HOMEWORK8 - Bezier Curve

学号：16340072 姓名：何颢尧 专业方向：数字媒体

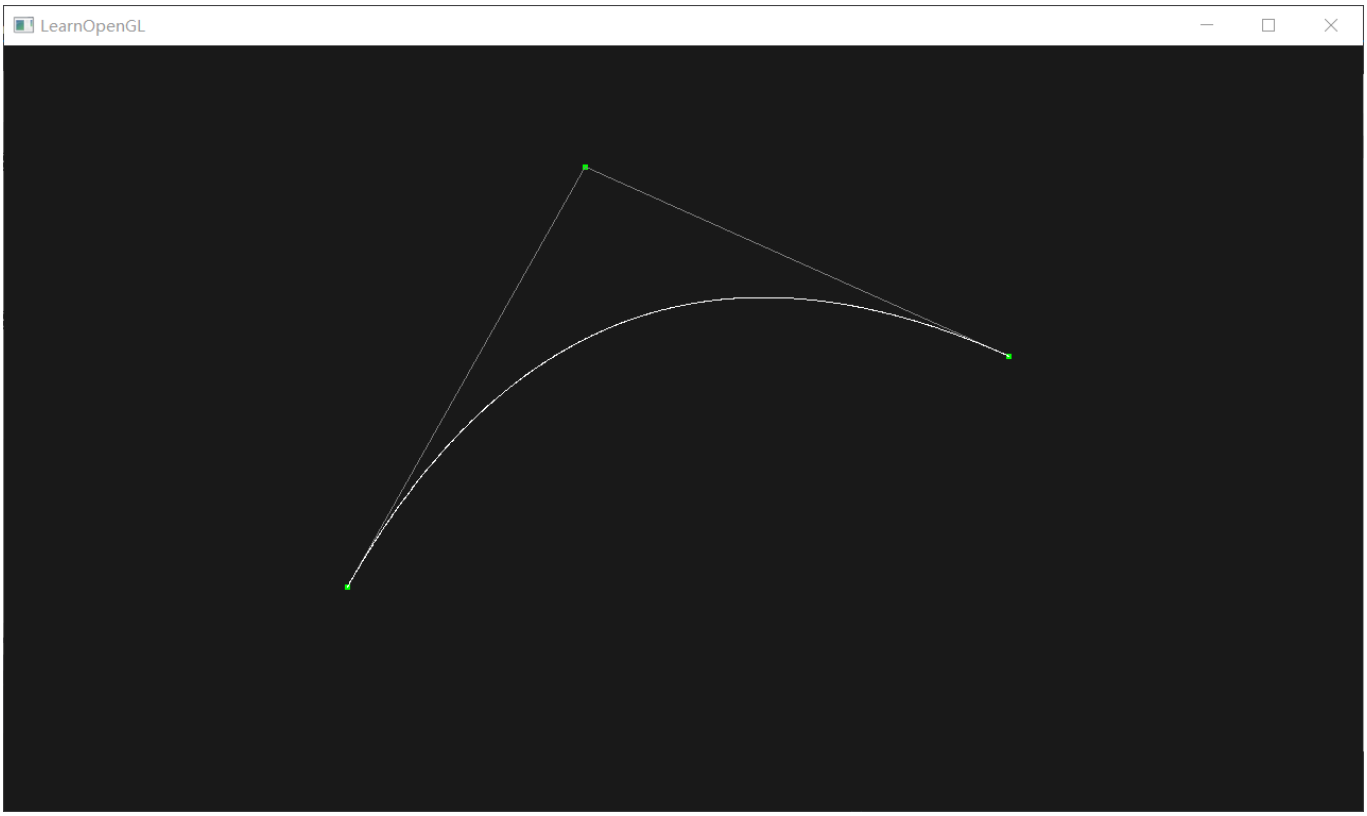
Basic

1. 用户能通过左键点击添加Bezier曲线的控制点，右键点击则对当前添加的最后一个控制点进行消除。
2. 工具根据鼠标绘制的控制点实时跟新Bezier曲线。

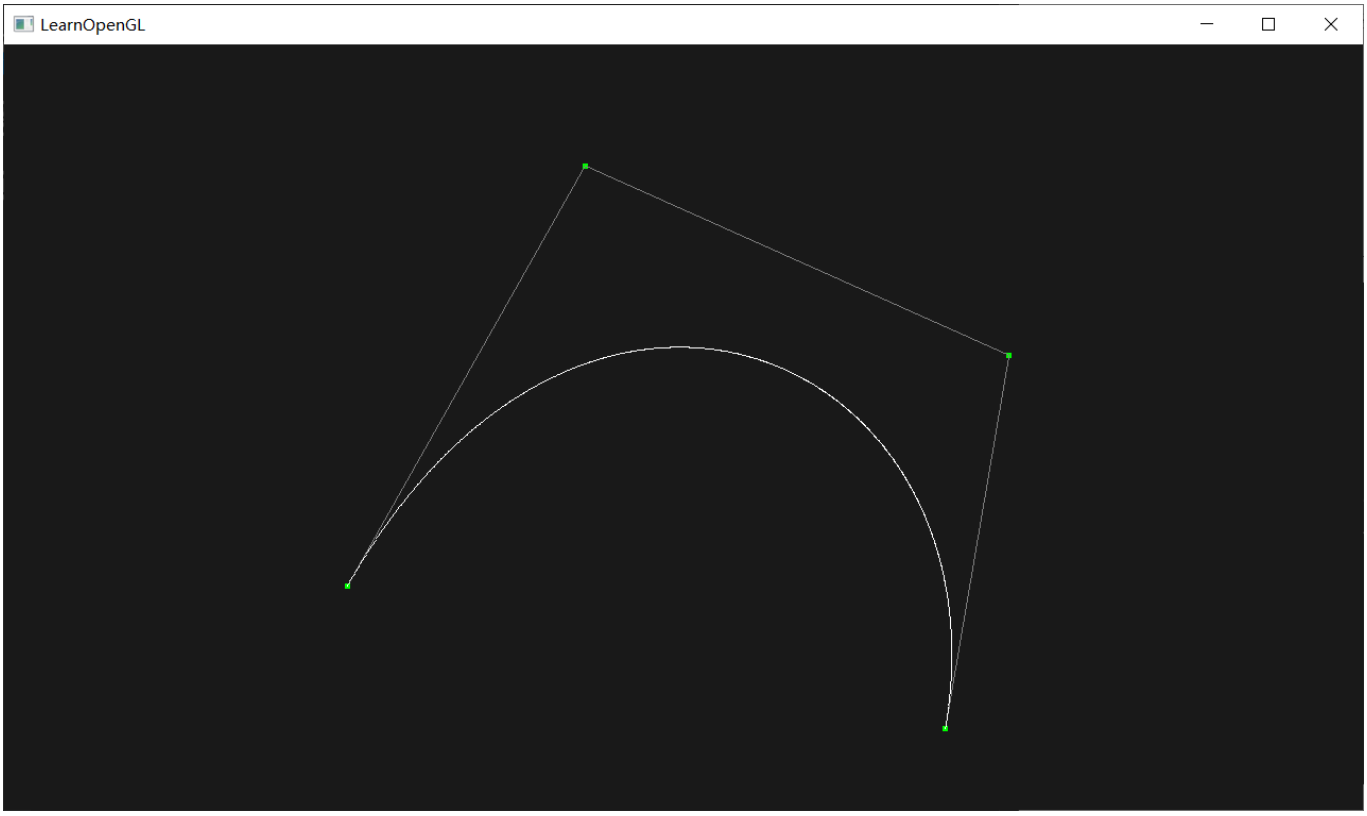
Result

结果截图

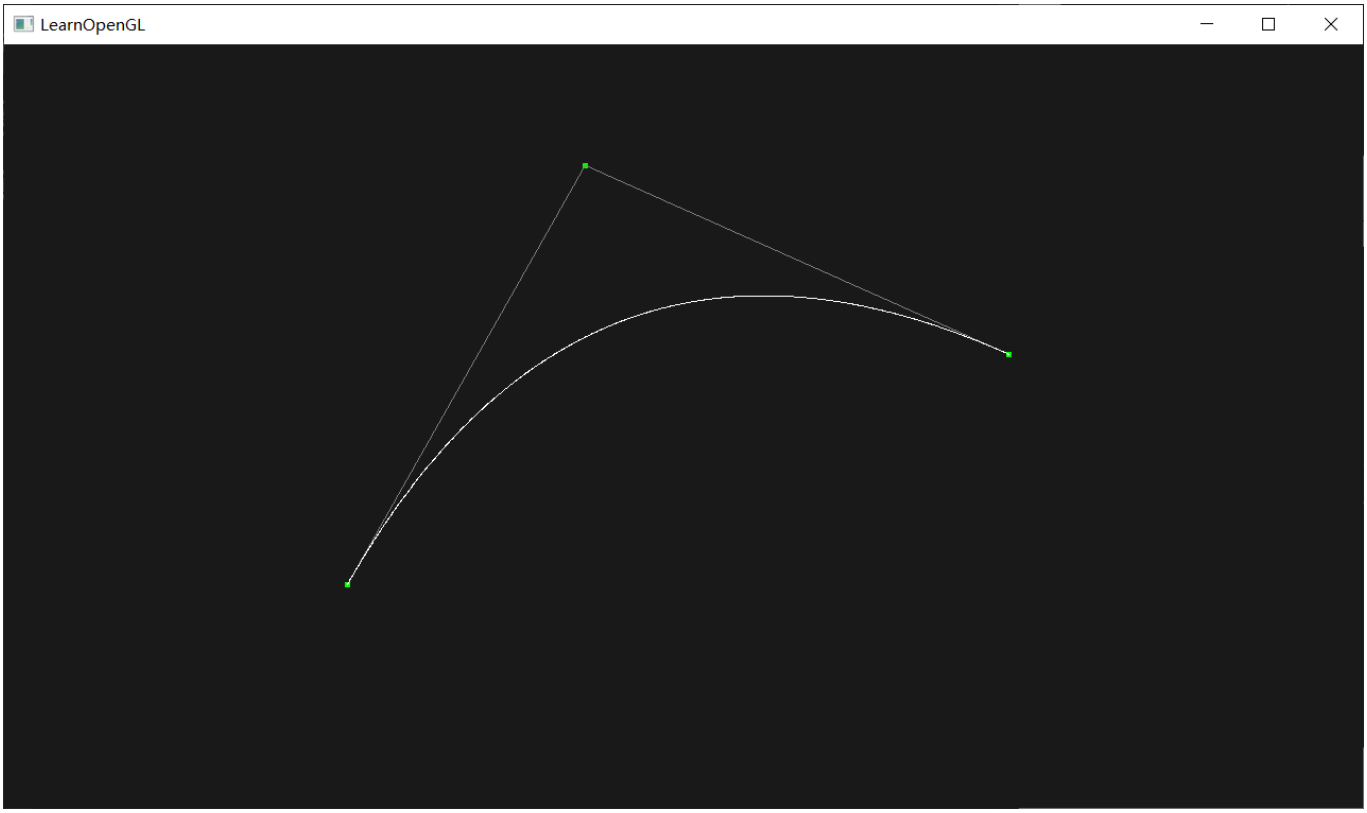
鼠标左键点击任意三个位置



鼠标左键点击第四个位置



鼠标右键删除最后一个控制点



（动画效果请看.gif文件）

Bezier曲线

Bezier curve本质上是由调和函数根据控制点插值生成，其参数方程如下

$$Q(t)=\sum_{i=0}^{n}P_iB_{i,n}(t),\quad t\in[0,1]$$

上式为n次多项式，具有n+1项。其中，Pi(i = 0,1,... n)表示特征多边形的n+1个顶点向量；B(t)为伯恩斯坦(Bernstein)基函数，其多项式表示为：

$$B_{i,n}(t)=\frac{n!}{i!(n-i)!}t^i(1-t)^{n-i},\quad i=0,\ 1\ldots n$$

代码实现

鼠标点击与移动获取坐标位置

定义鼠标移动的回调函数，鼠标移动时，得出鼠标的位置坐标，xpos范围[0, SRC_WIDTH - 1], ypos范围[0, SRC_HEIGHT - 1]。要将xpos与ypos映射至[-1.0, 1.0]。 因为鼠标移动的回调函数获取的y坐标的坐标系与opengl画图的坐标系不同，因此需要对y坐标进行处理。

```
void cursor_position_callback(GLFWwindow* window, double xpos, double ypos) {
    xPos = xpos / (SCR_WIDTH - 1) * 2 - 1;
    yPos = ypos / (SCR_HEIGHT - 1) * 2 - 1;
    yPos *= -1;
}
```

定义鼠标点击回调函数， 鼠标左键点击时，增加控制点。鼠标右键点击时，删除最后一个添加的控制点。

```
void mouse_button_callback(GLFWwindow* window, int button, int action, int mods) {
    if (action == GLFW_PRESS) {
        switch (button) {
        case GLFW_MOUSE_BUTTON_LEFT:
            bezierCurve->addControlPoint(xPos, yPos);
            break;
        case GLFW_MOUSE_BUTTON_RIGHT:
            bezierCurve->removeControlPoint();
            break;
        }
    }
}
```

设置鼠标的回调函数

```
glfwSetCursorPosCallback(window, cursor_position_callback);
glfwSetMouseButtonCallback(window, mouse_button_callback);
```

曲线点计算

一开始分别为曲线点与控制点新建一个足够大的缓冲区

注意glBufferData的第三个实参为NULL， 第四个实参为GL_DYNAMIC_DRAW,一开始时是没有控制点的，然后在后来添加控制点，才对缓冲区进行赋值。因为缓冲区的值会变，因此第四个参数需要为GL_DYNAMIC_DRAW。 顶点属性只有两个x坐标和y坐标

定义如下

```
//CurvePoint
glGenVertexArrays(1, &curveVAO);
glGenBuffers(1, &curveVBO);
glBindVertexArray(curveVAO);
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, curveVBO);
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, MAX_POINT_NUM * 2 * sizeof(float), NULL, GL_DYNAMIC_DRAW);
glEnableVertexAttribArray(0);
glVertexAttribPointer(0, 2, GL_FLOAT, GL_FALSE, 2 * sizeof(float), (void*)0);
glBindVertexArray(0);
```

当每添加一个控制点或删除一个控制点时，都要重新计算曲线点 t范围[0, 1.0],为使Bezier曲线显示时比较连续，将dt取比较小的值。 计算完后，要曲线坐标信息赋予曲线点的顶点缓冲区中， 同时将新的控制点坐标信息赋予控制点的顶点缓冲区中。利用函数glBindSubData

```
void calculateCurvePoints() {
    curvePointCords.clear();
    float t = 0.00f;
    int n = controlPoints.size();
    if (n == 0) return;

    while (t <= 1.0f) {
        glm::vec2 curvePoint = glm::vec2(0.0f, 0.0f);
        for (int i = 0; i < n; i++) {
            curvePoint = curvePoint + controlPoints[i] * Bernstein(i, n - 1, t);
        }
        curvePointCords.push_back(curvePoint.x);
        curvePointCords.push_back(curvePoint.y);

        t += dt;
    }

    glBindVertexArray(controlVAO);
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, controlVBO);
    glBufferSubData(GL_ARRAY_BUFFER, 0, controlPointCords.size() * sizeof(float), &controlPointCords[0]);
    glBindVertexArray(0);

    glBindVertexArray(curveVAO);
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, curveVBO);
    glBufferSubData(GL_ARRAY_BUFFER, 0, curvePointCords.size() * sizeof(float), &curvePointCords[0]);
    glBindVertexArray(0);

}
```

画曲线点与控制点

渲染时，只需要设置颜色，然后绑定对应缓冲对象，调用glDrawArrays,

可以使用glEnable(GL_POINT_SIZE)与函数glPointSize(size)，使控制点显示更大

```
//draw control points
shader.setVec3("color", glm::vec3(0.0f, 1.0f, 0.0f));
glEnable(GL_POINT_SIZE);
glBindVertexArray(controlVAO);
glPointSize(5);
glDrawArrays(GL_POINTS, 0, controlPoints.size());
```

```
// draw curve points
shader.setVec3("color", glm::vec3(1.0f, 1.0f, 1.0f));
glPointSize(1);
glBindVertexArray(curveVAO);
glDrawArrays(GL_POINTS, 0, curvePointCords.size() / 2);
glBindVertexArray(0);
```

着色器代码

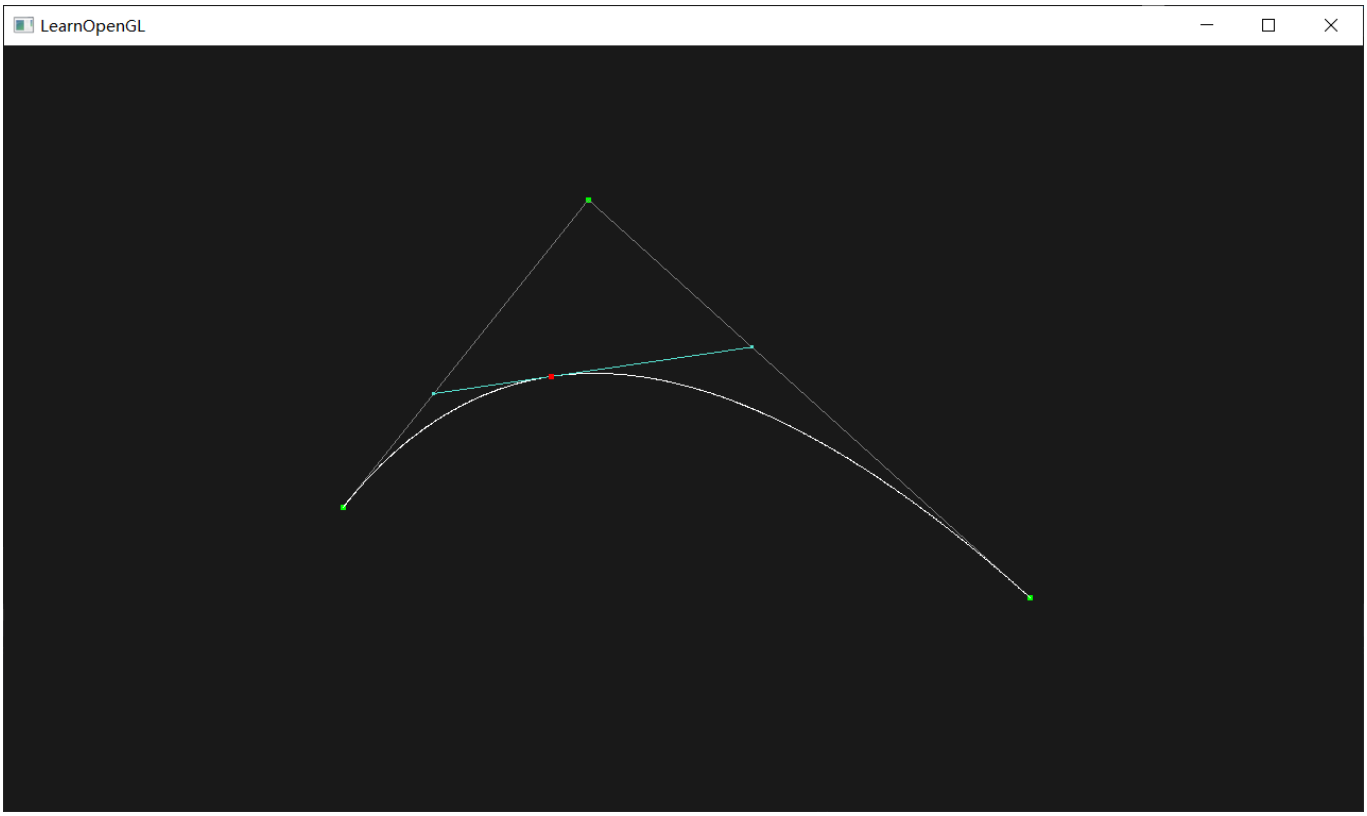
着色器代码非常简单

```
//顶点着色器
#version 330 core
layout (location = 0) in vec2 aPos;

void main()
{
    gl_Position = vec4(aPos.x, aPos.y, 0.0, 1.0);
}

//片段着色器
#version 330 core
out vec4 FragColor;

uniform vec3 color;
void main()
{
   FragColor = vec4(color, 1.0);
}
```

Bonus

1. 动态地呈现Bezier曲线的生成过程。

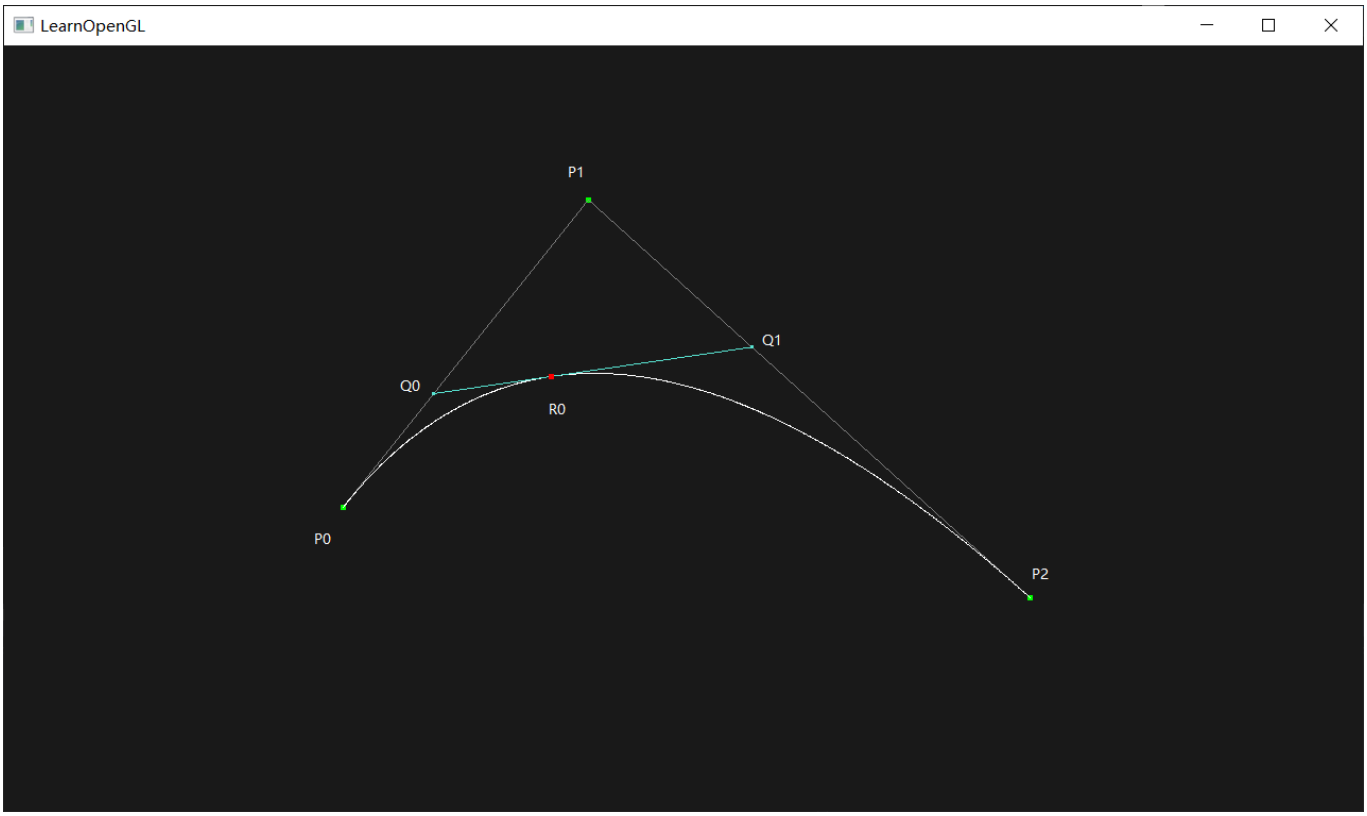
Result



（动画效果请看.gif文件）

实现原理

请看下图



已知控制P0,P1,P2

当t = t0时

Q0 = (1 - t) * P0 + t * P1

Q1 = (1 - t) * P1 + t * P2

R0 = (1 - t) * Q0 + t * Q1

实现动态的曲线生成，随着t的变化，画出变化后Q0 Q1线段与R0点。

代码实现

在初始化时，随机生成MAX_CONTROL_POINT_NUM种颜色，在画线段时用到。 只有当控制点的数量大于2时，才有线段生成。当t = t0, 循环向下生成线段顶点， 画出线段顶点与线段，和对应的曲线点。

```
void drawDynamicCurveGeneration(float t) {
    int n = controlPoints.size();
    //当控制点的数量小于等于1时，没有动态效果
    if (n <= 1)
        return;

    vector<float> pointCords;
    vector<glm::vec2> points;
    points.insert(points.end(), controlPoints.begin(), controlPoints.end());

    //只有控制顶数大于2时，才有线段
    for (int j = n; j > 2; j--) {
        vector<glm::vec2> temp;
        temp.clear();
        //(t-1) * point0 + t * point1
        for (int i = 0; i < j - 1; i++) {
            glm::vec2 point = (1 - t) * points[i] + t * points[i + 1];
            pointCords.push_back(point.x);
            pointCords.push_back(point.y);
            //下一层顶点
            temp.push_back(point);

        }

        shader.setVec3("color", color[j - 1]);
        //draw Point
        glPointSize(3);
        glBindVertexArray(vao);
        glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vbo);
        glBufferSubData(GL_ARRAY_BUFFER, 0, pointCords.size() * sizeof(float), &pointCords[0]);
        glDrawArrays(GL_POINTS, 0, temp.size());

        //draw Line
        glDrawArrays(GL_LINE_STRIP, 0, temp.size());
        glBindVertexArray(0);

        //clear and assign temp to points
        pointCords.clear();
        points.clear();
        points.insert(points.end(), temp.begin(), temp.end());


    }

    //draw curve point when t
    shader.setVec3("color", glm::vec3(1.0f, 0.0f, 0.0f));
    int i = t / dt;
    glBindVertexArray(curveVAO);
    glPointSize(5);
    glDrawArrays(GL_POINTS, i, 1);
    glBindVertexArray(0);

}
```

控制曲线生成的速度

```
drawDynamicCurveGeneration(t);
if (time == timeout) {
    t += dt;
    time = 0;

}

if (t >= 1.0f)
    t = 0.00f;
time++;
```