计算机学院实验报告

实验题目： 贝塞尔曲线		学号：202300130183
日期：2025/3/24	班级：23 级智能班	姓名：宋浩宇

Email：2367651943@qq.com
202300130183@mail.sdu.edu.cn

实验目的：
在确保代码框架一切正常后，就可以开始完成你自己的实现了。注释掉 main 函数中 while 循环内调用 naive_bezier 函数的行，并取消对 bezier 函数的注
释。要求你的实现将 Bézier 曲线绘制为**绿色**。
如果要确保实现正确，请同时调用 naive_bezier 和 bezier 函数，如果实现正确，则两者均应写入大致相同的像素，因此该曲线将表现为**黄色**。如果是这样，你可以确保实现正确。你也可以尝试修改代码并使用不同数量的控制点，来查看不同的 Bézier 曲线。

实验环境介绍：
软件环境：
主系统：Windows 11 家庭中文版 23H2 22631.4317
虚拟机软件：Oracle Virtual Box 7.1.6
虚拟机系统：Ubuntu 18.04.2 LTS
编辑器：Visual Studio Code
编译器：gcc 7.3.0
计算框架：OpenCV4

硬件环境：
CPU：13th Gen Intel(R) Core(TM) i9-13980HX 2.20 GHz
内存：32.0 GB (31.6 GB 可用)
磁盘驱动器：NVMe WD_BLACKSN850X2000GB
显示适配器：NVIDIA GeForce RTX 4080 Laptop GPU

解决问题的主要思路：

解决本问题的主要思路就是 de Casteljau 算法，该算法的运作方式是：对于在曲线上 t（0-1）位置的点，它的位置由重复的的线性插值决定，具体方法为，求所有相邻控制点的线性插值点的位置，获得一组新的控制点，再对这些控制点进行线性插值，又获得一组新的点，重复这个步骤直到获得的点只有一个时，这个点就是贝塞尔曲线上的点。符号化的表达就是：

$$P = (1-t)P_1^{n-1} + tP_2^{n-1}$$

$$P_j^i = (1-t)P_j^{i-1} + tP_{j+1}^{i-1}$$

其中，最初的控制点为：

$$P_1^1, P_2^1 \cdots P_n^1$$

使用程序中的递归调用可以很简单地实现这个步骤，具体会在下个模块说明。

实验步骤与实验结果：

实验步骤：

我们在上文中说，这个算法用递归实现很简单，参考代码框架中给出的代码，我们每一层递归传递的信息是一个 vector 和此时的 t 值，我们在进行一轮线性插值时只需要将计算出来的点加入一个新的 vector，并将这个 vector 作为参数传递到下一层递归，在 vector 中只有一个点时返回这个点即可。然后为了画出贝塞尔曲线，只需设置好步长，从 0 到 1 按照步长改变 t 的值并重复调用这个获得贝塞尔曲线的点的函数即可。

代码如下：

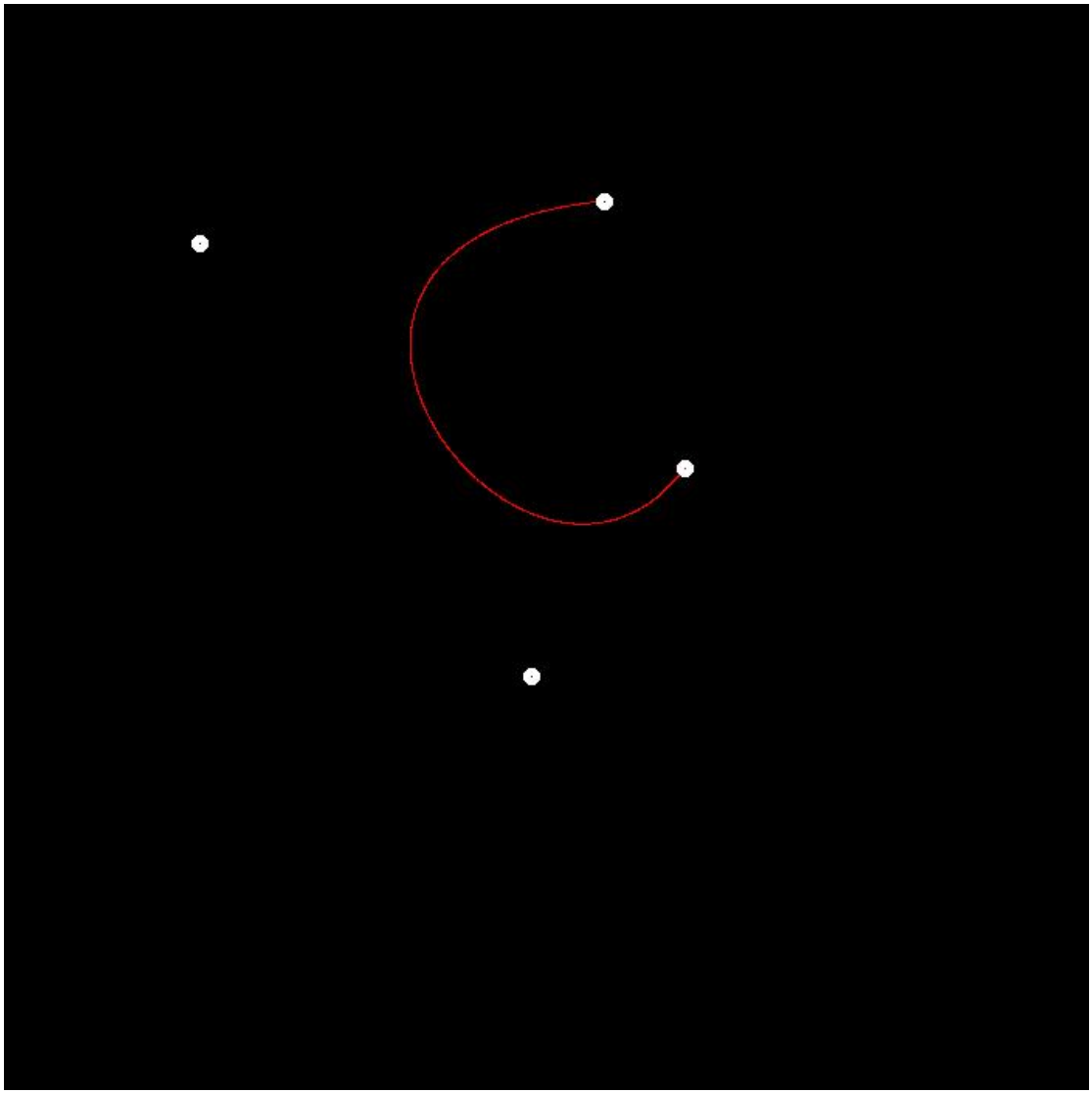
```
#include <chrono>
#include <iostream>
#include <opencv2/core/types.hpp>
#include <opencv2/opencv.hpp>

std::vector<cv::Point2f> control_points;
size_t control_cnt = 0;
void mouse_handler(int event, int x, int y, int flags, void*
userdata)
{
  if (event == cv::EVENT_LBUTTONDOWN && control_points.size()
< control_cnt)
  {
    std::cout << "Left button of the mouse is clicked - position
(" << x << ", "
              << y << ")" << '\n';
    control_points.emplace_back(x, y);
  }
}

void naive_bezier(const std::vector<cv::Point2f>& points,
```

```
cv::Mat& window)
{
  auto& p_0 = points[0];
  auto& p_1 = points[1];
  auto& p_2 = points[2];
  auto& p_3 = points[3];

  for (double t = 0.0; t <= 1.0; t += 0.001)
  {
    auto point = std::pow(1 - t, 3) * p_0 + 3 * t * std::pow(1
- t, 2) * p_1 +
                 3 * std::pow(t, 2) * (1 - t) * p_2 + std::pow(t,
3) * p_3;

    window.at<cv::Vec3b>(point.y, point.x)[2] = 255;
  }
}

cv::Point2f recursive_bezier(const std::vector<cv::Point2f>&
control_points,
                             float t)
{
  auto n = control_points.size() - 1;
  if (n == 0)
  {
    return control_points[0];
  }
  std::vector<cv::Point2f> new_points(n);
  for (int i = 0; i < n; i++)
  {
    new_points[i] = (1 - t) * control_points[i] + t *
control_points[i + 1];
  }
  return recursive_bezier(new_points, t);
}

void bezier(const std::vector<cv::Point2f>& control_points,
cv::Mat& window)
{
  // TODO: Iterate through all t = 0 to t = 1 with small steps,
and call de
  // Casteljau's recursive Bezier algorithm.
  float step = 0.001;
  float t = 0;
```

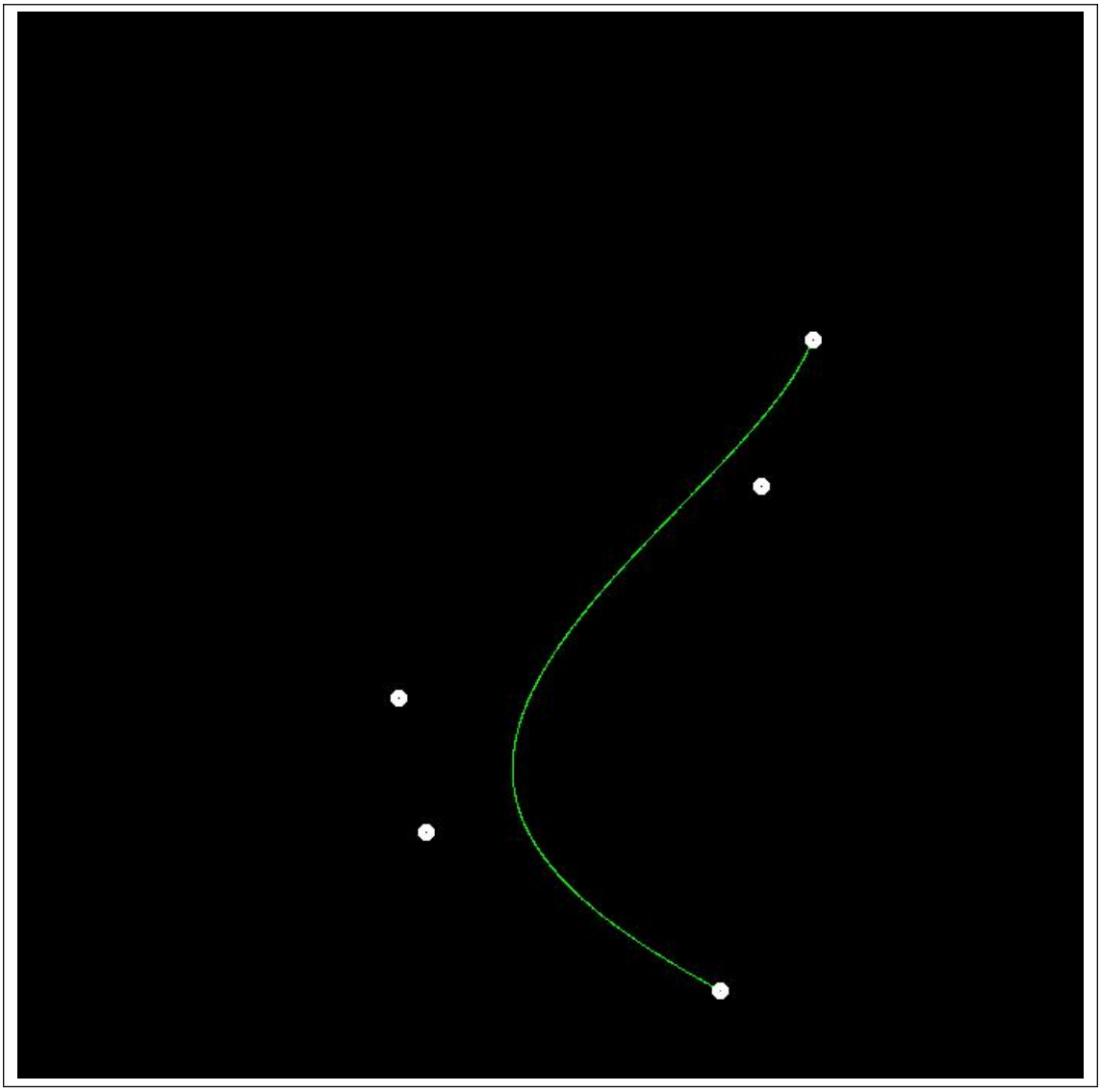
```
  while (t <= 1)
  {
    cv::Point2f point = recursive_bezier(control_points, t);
    window.at<cv::Vec3b>(point.y, point.x)[1] = 255;
    t += step;
  }
}

int main()
{
  cv::Mat window = cv::Mat(700, 700, CV_8UC3, cv::Scalar(0));
  cv::cvtColor(window, window, cv::COLOR_BGR2RGB);
  cv::namedWindow("Bezier Curve", cv::WINDOW_AUTOSIZE);

  cv::setMouseCallback("Bezier Curve", mouse_handler,
nullptr);
  std::cout << "请输入控制点个数: " << std::endl;
  std::cin >> control_cnt;
  // control_cnt = 4;
  int key = -1;
  while (key != 27)
  {
    for (auto& point : control_points)
    {
      cv::circle(window, point, 3, {255, 255, 255}, 3);
    }

    if (control_points.size() == control_cnt)
    {
      // naive_bezier(control_points, window);
      bezier(control_points, window);

      cv::imshow("Bezier Curve", window);
      cv::imwrite("my_bezier_curve.png", window);
      key = cv::waitKey(0);

      return 0;
    }

    cv::imshow("Bezier Curve", window);
    key = cv::waitKey(20);
  }

  return 0;
```

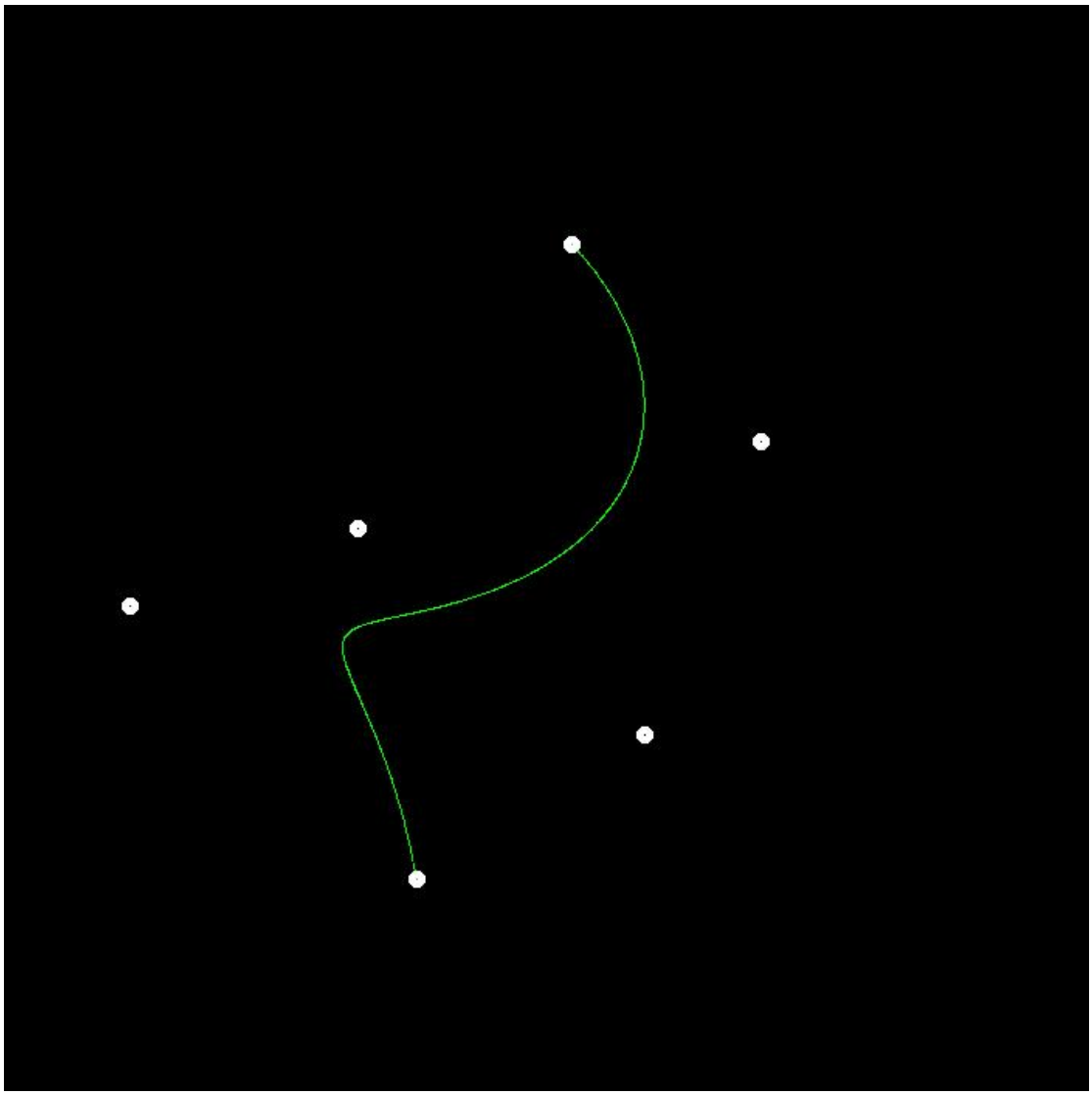
```
}
```

实验结果：
首先是示例实验的贝塞尔曲线：

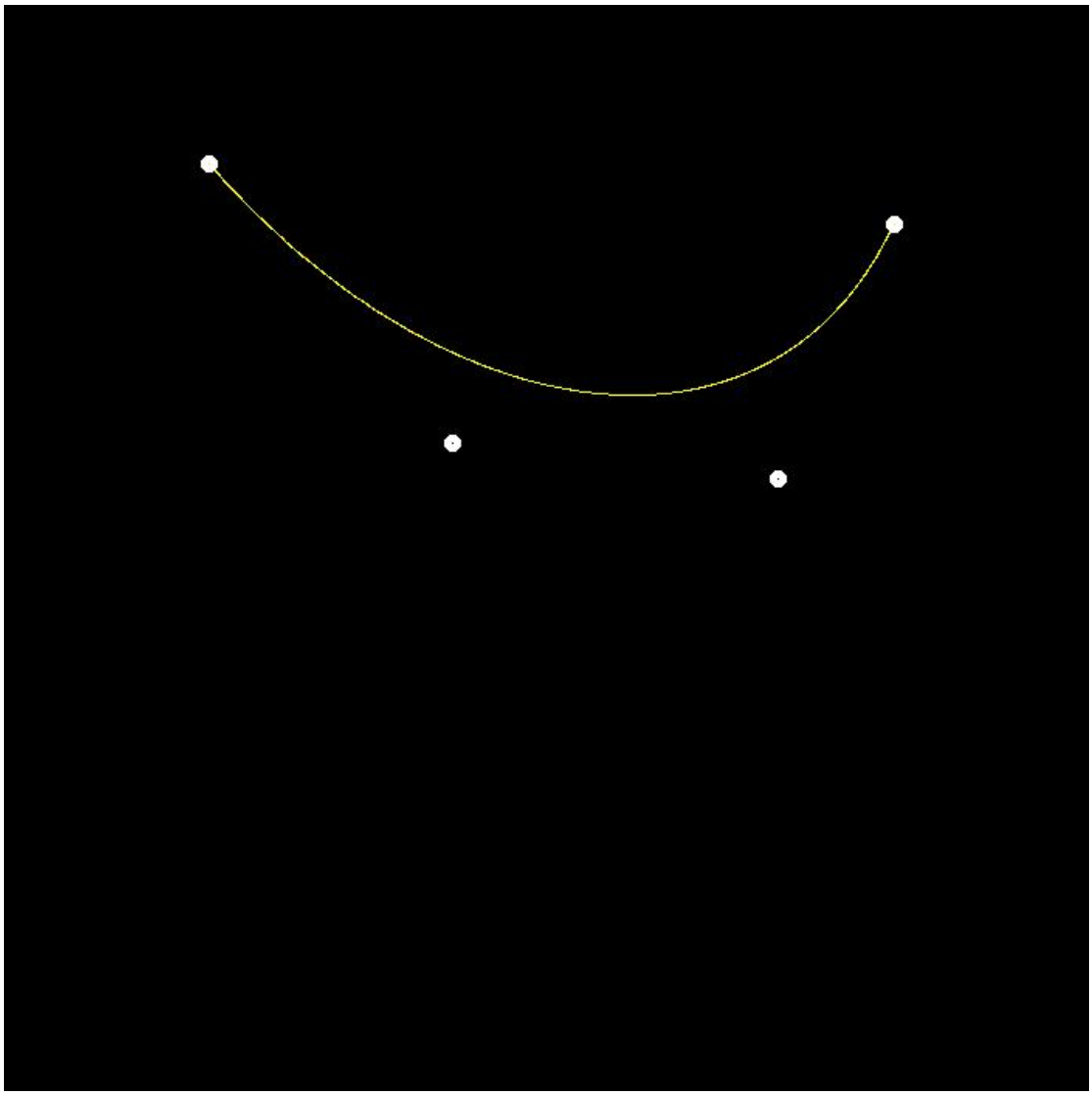


然后是我们自己实现的 de Casteljau 算法绘制出来的贝塞尔曲线。
因为我们通过设置全局变量获得了任意次的贝塞尔曲线的绘制函数，因此以下分别是 4 次的贝塞尔曲线和 5 次的贝塞尔曲线。





最后是两种算法获得的贝塞尔曲线的重合状态：



实验中存在的问题及解决：

问题 1：OpenCV 是怎么定义的颜色的值，为什么把点设置为红色修改的是颜色数组里的第三项的值？数组里的前两项是什么？

回答 1：由于历史遗留原因，OpenCV 中对于颜色的定义不是常见的 RGB 的顺序，而是 BGR 的顺序，因此想要将点设置为绿色，需要将数组中的第二项设置为 255.