
		glVertex2i(50, 50); //v0
		glVertex2i(200, 50); //v2
		glVertex2i(100, 150); //v1

		glVertex2i(300, 100); //v3
		glVertex2i(450, 150); //v4
		glVertex2i(350, 250); //v5
	glEnd();

	glFlush();
}

void reshape(int w, int h)
{
	glViewport(0, 0, (GLsizei)w, (GLsizei)h);
	glMatrixMode(GL_PROJECTION);
	glLoadIdentity();
	gluOrtho2D(0.0, (GLdouble)w, 0.0, (GLdouble)h);
}

int main(int argc, char **argv)
{
```

```
        glutInit(&argc, argv);
        glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA);
        glutInitWindowSize(screenWidth, screenHeight); //optional
        glutInitWindowPosition(100, 100);//optional
        glutCreateWindow(argv[0]);
        init();
        glutDisplayFunc(display);
        glutReshapeFunc(reshape);
        glutMainLoop();
        return 0;

}
```

Tương tự vẽ hình sau:

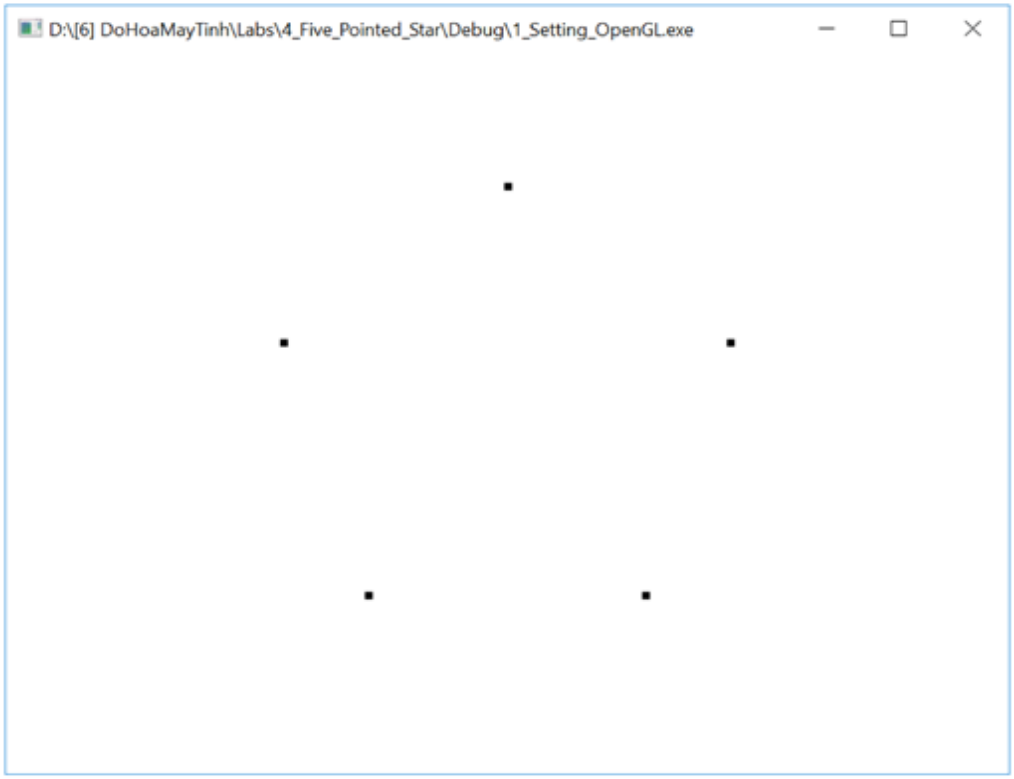


Ta sẽ sử dụng đoạn mã lệnh sau để vẽ

```
glBegin(GL_TRIANGLE_STRIP);
        glVertex2i(50, 50);
        glVertex2i(100, 150);
        glVertex2i(200, 50);

        glVertex2i(350, 250);
        glVertex2i(300, 100);
        glVertex2i(450, 150);

glEnd();
```

Bài 9. Vẽ 5 đỉnh của một ngôi sao như hình sau, biết

- Tâm ngôi sao nằm giữa màn hình
- Bán kính R = 150 (khoảng cách từ tâm đến một đỉnh của ngôi sao).



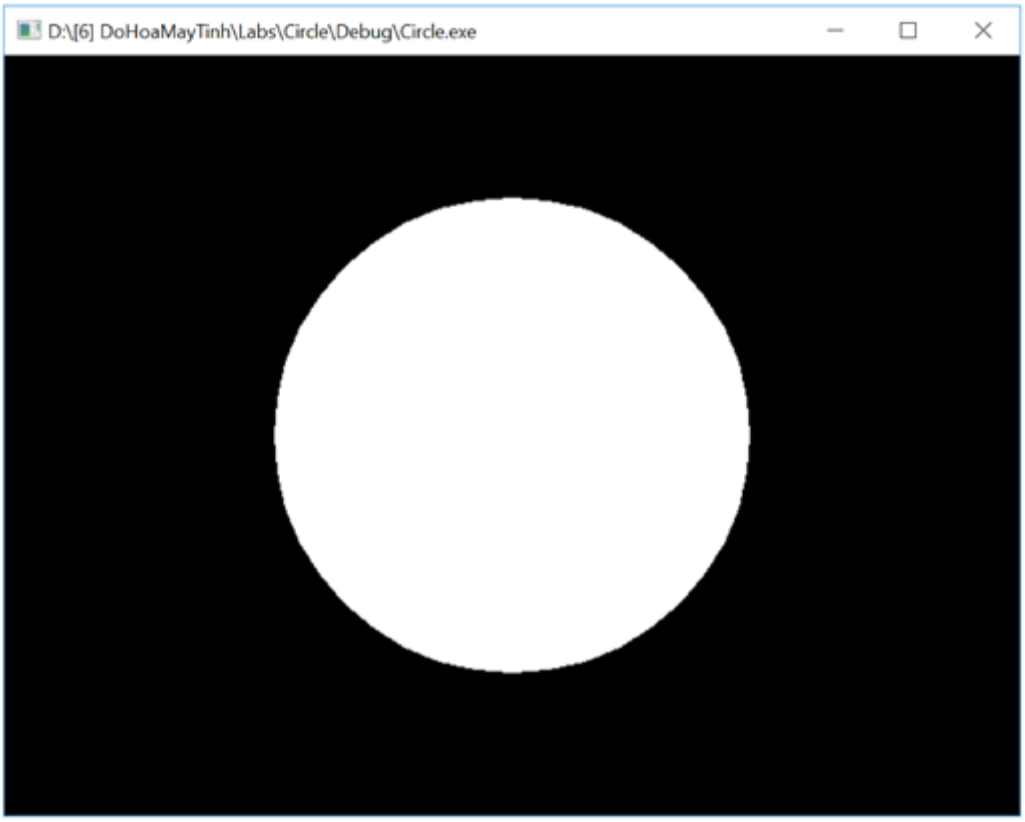
Hướng dẫn:

```
#include <math.h>
#include "Dependencies\glew\glew.h"
#include "Dependencies\freeglut\freeglut.h"

const int screenWidth = 640;
const int screenHeight = 480;
const double R = 150;
const double pi = 3.141592654;

struct GLdoublePoint
{
	GLdouble x;
	GLdouble y;
};

void init(void)
{
	glClearColor(1.0, 1.0, 1.0, 0.0); // Thiết lập màu nền (trắng)
	glShadeModel(GL_FLAT);
}

void display()
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT); // Xóa màn hình
	glPointSize(5.0);
	glColor3f(0.0f, 0.0f, 0.0f); // Thiết lập màu vẽ (đen)
	glBegin(GL_POINTS);
		//glVertex2d((GLdouble)screenWidth / 2, (GLdouble)screenHeight
/ 2);
```

```
		GLdoublePoint V1, V2, V3, V4, V5, V0;
		V0.x = screenWidth / 2;
		V0.y = screenHeight / 2;
		V1.x = V0.x;
		V1.y = V0.y + R;
		V2.x = V0.x + R*sin(2 * pi / 5);
		V2.y = V0.y + R*cos(2 * pi / 5);
		V3.x = V0.x + R*sin(pi / 5);
		V3.y = V0.y - R*cos(pi / 5);
		V4.x = V0.x - R*sin(pi / 5);
		V4.y = V0.y - R*cos(pi / 5);
		V5.x = V0.x - R*sin(2 * pi / 5);
		V5.y = V0.y + R*cos(2 * pi / 5);

		//glVertex2d(V0.x, V0.y);
		glVertex2d(V1.x, V1.y);
		glVertex2d(V2.x, V2.y);
		glVertex2d(V3.x, V3.y);
		glVertex2d(V4.x, V4.y);
		glVertex2d(V5.x, V5.y);
	glEnd();

	glFlush(); // Đẩy ra buffer
}

void reshape(int w, int h)
{
	glViewport(0, 0, (GLsizei)w, (GLsizei)h);
	glMatrixMode(GL_PROJECTION);
	glLoadIdentity();
	gluOrtho2D(0.0, (GLdouble)w, 0.0, (GLdouble)h);
}

int main(int argc, char **argv)
{
	glutInit(&argc, argv); // Khởi tạo glut
	glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA); // Khởi tạo chế độ vẽ
single buffer và hệ màu RGB
	glutInitWindowSize(screenWidth, screenHeight); //optional
	glutInitWindowPosition(100, 100);//optional
	glutCreateWindow(argv[0]);
	init();
	glutDisplayFunc(display);
	glutReshapeFunc(reshape);
	glutMainLoop();
	return 0;
}
```

Bài 10. Vẽ hình tròn

Sử dụng glBegin và GL_TRIANGLE_FAN, hãy xây dựng một hàm vẽ hình tròn có tâm (x, y) và bán kính r. Áp dụng vẽ hình tròn có r = 150 và tâm tại tọa độ (320,240)

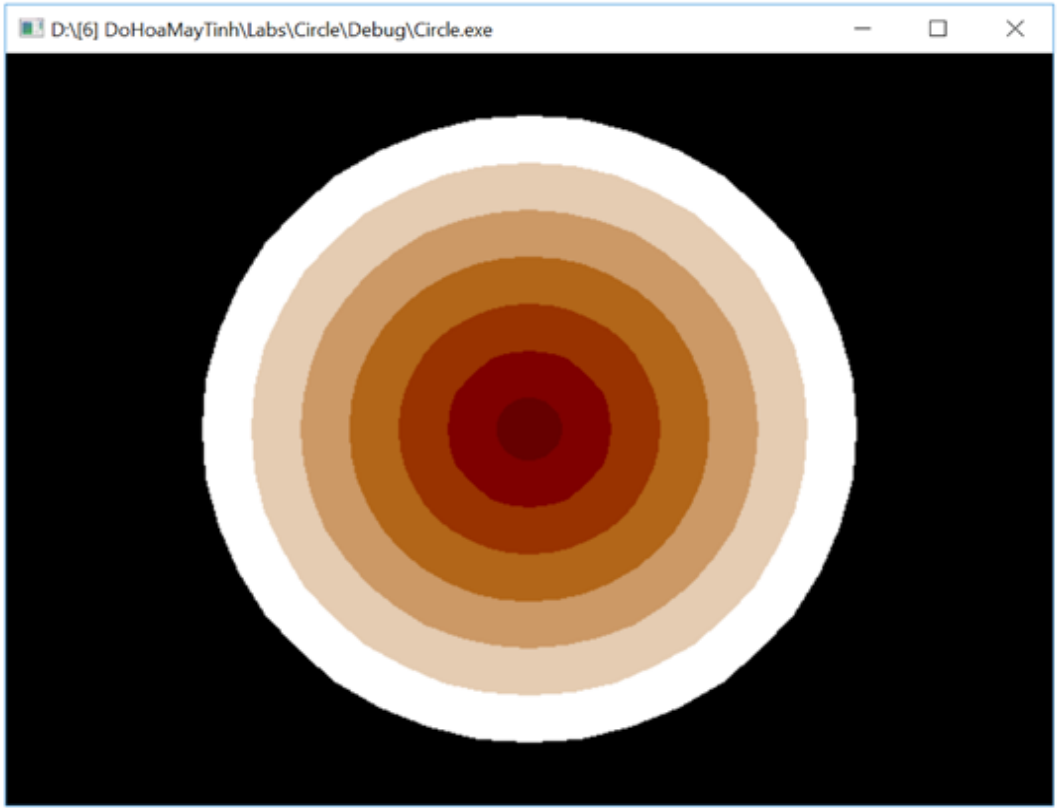


Hướng dẫn:

```
#define PI 3.14159265358979323846
#define STEPS 40

void glCircle(GLint x, GLint y, GLint radius)
{
	GLfloat twicePi = (GLfloat) 2.0f * PI;
	glBegin(GL_TRIANGLE_FAN);
	glVertex2i(x, y);               // circle center
	for (int i = 0; i <= STEPS; i++) // draw a triangle fan
	{
		glVertex2i((GLint)(x + (radius * cos(i * twicePi / STEPS)) +
0.5),
			(GLint)(y + (radius * sin(i * twicePi / STEPS)) + 0.5));
	}
	glEnd();

}

void display()
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
	glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);

	glCircle(320, 240, 150);

	glFlush();
```

```
}
```

Bài 11. Hãy vẽ các vòng tròn đồng tâm tại điểm (320,240). Bán kính ban đầu r = 100, giá trị màu ban đầu (red = 1.0, green = 1.0, blue = 1.0). Sau mỗi bước lặp, ta giảm bán kính một lượng là $\Delta r = 30$, $\Delta red = 0.1$, $\Delta green = 0.2$, $\Delta blue = 0.3$. Quá trình lặp này dừng khi $r \leq 0$.



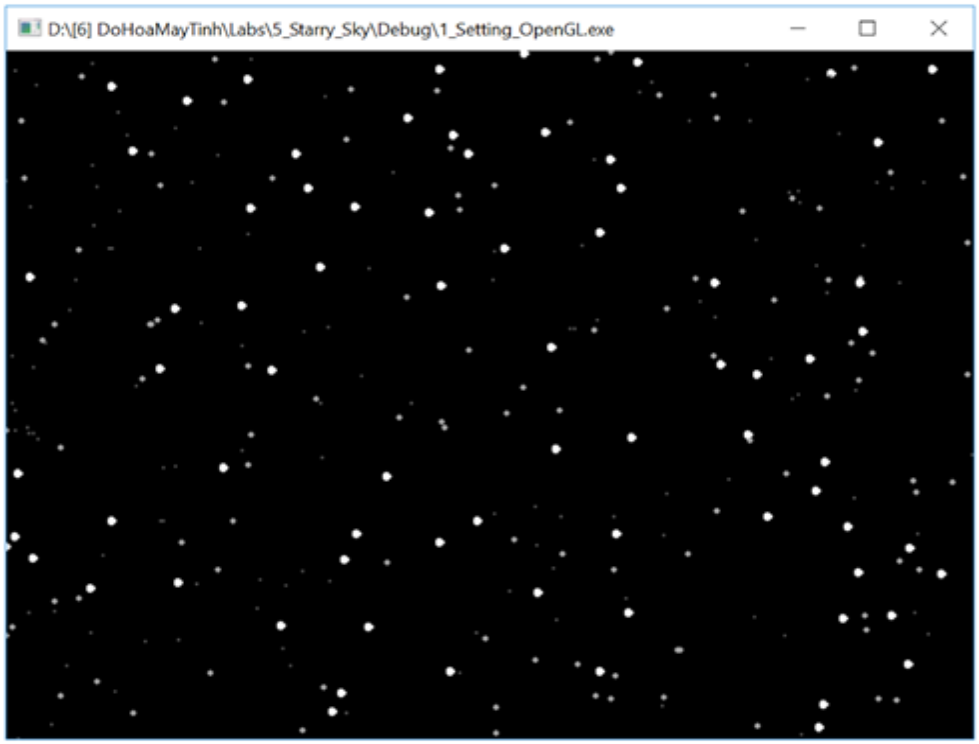
Hướng dẫn:

```
void display()
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);		//Clears the color buffer

	GLfloat red = 1.0f;			// initial R, G, B values
	GLfloat green = 1.0f;
	GLfloat blue = 1.0f;
	for (int r = 200; r > 0; r -= 30)	// draw from bigger to smaller circle
	{
		glColor3f(red, green, blue);
		glCircle(320, 240, r);		// all circles have the same center
		red -= 0.1f;			// update the R, G, B value
		green -= 0.2f;
```

```
                blue -= 0.3f;
        }
        glFlush();

}
```

Bài 12. Sử dụng hàm glCircle đã cài đặt ở Bài trên, hãy viết ứng dụng đồ họa sử dụng OpenGL mô phỏng hoạt cảnh chuyển động ngang của một bầu trời sao với các yêu cầu sau:

- Tổng số lượng các ngôi sao trên bầu trời là 300.
- Mỗi một ngôi sao ban đầu được phát sinh với các đặc điểm sau:
  - Tọa độ (x, y) của các ngôi sao được phát sinh ngẫu nhiên trong phạm vi kích thước của cửa sổ OpenGL.
  - Bán kính r của các ngôi sao được phát sinh ngẫu nhiên trong khoảng từ 1 đến 3 pixel.
  - Cường độ sáng i của ngôi sao phụ thuộc vào bán kính của ngôi sao đó theo tỷ lệ i = r/3.
  - Vận tốc di chuyển ngang của ngôi sao thứ i, ký hiệu Δv_i, được tính dựa trên công thức: $\Delta v_i = 2r_i + v$. Với v là một giá trị ngẫu nhiên trong khoảng từ 1 đến 3.
- Tại bước lặp thứ k, các ngôi sao liên tục di chuyển ngang theo chiều từ trái sang phải dựa trên vận tốc Δv_i của chúng: $x_i^k = x_i^{k-1} + \Delta v_i$.
- Nếu ngôi sao thứ i di chuyển vượt quá chiều rộng cửa sổ, ta phát sinh lại ngẫu nhiên ngôi sao này theo các yêu cầu ở trên, ngoại trừ tọa độ x_i của ngôi sao này bắt đầu từ cạnh trái của cửa sổ: $x_i = 0$, tạo cảm giác một ngôi sao mới di chuyển ngang cửa sổ.



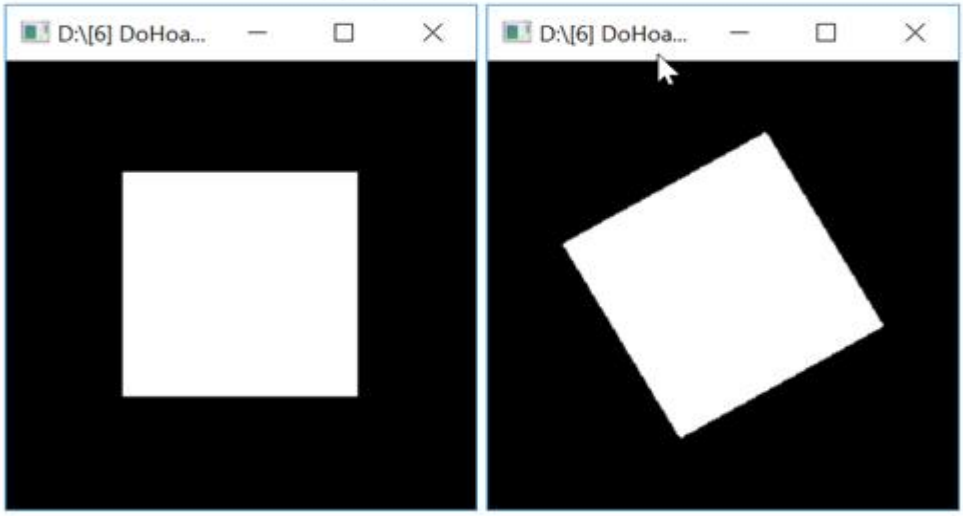
Hướng dẫn:

```
#include <math.h>
#include "Dependencies\glew\glew.h"
#include "Dependencies\freeglut\freeglut.h"

#define STEPS       40                  // number of fans per circle
#define MAX_STARS   300                 // total stars supported
#define PI 3.14159265358979323846

const int screenWidth = 640;
const int screenHeight = 480;

typedef struct star                     // structure of a star
{
       GLint  x, y;
       GLint  radius;
       GLint  velocity;
       GLfloat intensity;
} STAR;

STAR sky[MAX_STARS];                    // our starfield

void init(void)
{
       glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);  //clear black
}

void glCircle(GLint x, GLint y, GLint radius)
{
       GLfloat twicePi = (GLfloat) 2.0f * PI;
```

```
	glBegin(GL_TRIANGLE_FAN);
	glVertex2i(x, y);               // circle center
	for (int i = 0; i <= STEPS; i++) // draw a triangle fan
	{
		glVertex2i((GLint)(x + (radius * cos(i * twicePi / STEPS)) +
0.5),
			(GLint)(y + (radius * sin(i * twicePi / STEPS)) + 0.5));
	}
	glEnd();
}

void skyInit()
{
	for (int i = 0; i < MAX_STARS; i++)
	{
		sky[i].x = rand() % screenWidth;
		sky[i].y = rand() % screenHeight;
		sky[i].radius = 1 + rand() % 3;
		sky[i].intensity = sky[i].radius / 3.0f;
		sky[i].velocity = sky[i].radius * 2 + rand() % 3;
	}
}

void skyDraw()                          // put your drawing code here
{
	glClearColor(0, 0, 0, 0);           // clear color buffer to black
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);

	for (int i = 0; i < MAX_STARS; i++)
	{
		glColor3f(sky[i].intensity, sky[i].intensity,
sky[i].intensity);
		glCircle(sky[i].x, sky[i].y, sky[i].radius);

	}
}

void display()
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);           //Clears the color buffer
	glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);

	glPushMatrix();
	skyDraw();
	glPopMatrix();
	glutSwapBuffers();
}

void update()
{
	for (int i = 0; i < MAX_STARS; i++)
	{
		sky[i].x += sky[i].velocity;
		if (sky[i].x >= screenWidth)
		{
			sky[i].x = 0;
			sky[i].y = rand() % screenHeight;
			sky[i].radius = 1 + rand() % 3;
			sky[i].intensity = sky[i].radius / 3.0f;
			sky[i].velocity = sky[i].radius * 2 + rand() % 3;
		}
	}
```

```
        Sleep(50);
        glutPostRedisplay();
}

void reshape(int w, int h)
{
        glViewport(0, 0, (GLsizei)w, (GLsizei)h);
        glMatrixMode(GL_PROJECTION);
        glLoadIdentity();
        gluOrtho2D(0.0, (GLdouble)w, 0.0, (GLdouble)h);
}

int main(int argc, char **argv)
{
        glutInit(&argc, argv); // Khởi tạo glut
        glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA); // Khởi tạo chế độ vẽ
single buffer và hệ màu RGB
        glutInitWindowSize(screenWidth, screenHeight); //optional
        glutInitWindowPosition(100, 100);//optional
        glutCreateWindow(argv[0]);
        init();
        skyInit();
        glutDisplayFunc(display);
        glutReshapeFunc(reshape);
        glutIdleFunc(update);
        glutMainLoop();
        return 0;

}
```

Bài 13. Vẽ hình chữ nhật quay quanh tâm



Khi bấm chuột trái hình chữ nhật sẽ quay quanh tâm, bấm chuột giữa sẽ dừng lại.

Hướng dẫn:

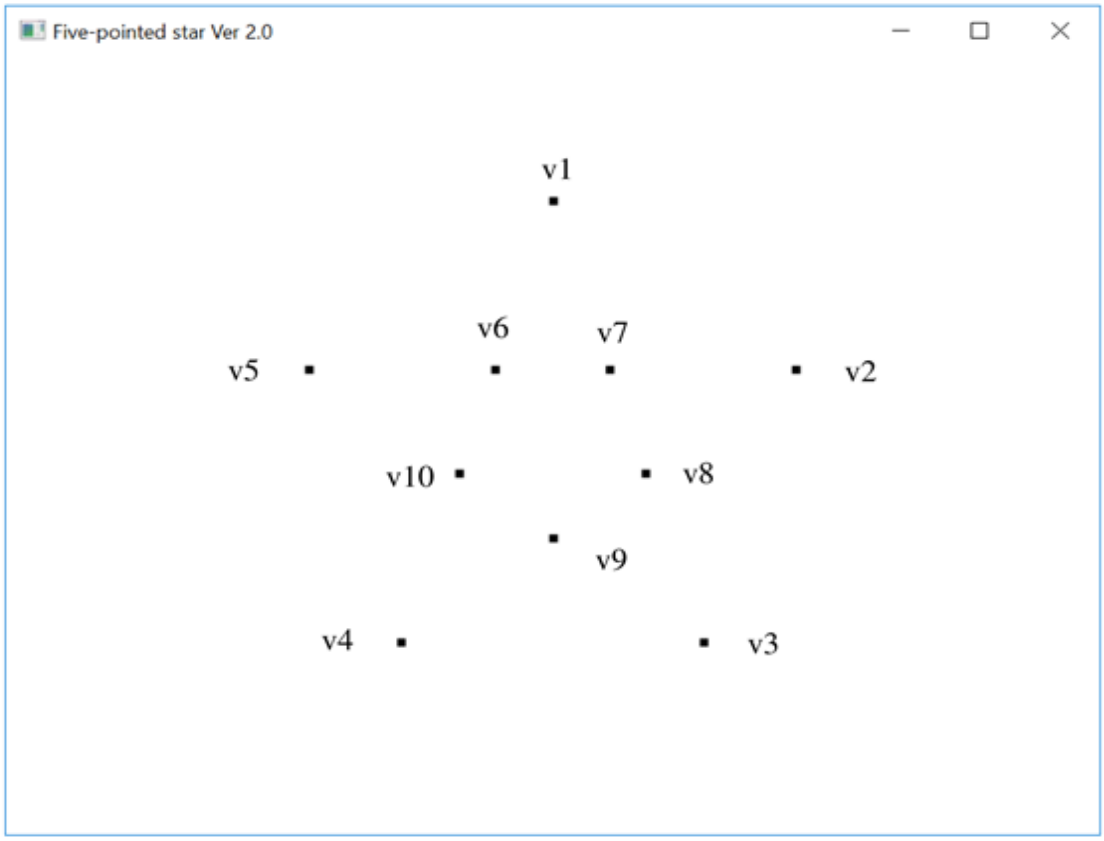
```
#include "Dependencies\glew\glew.h"
```

```
#include "Dependencies\freeglut\freeglut.h"

const int screenWidth = 250;
const int screenHeight = 250;

static GLfloat spin = 0.0;

void init(void)
{
	glClearColor(0.0, 0.0, 0.0, 0.0);
	glShadeModel(GL_FLAT);
}

void display(void)
{
	glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
	glPushMatrix();
	glRotatef(spin, 0.0, 0.0, 1.0);
	glColor3f(1.0, 1.0, 1.0);
	glRectf(-25.0, -25.0, 25.0, 25.0);
	glPopMatrix();
	glutSwapBuffers();
}

void spinDisplay(void)
{
	spin = spin + 2.0;
	if (spin > 360.0)
		spin = spin - 360.0;
	glutPostRedisplay();
}

void reshape(int w, int h)
{
	glViewport(0, 0, (GLsizei)w, (GLsizei)h);
	glMatrixMode(GL_PROJECTION);
	glLoadIdentity();
	glOrtho(-50.0, 50.0, -50.0, 50.0, -1.0, 1.0);
	glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
	glLoadIdentity();
}

void mouse(int button, int state, int x, int y)
{
	switch (button) {
	case GLUT_LEFT_BUTTON:
		if (state == GLUT_DOWN)
			glutIdleFunc(spinDisplay);
		break;
	case GLUT_MIDDLE_BUTTON:
		if (state == GLUT_DOWN)
			glutIdleFunc(NULL);
		break;
	default:
		break;
	}
}

int main(int argc, char** argv)
{
	glutInit(&argc, argv);
	glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE | GLUT_RGB);
```

```
        glutInitWindowSize(screenWidth, screenWidth);
        glutInitWindowPosition(100, 100);
        glutCreateWindow(argv[0]);
        init();
        glutDisplayFunc(display);
        glutReshapeFunc(reshape);
        glutMouseFunc(mouse);
        glutMainLoop();
        return 0;

}
```

3. Bài tập tự giải

Bài 14. Cải tiến bài tập 9 để vẽ hình ngôi sao như sau:



Hướng dẫn:

Trong bài tập 9 ta đã tính được tọa độ của các đỉnh v1, v2, v3, v4, v5. Tương tự chúng ta tìm tọa độ của các đỉnh v6, v7, v8, v9, v10.

Bài 15. Chỉnh sửa bài 12 để đảo ngược chuyển động các ngôi sao theo chiều từ phải sang trái

Gợi ý:

- Ta giảm tọa độ x của các ngôi sao một lượng là Δv. Khi đó công thức tính vị trí của các ngôi sao ở mỗi lần lặp trở thành: $x_i^k = x_i^{k-1} - \Delta v_i$.
- Xét ngôi sao thứ i, sau khi di chuyển hết cạnh trái của cửa sổ, khi đó $x_i < 0$. Ta phát sinh lại ngôi sao này với x_i = SCREENWIDTH, tức là ở cạnh phải của cửa sổ OpenGL.

4. Tài liệu tham khảo

[1] http://www.glprogramming.com/red/