吉林大学

软件学院

《图形学与人机交互》

实验报告

班级：

学号：

姓名：

2023-2024 学年第 1 学期

实验项目	图形学算法实现与演示		
实验性质	☑演示性实验 ☐验证性实验 ☑操作性实验 ☐综合性实验		
实验地点	计算机楼 A108	机器编号	

一、 系统实现的功能

实现了所有要求实现的功能，以下为各级菜单。

1 图形绘制

1.1 绘制矩形

1.2 绘制圆形

1.3 设置颜色

2 区域填充

2.1 绘制多边形

2.2 设置颜色

3 三维变换

3.1 绘制立方体

3.2 沿 x 轴方向平移

3.3 沿 y 轴方向平移

3.4 沿 z 轴方向平移

3.5 绕 x 轴旋转

3.6 绕 y 轴旋转

3.7 绕 z 轴旋转

3.8 设置数据

4 绘制曲线

4.1 绘制 Bezier 曲线

二、 实现的图形学算法

在本次项目中，为了成功实现功能，我大致上设计了两个类。

第一个类是图形基类（class Graph），主要用于实现各种平面图形的绘制，包括矩形、圆形，以及多边形。Graph 类中的成员变量包括点集和颜色（此处颜色特指线条颜色）。Graph 类并未实现具体的图形学算法，其主要功能是将平面图形类中的公共部分抽象出来，为子类提供公共的访问接口，主要是 getter 和 setter 方法。此外在 Graph 类中还定义了一个纯虚函数的 void DrawGraph(CDC* pDC)方法，由子类重写该方法，实现各自的图形学算法。

基于此类，分别派生出三个子类，分别矩形类（class RectangleGraph）、圆形类（class CircleGraph）、多边形类（class PolygonGraph），以及 Bezier 曲线类（class BezierGraph）。

就成员属性而言，RectangleGraph 类、CircleGraph 类和 BezierGraph 类，相较 Graph 类并无变化，主要是重写了 void DrawGraph(CDC* pDC)方法，以实现各自的图形学算法。

PolygonGraph 类由于需要对图形进行填充，因此多了一个填充颜色的属性，此外便也是对 void DrawGraph(CDC* pDC)进行重写。

另一个类则是立方体类（class Cube），主要用于实现立方体的创建、投影、平移和旋转等功能。Cube 类中包括了顶点位置、面顶点号、线面颜色、平移步长、旋转角度、透视投影视点等信息。

此外还有一些辅助性的类和方法，在此便不赘述。

以下具体介绍一下实现每个功能所依靠的函数和数据结构，其中涵盖了最为关键的图形学算法。不过其中一些与图形学算法并无太多关系的功能与函数，如图形绘制和区域填充中的设置颜色、三维变换中的设置数据等，我在此便不详细说明了。

1 图形绘制

1.1 绘制矩形

1.1.1 实现函数

矩形的绘制主要依靠两个函数，分别是 void DrawGraph(CDC* pDC)和 void DrawLine(CDC* pDC, COLORREF color, int x1, int y1, int x2, int y2)。

void DrawGraph(CDC* pDC)提供一个绘制矩形的接口。在此函数内得到矩形对角线上的两个顶点坐标，即鼠标点击和松开的坐标信息。然后依据这两个顶点的坐标信息，调用 void DrawLine(CDC* pDC, COLORREF color, int x1, int y1, int x2, int y2)，绘制矩形的四条边。

void DrawLine(CDC* pDC, COLORREF color, int x1, int y1, int x2, int y2)的功能是连接(x1,y1)和(x2,y2)两个点，在两个点间绘制线段。这个函数中我使用的是 DDA 算法，即数值微分法。以下为两个函数的具体算法。

1.1.2 数据结构

实现矩形的绘制，除了矩形类本身，并没有使用什么复杂的数据结构。因为 DDA 算法本身只是一个对数学公式的简单模拟计算，并不需要多余的数据结构。

1.2 绘制圆形

1.2.1 实现函数

圆形的绘制则主要依靠 void DrawGraph(CDC* pDC)。在这个函数中，我使用了中点画圆算法来实现圆形的绘制。通过鼠标按下和松开的信息，我们能够得到圆心和圆上一点的坐标信息，所以我们能通过这两个点的坐标信息和中点画圆算法绘制出圆形。以下为具体算法。

1.2.2 数据结构

与绘制矩形一样，圆形的绘制也无需复杂的数据结构。

2 区域填充

2.1 绘制多边形

2.1.1 实现函数

绘制多边形主要依靠 void DrawGraph(CDC* pDC)和 void EdgeMarkFill(CDC* pDC, vector<CPoint> points)两个函数。

void DrawGraph(CDC* pDC) 提供一个绘制的接口，包括了多边形绘制中的两个步骤，一个是点间连线，另一个则是区域填充。其中前者显然是较为简单的，可以直接复用绘制矩形时实现的 void DrawLine(CDC* pDC, COLORREF color, int x1, int y1, int x2, int y2)函数，以此完成点间连线的绘制。

至于第二步的区域填充，我将其单独提取为一个函数，即 void EdgeMarkFill(CDC* pDC, vector<CPoint> points)。这个函数中所使用的填充算法是边标志算法，即对每个像素访问一次。

边标志算法大体分为三个部分。首先是遍历顶点数组，得到多边形的边界值。然后是给多边形的边界打上标志，这也是这个算法中最难也最重要的一个部分。最后即是进行填充。

2.1.2 数据结构

边标志算法中也并未用到复杂的数据结构，最重要的即是 MASK 数组。MASK 数组是一个 bool 类型的二维数组，用于给像素点搭上标志，后面便根据 MASK 数组中的数据进行颜色的填充。MASK 数组是这个算法的核心之一，最后的填充质量很大程度上由其决定。

3 三维变换

3.1 绘制立方体

3.1.1 实现函数

立方体的绘制主要依靠 void DrawGraph(CDC* pDC)。这个函数主要由三大部分组成，分别是投影、绘制边界和填充各面。

首先，在投影方面，这里使用的是透视投影。这一步最关键的是坐标在坐标系间的转换，也是这一功能中最核心的部分。为了得到三维立方体在平面上的透视投影坐标，我们要先转换到观察坐标系。在得到新坐标后，便可转换到屏幕坐标系，得到透视投影后各顶点的坐标。

在得到投影后的坐标后，便可进行边界，即各条边的绘制。显然，在这一步中我们能再次复用 oid DrawLine(CDC* pDC, COLORREF color, int x1, int y1, int x2, int y2)函数。

至于最后的填充步骤，如果不上色则能够免去这一步骤。

3.1.2 数据结构

在立方体的绘制过程中，最主要的是保存顶点坐标的两个数组，即 Point viewPoints[8]和 CPoint screenPoints[8]。此外，在具体的绘制过程中，哪些点共哪个面是必须要知道的，因此含有面顶点号的数组 vector<vector<int>> mFacePoints 便显得尤为重要。

3.2 沿坐标轴方向平移

3.2.1 实现函数

实现沿坐标轴方向平移主要依靠 void DrawGraph(CDC* pDC)和 void Translate(int axis, int direction)。

void Translate(int axis, int direction)用于得到立方体平移后的坐标位置。这个函数中接受两个参数，第一个参数 axis 用于指明移动的坐标轴，即立方体是沿哪一条坐标轴移动，第二个参数 direction 则用于指明移动的方向，即立方体是沿坐标轴的正方向移动还是沿坐标轴的负方向移动。

在得到立方体平移后的坐标位置后，只要再调用一次立方体的绘制函数 void DrawGraph(CDC* pDC)，便可实现平移效果。

3.2.2 数据结构

由于平移只是依靠坐标的加减，实现较为简单，所以没有用到什么复杂的数据结构。

3.3 绕坐标轴旋转

3.3.1 实现函数

实现绕坐标轴旋转主要依靠 void DrawGraph(CDC* pDC)和 void Rotate (int axis, int direction)。

void Rotate (int axis, int direction)用于得到立方体旋转后的坐标位置。这个函数中接受两个参数，第一个参数 axis 用于指明移动的坐标轴，即立方体是绕哪一条坐标轴转动，第二个参数 direction 则用于指明转动的方向，即是绕坐标轴正向转动还是绕坐标轴负向转动。

在得到立方体旋转后的坐标位置后，只要再调用一次立方体的绘制函数 void DrawGraph(CDC* pDC)，便可实现旋转效果。

3.3.2 数据结构

由于旋转只是依靠坐标的与三角函数相乘，实现较为简单，所以没有用到什么复杂的数据结构。

4 绘制曲线

4.1 绘制 Bezier 曲线

4.1.1 实现函数

Bezier 曲线的绘制主要依靠 void DrawGraph(CDC* pDC)、void SplitBezier(CDC* pDC, vector<DoublePoint> points)、double MaxDistance(vector<DoublePoint> points)，以及 void DrawPoint(CDC* pDC)。

void DrawPoint(CDC* pDC)用于标记出鼠标点击后的位置，使用一个 5*5 的黑色实心矩形来标记 Bezier 曲线四个点的位置。因为知道矩形的中心位置和边长，只需要使用黑色实心画刷便可实现。

void DrawGraph(CDC* pDC)提供一个绘制的接口，包括了绘制 Bezier 曲线的两个步骤。第一个步骤是将 Bezier 曲线的四个点连接起来，显然，只要复用 void DrawLine(CDC* pDC, COLORREF color, int x1, int y1, int x2, int y2)即可实现。第二个步骤则是绘制 Bezier 曲线本身，我将其单独封装为了一个函数，即 void SplitBezier(CDC* pDC, vector<DoublePoint> points)。

void SplitBezier(CDC* pDC, vector<DoublePoint> points)用于计算并绘制 Bezier 曲线。我所使用的是分裂法，即通过多次分割曲线，使其逐渐逼近真实值。而算法的结束条件，即函数递归出口便是，当四个控制点之间的最大距离小于预先设定的 epsilon。至于这最大距离的具体计算则由 double MaxDistance(vector<DoublePoint> points)实现。

double MaxDistance(vector<DoublePoint> points)用于计算顶点距离底边的最大距离，通过计算两个矢量间的叉积和距离，得到两个矢量的投影长度的绝对值，并返回最大值。

4.1.2 数据结构

Bezier 曲线的绘制，其核心在于分割二字，即通过大量的计算分割逐渐逼近真实值。值得注意的是在计算时要使用 double 类型的数据，因此不能直接使用自带的 CPoint 数据类型，否则会陷入无限递归，导致爆栈。

三、采用的交互方式

1 图形绘制

1.1 绘制矩形和圆形

绘制矩形和圆形的交互方式是都是通过鼠标进行交互。以鼠标按下的位置为起始坐标，以鼠标松开的位置作为结束坐标。对于矩形来说，鼠标按下的位置和鼠标放开的位置分别为对角线上的两个顶点。对于圆形来说，鼠标按下的位置为圆心坐标，鼠标送开的 位置为圆周上一点的坐标。

用到的系统信息包括 void OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)、void OnLButtonUp(UINT nFlags, CPoint point)、void OnMouseMove(UINT nFlags, CPoint point)。

1.2 设置颜色

设置颜色主要是使用键盘输入，即输入图形线条的 RGB 值。

用到的系统信息包括 void OnSetLineColor()（鼠标点击菜单后自动跳出对话框）。

2 区域填充

2.1 绘制多边形

绘制多边形是通过鼠标点击实现，鼠标点击的位置顺序即为多边形点边的顺序。若点击“Q”键位则可进行下一个的多边形的绘制。

用到的系统信息包括 void OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)、void OnKeyDown(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags)。

2.2 设置颜色

设置颜色主要是使用键盘输入，分别输入多边形线条颜色的 RGB 值和填充颜色的 RGB 值。

用到的系统信息包括 void OnSetAreaColor()（鼠标点击菜单后自动跳出对话框）。

3 三维变换

3.1 绘制立方体

绘制立方体主要是通过键盘决定立方体的各面的颜色，即分别输入每个面的 RGB 值。

用到的系统信息包括 void OnKeyDown(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags)。

3.2 沿坐标轴方向平移和绕坐标旋转

沿坐标轴平移和绕坐标轴旋转都是靠键盘的输入来交互。在用鼠标选择好功能后，通过点击“A”和“L”键位，进行对立方体的操控，其中前者代表正方向，后者代表负方向。

用到的系统信息包括 void OnKeyDown(UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags)。

3.3 设置数据

设置数据主要是使用键盘输入，分别输入立方体的平移步长和旋转角度。

用到的系统信息包括 void OnSetData()（鼠标点击菜单后自动跳出对话框）。

4 绘制曲线

4.1 绘制 Bezier 曲线

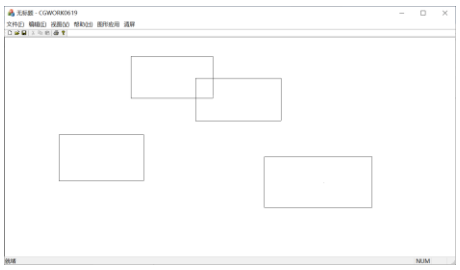
绘制 Bezier 是通过鼠标实现交互。在点击屏幕四次后，便会自动绘制出 Bezier 曲线。

用到的系统信息包括 void OnLButtonDown(UINT nFlags, CPoint point)。

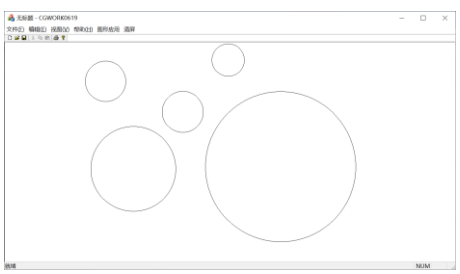
四、实验结果

1 图形绘制

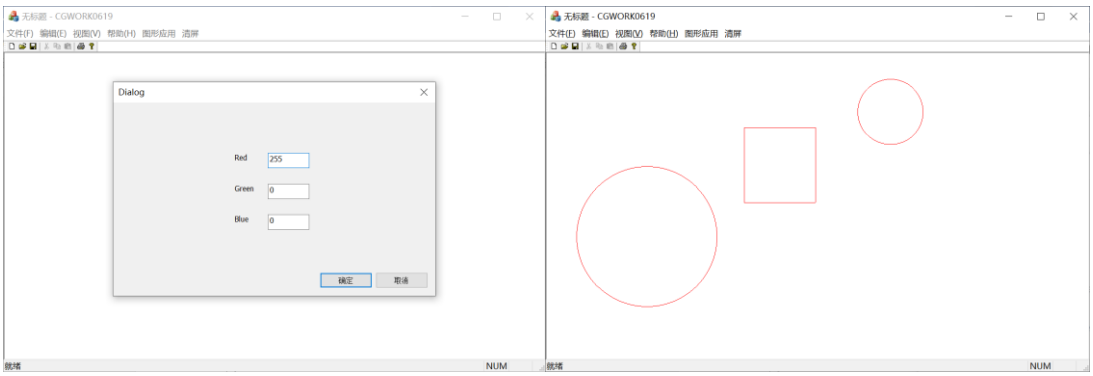
1.1 绘制矩形



1.2 绘制圆形

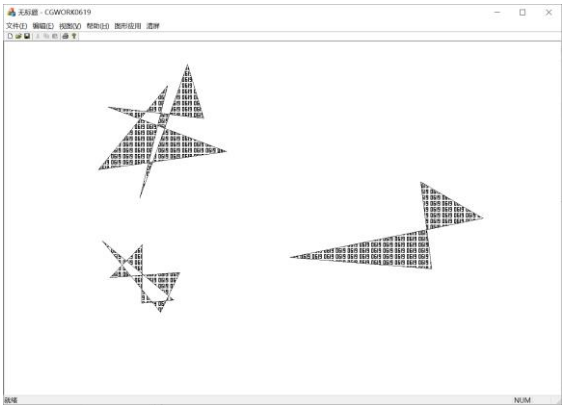


1.3 设置颜色

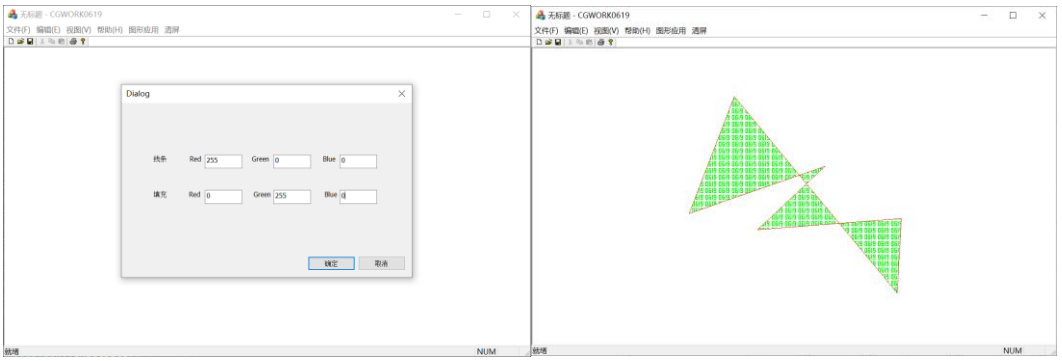


2 区域填充

2.1 绘制多边形

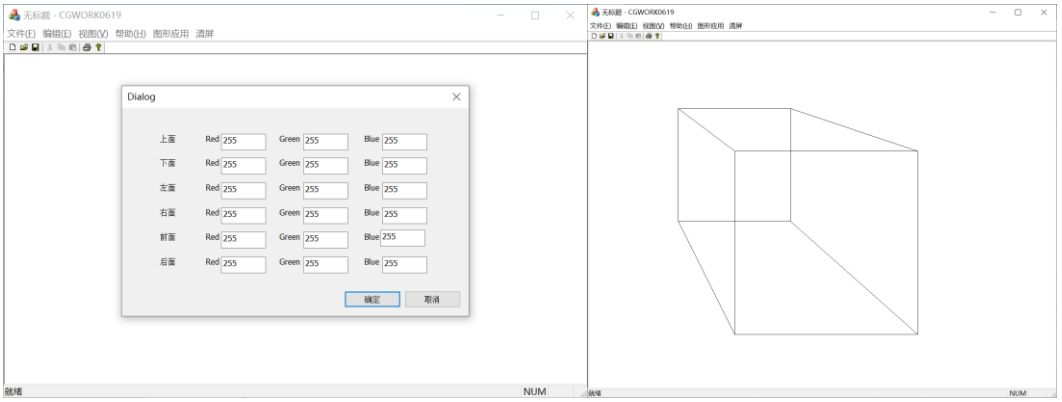


2.2 设置颜色

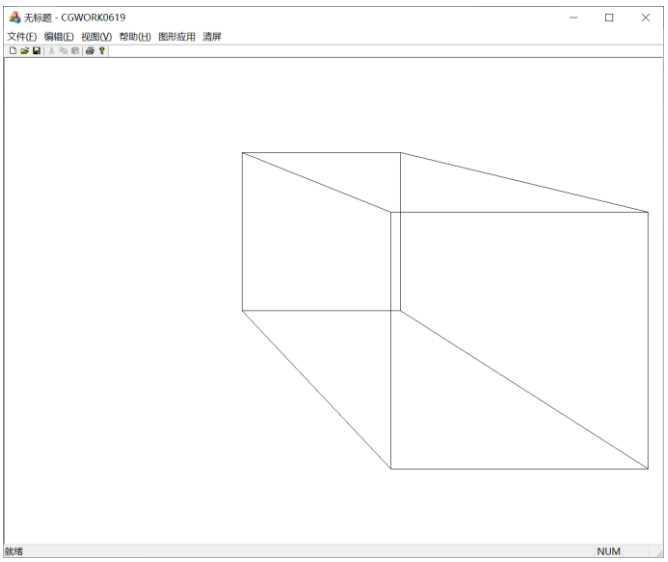


3 三维变换

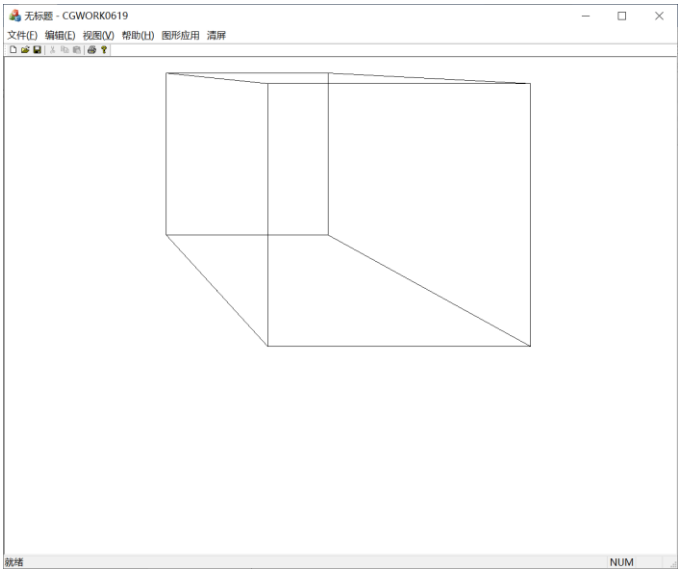
3.1 绘制立方体



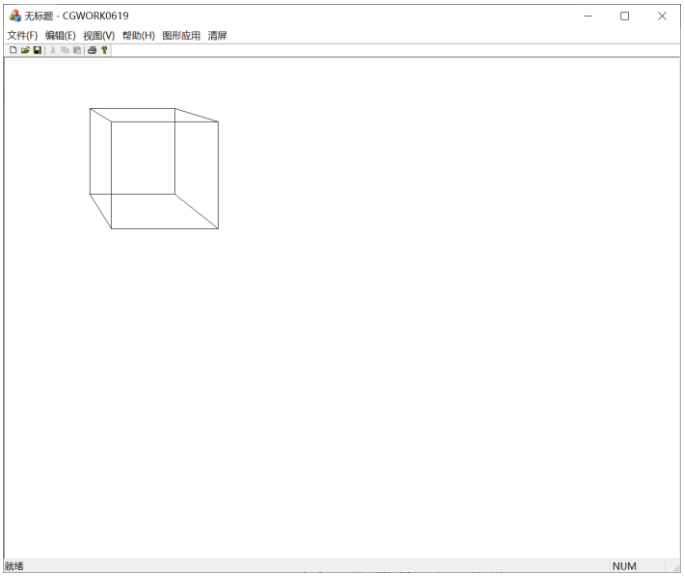
3.2 沿 x 轴方向平移



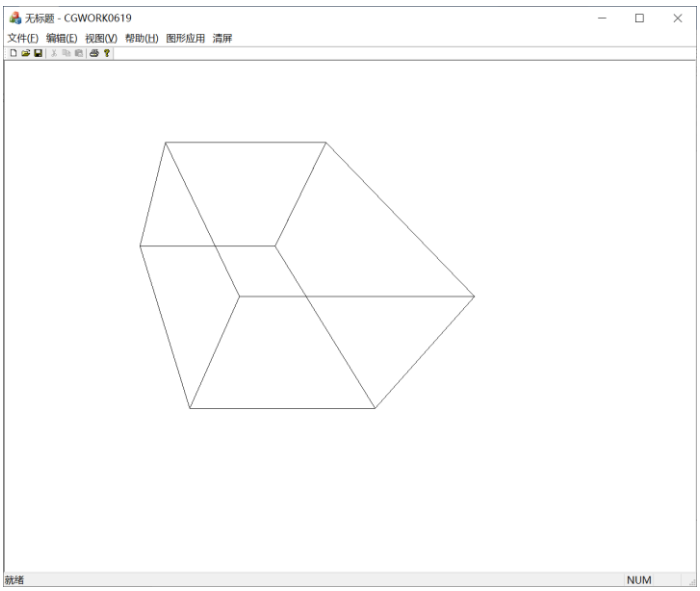
3.3 沿 y 轴方向平移



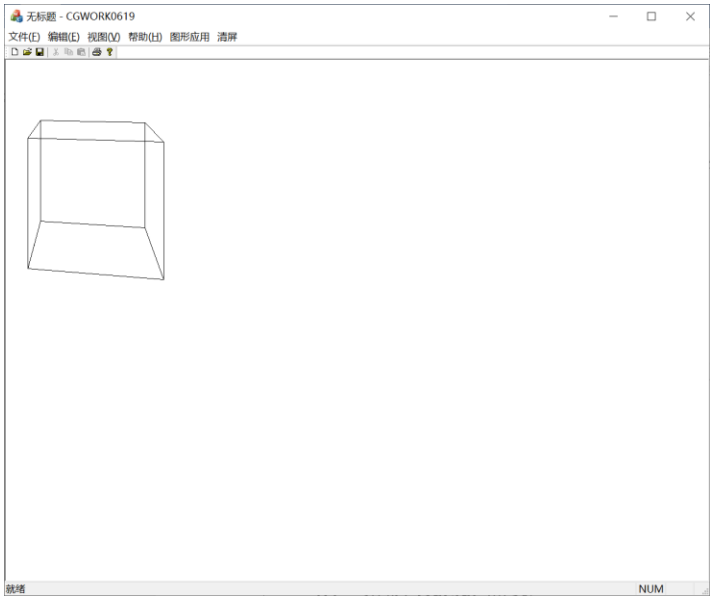
3.4 沿 z 轴方向平移



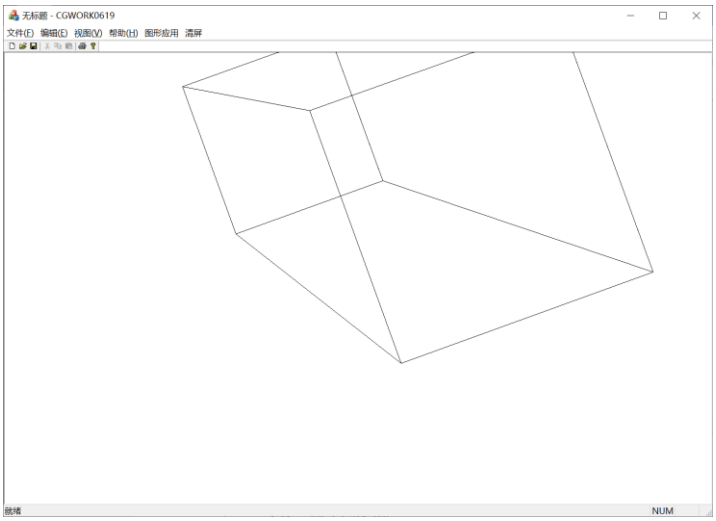
3.5 绕 x 轴旋转



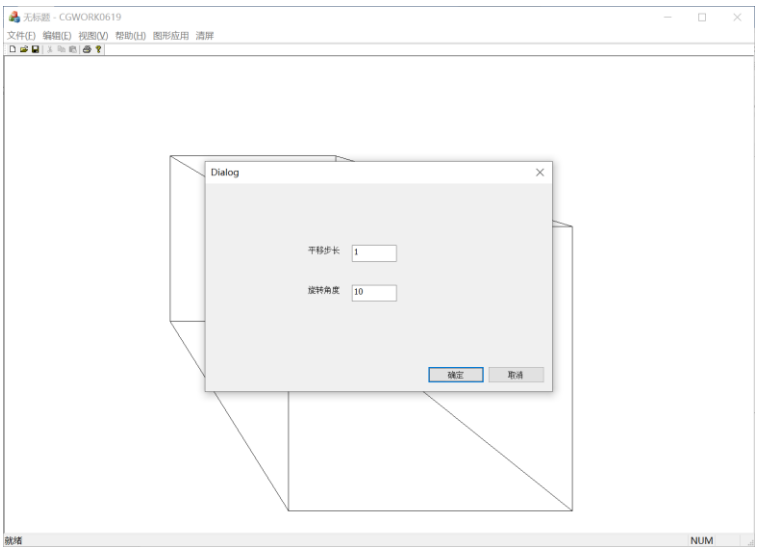
3.6 绕 y 轴旋转



3.7 绕 z 轴旋转



3.8 设置数据



4 绘制曲线

4.1 绘制 Bezier 曲线

五、遇到的问题及解决办法

在本次大作业中，我遇到了许多问题，不过真正让我焦头烂额的并不多，对于一些小问题在此便不赘述。

我遇到的第一个大问题无关图形学算法，而是 MFC 框架的使用。由于是第一次使用 MFC 进行编程，代码该写在什么位置、对话框如何显示、控件如何绑定等，一开始都一无所知。因此，在刚开始的时候，由于对 MFC 的陌生，让我无从下手。之后通过教学视频、谷歌等方式，逐渐了解了 MFC 框架，初步学习了基于 MFC 实现编程。

我所遇到的第二个大问题是改变图像颜色。当时由于将绘图模式设置为 R2_NOT，导致无法进行颜色的修改。我开始一直以为是在代码传参或其他地方出了差错，耗费了大量时间，即使使用搜索引擎也无法搜索。我一直以为是算法方面的错误，但后来请教了同学才知道并不是。由于对绘图模式较为模式，导致在思考时忽略了这一关键要素。这件事也给我上了一课，

让我明白思维惯性在思考时带来的劣势，以及在使用一个新开发工具前，应对其功能有个较为全面的认识。

以上两个问题与图形学算法本关系不大，但第三个问题确实是与图形学算法有关。在绘制立方体时，由于我立体几何数学知识较为薄弱，所以不知道如何进行透视投影，如何将三维空间中的坐标转换为透视投影的坐标。后来通过视频进行学习，这才成功实现了立方体的绘制。

最后一个问题则是 Bezier 曲线的绘制。绘制 Bezier 曲线的分裂法我是根据老师课件上的伪代码进行改写实现，但在运行时一直提示爆栈。在验证代码与老师课件确实一致后，我尝试去寻找别人在网上的开源代码，令人惊奇的是，我们的代码总体上几乎一致，也就是说我的算法因该是没有问题的。后来我将我的算法替换到此开源代码中，并略作修改，结果却是能够正常运行，对此我百思不得其解。

在思考了很久后我再次尝试分析爆栈的原因，爆栈我想多半是因为陷入了无限递归，即一直无法满足递归结束的条件，但我确信计算最大值的算法本身是没有问题的，那么问题很有可能来自数据。想到这我又再次将我的代码和开源的代码进行比较，我发现刚刚之所以能够运行成功，是因为我将控制点的数据类型由自带的 CPoint 转变为了开源代码中自定义的 Point，而 Point 成员变量就是 double x 和 double y，到这里我突然意识到可能是因为 CPoint 内部成员变量数据类型的问题，CPoint 中使用的是 int x 和 int y，然后我便自定义了 DoublePoint 结构，并将算法中的 CPoint 都用 DoublePoint 代替，问题果然得到了解决。

以上便是我在此次大作业中遇到几个的较大的问题，这几个问题耗费了我大量的时间。总体上而言，此次作业中最让我头疼的并不是图形学算法的实现，更多的是对框架的陌生，以及编程上一些不起眼但又至关重要的细节。