八年前，我正是通过学习OpenGL和C++，通过做“采蘑菇的小矮人”游戏，慢慢走上并爱上了编程。回过头来，我希望通过Python和OpenGL分享一些有趣的知识，提升您的编程兴趣，还原当时的一些记忆。

该系列文章是讲解Python OpenCV图像处理知识，前期主要讲解图像入门、OpenCV基础用法，中期讲解图像处理的各种算法，包括图像锐化算子、图像增强技术、图像分割等，后期结合深度学习研究图像识别、图像分类应用。希望文章对您有所帮助，如果有不足之处，还请海涵~

前面一篇文章详细讲解了图像分类原理，并介绍基于KNN、朴素贝叶斯算法的图像分类案例。这篇文章是介绍Python和OpenGL的入门知识，包括安装、语法、基本图形绘制等。基础性文章，希望对你有所帮助。同时，该部分知识均为杨秀璋查阅资料撰写，转载请署名CSDN+杨秀璋及原地址出处，谢谢！！

该系列在github所有源代码：https://github.com/eastmountyxz/ImageProcessing-Python

前文参考：
[Python图像处理] 一.图像处理基础知识及OpenCV入门函数
[Python图像处理] 二.OpenCV+Numpy库读取与修改像素
[Python图像处理] 三.获取图像属性、兴趣ROI区域及通道处理
[Python图像处理] 四.图像平滑之均值滤波、方框滤波、高斯滤波及中值滤波
[Python图像处理] 五.图像融合、加法运算及图像类型转换
[Python图像处理] 六.图像缩放、图像旋转、图像翻转与图像平移
[Python图像处理] 七.图像阈值化处理及算法对比
[Python图像处理] 八.图像腐蚀与图像膨胀
[Python图像处理] 九.形态学之图像开运算、闭运算、梯度运算
[Python图像处理] 十.形态学之图像顶帽运算和黑帽运算
[Python图像处理] 十一.灰度直方图概念及OpenCV绘制直方图
[Python图像处理] 十二.图像几何变换之图像仿射变换、图像透视变换和图像校正
[Python图像处理] 十三.基于灰度三维图的图像顶帽运算和黑帽运算
[Python图像处理] 十四.基于OpenCV和像素处理的图像灰度化处理
[Python图像处理] 十五.图像的灰度线性变换
[Python图像处理] 十六.图像的灰度非线性变换之对数变换、伽马变换
[Python图像处理] 十七.图像锐化与边缘检测之Roberts算子、Prewitt算子、Sobel算子和Laplacian算子
[Python图像处理] 十八.图像锐化与边缘检测之Scharr算子、Canny算子和LOG算子
[Python图像处理] 十九.图像分割之基于K-Means聚类的区域分割
[Python图像处理] 二十.图像量化处理和采样处理及局部马赛克特效
[Python图像处理] 二十一.图像金字塔之图像向下取样和向上取样
[Python图像处理] 二十二.Python图像傅里叶变换原理及实现
[Python图像处理] 二十三.傅里叶变换之高通滤波和低通滤波

[Python图像处理] 二十四.图像特效处理之毛玻璃、浮雕和油漆特效
[Python图像处理] 二十五.图像特效处理之素描、怀旧、光照、流年以及滤镜特效
[Python图像处理] 二十六.图像分类原理及基于KNN、朴素贝叶斯算法的图像分类案例

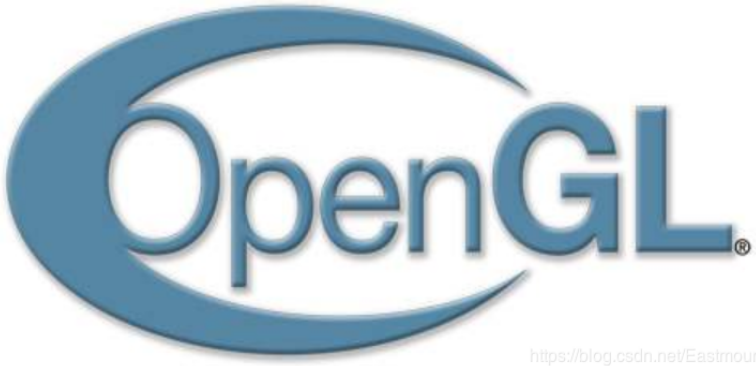
文章目录

一.OpenGL入门知识

1.什么是OpenGL

OpenGL(Open Graphics Library，译为“开放式图形库”) 是用于渲染2D、3D矢量图形的跨语言、跨平台的应用程序编程接口（API）。这个接口由近350个不同的函数调用组成，用来绘制从简单的图形元件到复杂的三维景象。OpenGL常用于CAD、虚拟现实、科学可视化程序和电子游戏开发。

OpenGL可用于设置所需的对象、图像和操作，以便开发交互式的3维计算机图形应用程序。OpenGL被设计为一个现代化的、硬件无关的接口，因此我们可以在不考虑计算机操作系统或窗口系统的前提下，在多种不同的图形硬件系统上，或者完全通过软件的方式实现OpenGL的接口。OpenGL的高效实现（利用了图形加速硬件）存在于Windows，部分UNIX平台和Mac OS。这些实现一般由显示设备厂商提供，而且非常依赖于该厂商提供的硬件。



OpenGL规范由1992年成立的OpenGL架构评审委员会（ARB）维护。ARB由一些对创建一个统一的、普遍可用的API特别感兴趣的公司组成。到了今天已经发布了非常多的OpenGL版本，以及大量构建于OpenGL之上以简化应用程序开发过程的软件库。这些软件库大量用于视频游戏、科学可视化和医学软件的开发，或者只是用来显示图像。

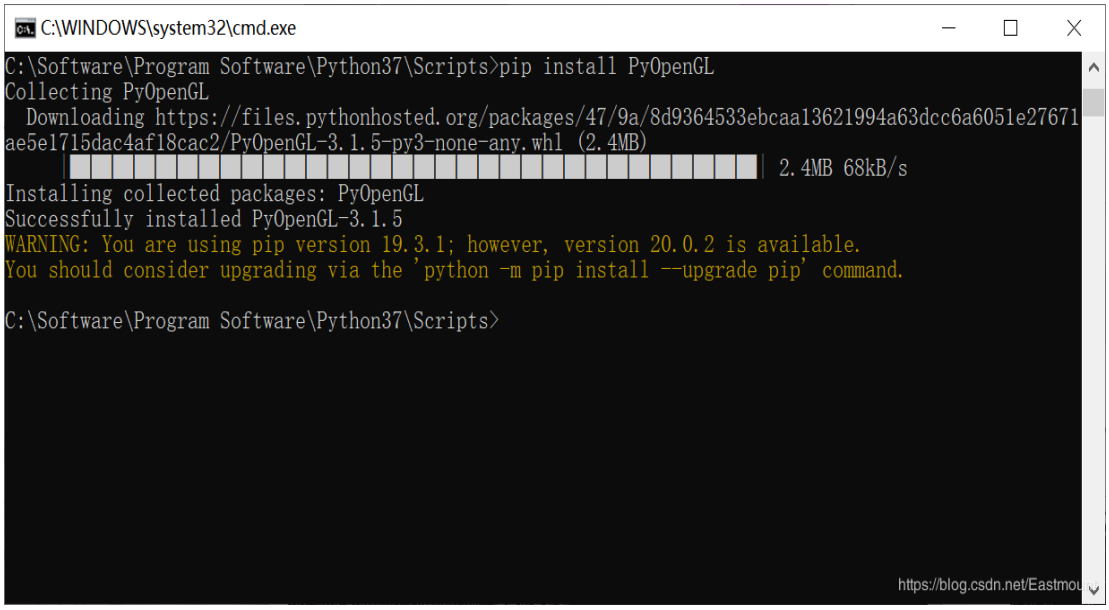
一个用来渲染图像的OpenGL程序需要执行的主要操作如下：

- 从OpenGL的几何图元中设置数据，用于构建形状
- 使用不同的着色器（shader）对输入的图元数据执行计算操作，判断它们的位置、颜色，以及其他渲染属性
- 将输入图元的数学描述转换为与屏幕位置对应的像素片元（fragment），这一步也称作光栅化（rasterization）
- 最后，针对光栅化过程产生的每个片元，执行片元着色器（fragment shader），从而决定这个片元的最终颜色和位置
- 如果有必要，还需要对每个片元执行一些额外的操作，例如判断片元对应的对象是否可见，或者将片元的颜色与当前屏幕位置的颜色进行融合

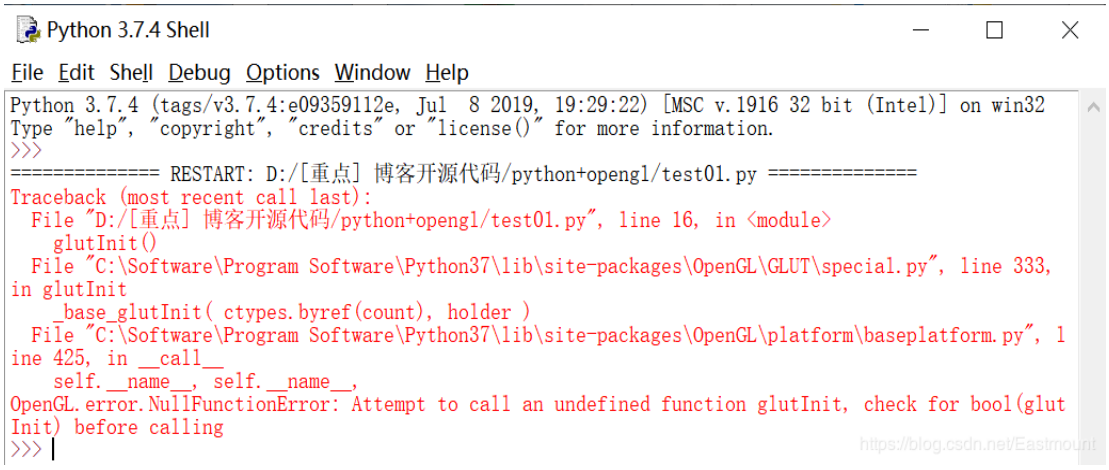
2.OpenGL安装

作者的电脑环境为Win10+Python3.7，打开CMD调用pip工具进行安装，如下图所示。

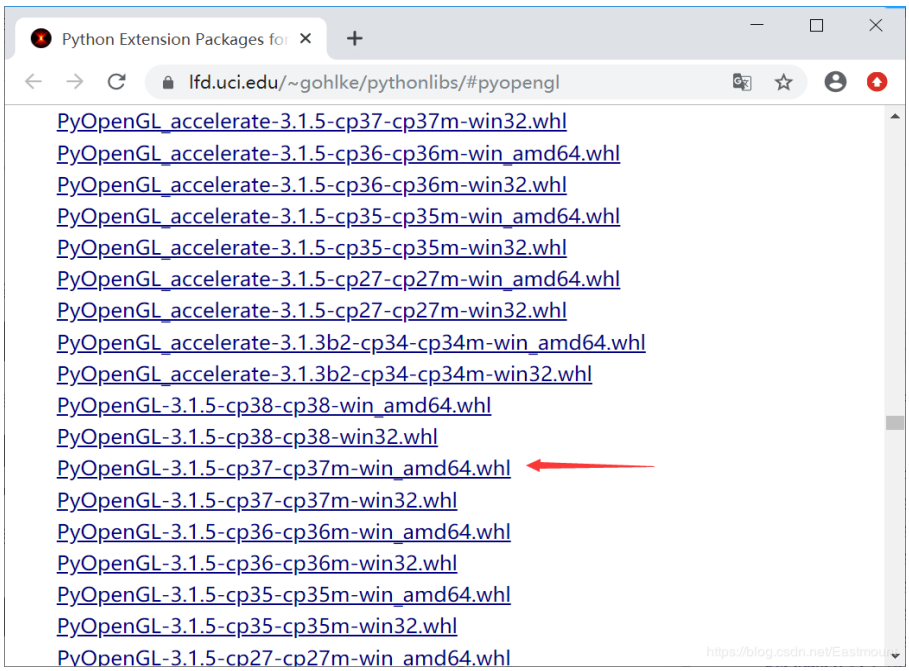
```
cd C:\Software\Program Software\Python37\Scripts
pip install pyopengl
```



但通常安装成功之后，运行代码会报错“OpenGL.error.NullFunctionError: Attempt to call an undefined function glutInit, check for bool(glutInit) before calling”。

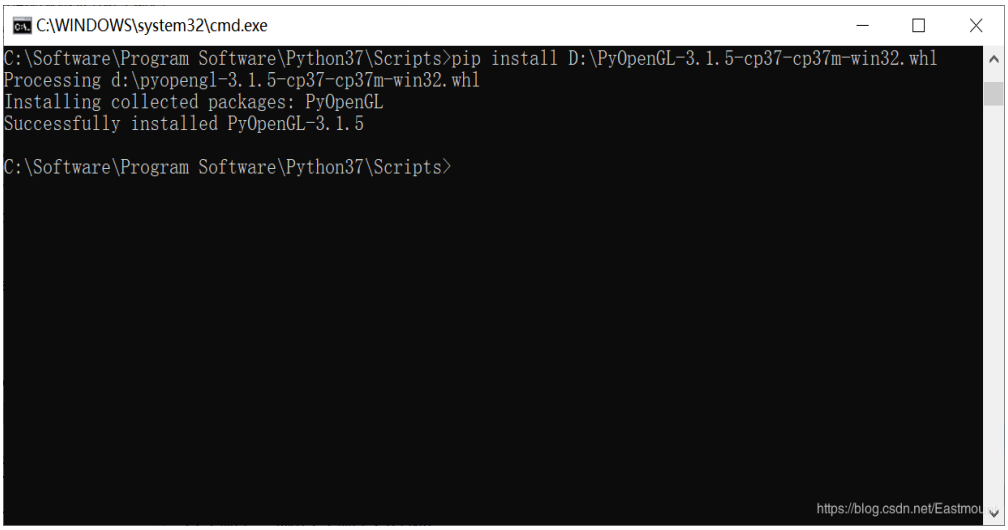


据说是pip默认安装的是32位版本的pyopengl，而作者的操作系统是64位。网上很多大牛会去 “https://www.lfd.uci.edu/~gohlke/pythonlibs/#pyopengl” 网站下载适合自己的版本。比如Python3.7且64位操作系统。



安装流程如下所示：

```
pip install D:\PyOpenGL-3.1.5-cp37-cp37m-win_amd64.whl
pip install D:\PyOpenGL-3.1.5-cp37-cp37m-win32.whl
```



写到这里，我们Python的OpenGL库就安装成功了！

二.OpenGL入门程序

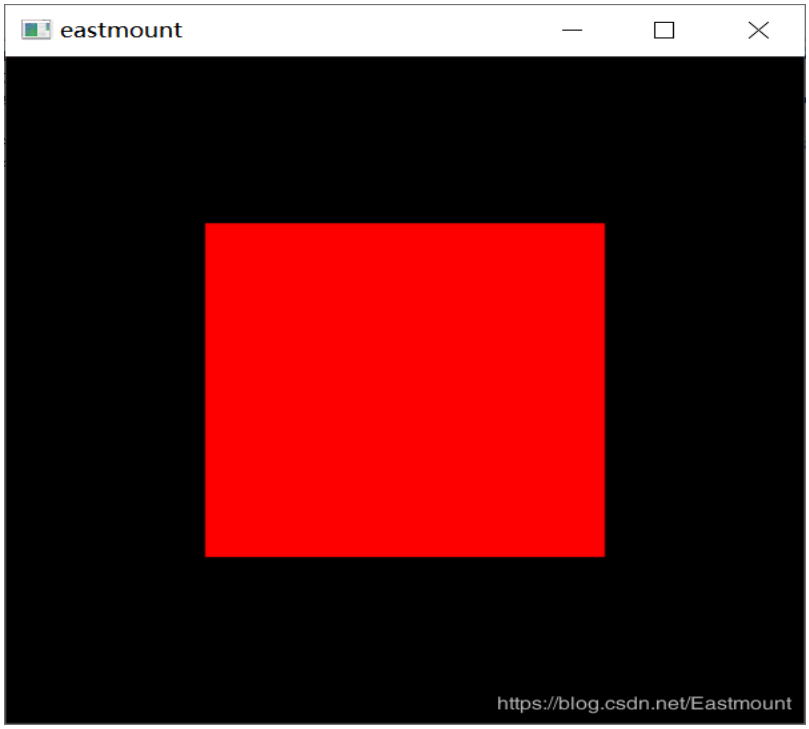
我们首先介绍两个入门代码，然后再进行深入的讲解。

1.OpenGL绘制正方形

完整代码如下：

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from OpenGL.GL import *
from OpenGL.GLU import *
from OpenGL.GLUT import *

# 绘制图像函数
def display():
    # 清除屏幕及深度缓存
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT|GL_DEPTH_BUFFER_BIT)
    # 设置红色
    glColor3f(1.0, 0.0, 0.0)
    # 开始绘制四边形
    glBegin(GL_QUADS)
    # 绘制四个顶点
    glVertex3f(-0.5, -0.5, 0.0)
    glVertex3f(0.5, -0.5, 0.0)
    glVertex3f(0.5, 0.5, 0.0)
    glVertex3f(-0.5, 0.5, 0.0)
    # 结束绘制四边形
    glEnd()
    # 清空缓冲区并将指令送往硬件执行
    glFlush()

# 主函数
if __name__ == "__main__":
    # 使用glut库初始化OpenGL
    glutInit()
    # 显示模式 GLUT_SINGLE无缓冲直接显示|GLUT_RGBA采用RGB(A非alpha)
    glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA)
    # 设置窗口位置大小
    glutInitWindowSize(400, 400)
    # 创建窗口
    glutCreateWindow("eastmount")
    # 调用display()函数绘制图像
    glutDisplayFunc(display)
    # 进入glut主循环
    glutMainLoop()
```

运行结果如下图所示:



核心步骤如下：

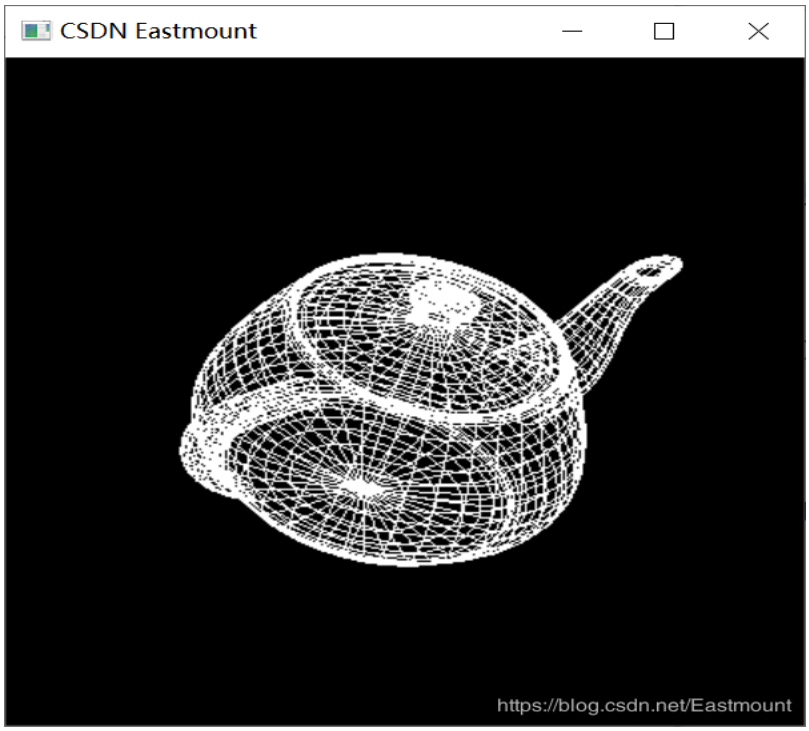
- **主函数使用glut库初始化OpenGL**
  glutInit()
- **设置显示模式并初始化glut窗口（画布）**
  glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA)
  glutInitWindowSize(400, 400)
  glutCreateWindow(“eastmount”)
- **注册绘制图像的回调函数，如display()**
  glutDisplayFunc(display)
- **绘制图像display函数，包括清除画布、设置颜色、绘制图元、设置定点、结束绘制、刷新执行**
  glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT|GL_DEPTH_BUFFER_BIT)
  glColor3f(1.0, 0.0, 0.0)
  glBegin(GL_QUADS)
  glVertex3f(-0.5, -0.5, 0.0)
  glVertex3f(0.5, -0.5, 0.0)
  glVertex3f(0.5, 0.5, 0.0)
  glVertex3f(-0.5, 0.5, 0.0)
  glEnd()
  glFlush()
- **进入glut主循环**
  glutMainLoop()

2.OpenGL绘制水壶

接着补充一段经典的水壶代码，所有计算机试卷、计算机图形学、3D图像领域都会绘制它。

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from OpenGL.GL import *
from OpenGL.GLU import *
from OpenGL.GLUT import *

# 绘制图像函数
def drawFunc():
    # 清除屏幕及深度缓存
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT|GL_DEPTH_BUFFER_BIT)
    # 设置绕轴旋转(角度,x,y,z)
    glRotatef(0.1, 5, 5, 0)

    # 绘制实心茶壶
    # glutSolidTeapot(0.5)
    # 绘制线框茶壶
    glutWireTeapot(0.5)

    # 刷新显示图像
    glFlush()

# 主函数
if __name__ == "__main__":
    # 使用glut库初始化OpenGL
    glutInit()
    # 显示模式 GLUT_SINGLE无缓冲直接显示|GLUT_RGBA采用RGB(A非alpha)
    glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA)
    # 设置窗口位置及大小
    glutInitWindowPosition(0, 0)
    glutInitWindowSize(400, 400)
    # 创建窗口
    glutCreateWindow("CSDN Eastmount")
    # 调用display()函数绘制图像
    glutDisplayFunc(drawFunc)
    # 设置全局的回调函数
    # 当没有窗口事件到达时,GLUT程序功能可以执行后台处理任务或连续动画
    glutIdleFunc(drawFunc)
    # 进入glut主循环
    glutMainLoop()
```

运行结果如下图所示，它主要调用glutSolidTeapot(0.5)函数绘制实现实心茶壶，glutWireTeapot(0.5)函数绘制线框茶壶。



> 注意，glut提供了一些现成的绘制立体的API，如glutWireSphere绘制球、glutWireCone绘制椎体、glutWireCube绘制立体、glutWireTorus绘制甜圈、glutWireTeapot绘制茶壶、glutWireOctahedron绘制八面体，请读者自行提升。

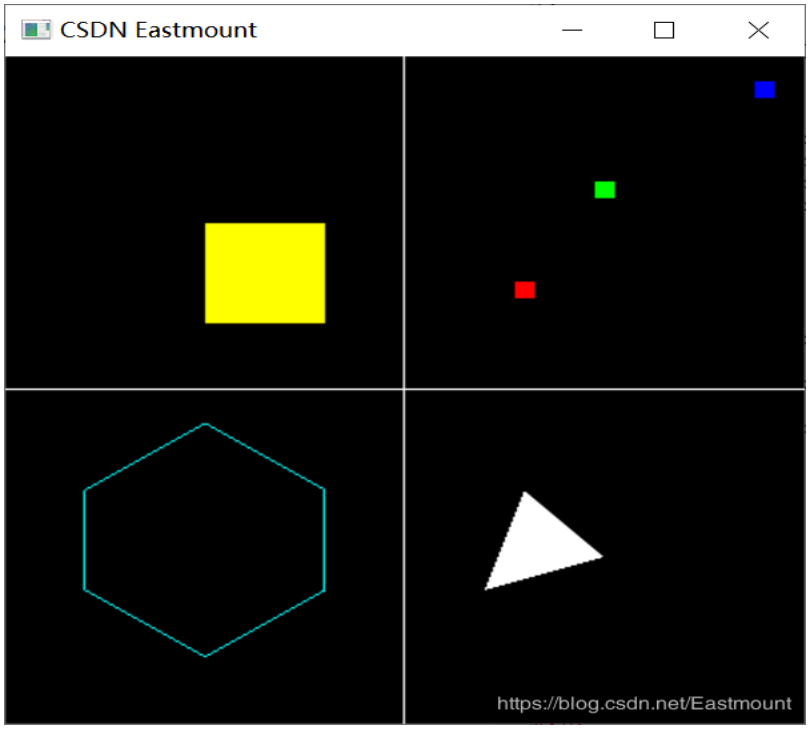
3.OpenGL绘制多个图形

接下来绘制一个坐标系，并分别绘制四个图形，设置不同颜色，代码如下所示。

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from OpenGL.GL import *
from OpenGL.GLU import *
from OpenGL.GLUT import *

# 绘制图像函数
def display():
    # 清除屏幕及深度缓存
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT|GL_DEPTH_BUFFER_BIT)

    # 绘制线段
    glBegin(GL_LINES)
    glVertex2f(-1.0, 0.0)       # 左下角顶点
    glVertex2f(1.0, 0.0)        # 右下角顶点
    glVertex2f(0.0, 1.0)        # 右上角顶点
    glVertex2f(0.0, -1.0)       # 左上角顶点
    glEnd()

    # 绘制顶点
    glPointSize(10.0)
    glBegin(GL_POINTS)
    glColor3f(1.0, 0.0, 0.0)    # 红色
    glVertex2f(0.3, 0.3)
    glColor3f(0.0, 1.0, 0.0)    # 绿色
    glVertex2f(0.5, 0.6)
    glColor3f(0.0, 0.0, 1.0)    # 蓝色
    glVertex2f(0.9, 0.9)
    glEnd()

    # 绘制四边形
    glColor3f(1.0, 1.0, 0)
    glBegin(GL_QUADS)
    glVertex2f(-0.2, 0.2)
    glVertex2f(-0.2, 0.5)
    glVertex2f(-0.5, 0.5)
    glVertex2f(-0.5, 0.2)
    glEnd()

    # 绘制多边形
    glColor3f(0.0, 1.0, 1.0)
    glPolygonMode(GL_FRONT, GL_LINE)
    glPolygonMode(GL_BACK, GL_FILL)
    glBegin(GL_POLYGON)
    glVertex2f(-0.5, -0.1)
    glVertex2f(-0.8, -0.3)
    glVertex2f(-0.8, -0.6)
    glVertex2f(-0.5, -0.8)
```

```
    glVertex2f(-0.2, -0.6)
    glVertex2f(-0.2, -0.3)
    glEnd()

    # 绘制三角形
    glColor3f(1.0, 1.0, 1.0)
    glPolygonMode(GL_FRONT, GL_FILL)
    glPolygonMode(GL_BACK, GL_LINE)
    glBegin(GL_TRIANGLES)
    glVertex2f(0.5, -0.5)
    glVertex2f(0.3, -0.3)
    glVertex2f(0.2, -0.6)

    # 结束绘制四边形
    glEnd()
    # 清空缓冲区并将指令送往硬件执行
    glFlush()

# 主函数
if __name__ == "__main__":
    # 使用glut库初始化OpenGL
    glutInit()
    # 显示模式 GLUT_SINGLE无缓冲直接显示|GLUT_RGBA采用RGB(A非alpha)
    glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA)
    # 设置窗口位置及大小
    glutInitWindowSize(400, 400)
    glutInitWindowPosition(500, 300)
    # 创建窗口
    glutCreateWindow("CSDN Eastmount")
    # 调用display()函数绘制图像
    glutDisplayFunc(display)
    # 进入glut主循环
    glutMainLoop()
```

输出结果如下图所示:



4.OpenGL绘图代码及原理详解

该部分将详细讲解上面三段代码的核心知识，帮助大家巩固基础。作者让大家先看代码及其运行效果，从而提升OpenGL编程兴趣，再深入分析其原理，这种倒叙的方式希望您们喜欢。

(1) 核心函数

上述代码中，以glut开头的函数都是GLUT工具包所提供的函数。

- glutInit()：对GLUT进行初始化，该函数必须在其它的GLUT使用之前调用一次。其格式比较死板，一般glutInit()直接调用即可。
- glutInitDisplayMode()：设置显示方式，其中GLUT_RGB表示使用RGB颜色，与之对应的是GLUT_INDEX（表示使用索引颜色）；GLUT_SINGLE表示使用单缓冲，与之对应的是GLUT_DOUBLE（表示使用双缓冲）。更多参数请读者阅读官方网站或Google。
- glutInitWindowPosition()：设置窗口在屏幕中的位置。
- glutInitWindowSize()：设置窗口的大小，两个参数表示长度和宽度。
- glutCreateWindow()：根据当前设置的信息创建窗口，参数将作为窗口的标题。需要注意的是，当窗口被创建后，并不是立即显示到屏幕上，需要调用glutMainLoop()才能看到窗口。
- glutDisplayFunc()：设置一个函数，当需要进行画图时，这个函数就会被调用，通常用来调用绘制图形函数。

- glutMainLoop()：进行一个消息循环，大家需要知道这个函数可以显示窗口，并且等待窗口关闭后才会返回。

以gl开头的函数都是OpenGL的标准函数。

- glClear()：清除，其中参数GL_COLOR_BUFFER_BIT表示清除颜色，GL_DEPTH_BUFFER_BIT表示清除深度。
- glRectf()：画一个矩形，四个参数分别表示位于对角线上的两个点的横、纵坐标。
- glFlush()：刷新显示图像，保证前面的OpenGL命令立即执行，而不是让它们在缓冲区中等待。
- OpenGL要求指定顶点的命令（glVertex2f）必须包含在glBegin()函数和glEnd()函数之间执行。

(2) 绘制顶点

顶点（vertex）是 OpengGL 中非常重要的概念，描述线段、多边形都离不开顶点。它们都是以glVertex开头，后面跟一个数字和1~2个字母，比如：

- glVertex2d
- glVertex2f
- glVertex3f
- glVertex3fv

数字表示参数的个数，2表示有2个参数（xy坐标），3表示三个（xyz坐标），4表示四个（齐次坐标 w）。字母表示参数的类型，s表示16位整数（OpenGL中将这个类型定义为GLshort），i表示32位整数（OpenGL中将这个类型定义为GLint和GLsizei），f表示32为浮点数（OpenGL中将这个类型定义为GLfloat和GLclampf），d表示64位浮点数（OpenGL中将这个类型定义为GLdouble和GLclampd）。例如：

- glVertex2i(1, 3)
- glVertex2f(1.0, 3.0)
- glVertex3f(1.0, 3.0, 1.0)
- glVertex4f(1.0, 3.0, 0.0, 1.0)

注意，OpenGL中很多函数都采用这种形式命名。

(3) 设置颜色

在OpenGL中，设置颜色函数以glColor开头，后面跟着参数个数和参数类型。参数可以

是0到255之间的无符号整数，也可以是0到1之间的浮点数。三个参数分别表示RGB分量，第四个参数表示透明度（其实叫不透明度更恰当）。以下最常用的两个设置颜色的方法：

- glColor3f(1.0，0.0，0.0) #红色
- glColor3f(0.0，1.0，0.0) #绿色
- glColor3f(0.0，0.0，1.0) #蓝色
- glColor3f(1.0，1.0，1.0) #白色
- glColor4f(0.0，1.0，0.0，0.0) #红色且不透明度
- glColor3ub(255, 0, 0) #红色

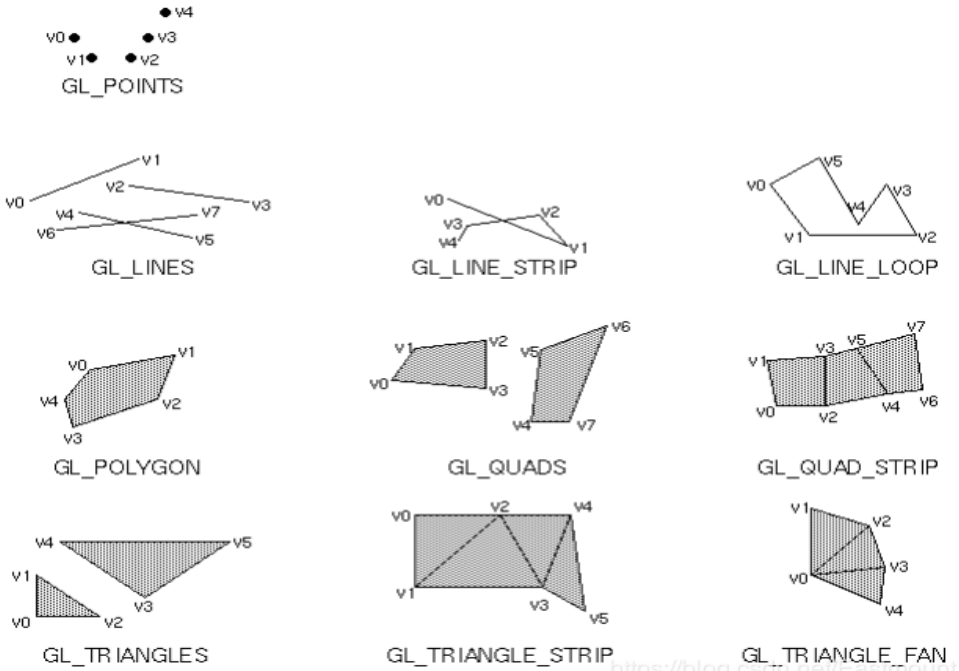
注意，OpenGL是使用状态机模式，颜色是一个状态变量，设置颜色就是改变这个状态变量并一直生效，直到再次调用设置颜色的函数。除了颜色，OpenGL 还有很多的状态变量或模式。

(4) 绘制基本图形

前面我们介绍了各种图像，下表展示了常见的图像元件。

- GL_POINTS：绘制顶点
- GL_LINES：绘制线段
- GL_LINE_STRIP：绘制连续线段
- GL_LINE_LOOP：绘制闭合的线段
- GL_POLYGON：绘制多边形
- GL_TRIANGLES：绘制三角形
- GL_TRIANGLE_STRIP：绘制连续三角形
- GL_TRIANGLE_FAN：绘制多个三角形组成的扇形
- GL_QUADS：绘制四边形
- GL_QUAD_STRIP：绘制连续四边形

详见下图所示。



三.OpenGL基础知识

在深入学习OpenGL之前，我们有必要了解一些最常用的图形学名词、OpenGL原理和语法。

1.OpenGL语法

OpenGL程序的基本结构通常包括——初始化物体渲染所对应的状态、设置需要渲染的物体。渲染（render）表示计算机从模型创建最终图像的过程，OpenGL只是其中一种渲染系统。模型（model）或者场景对象是通过几何图元，比如点、线和三角形来构建的，而图元与模型的顶点（vertex）也存在着各种对应的关系。

OpenGL另一个最本质的概念叫着色器，它是图形硬件设备所执行的一类特色函数。可以将着色器理解为专为图形处理单元（GPU）编译的一种小型程序。在OpenGL中，会用到始终不同的着色阶段（shader stage），最常用的包括顶点着色器（vertex shader）以及片元着色器，前者用于处理顶点数据，后者用于处理光栅化后的片元数据。所有的OpenGL程序都需要用到这两类着色器。最终生成的图像包含了屏幕上绘制的所有像素点。像素（pixel）是显示器上最小的可见单元。计算机系统将所有的像素保存到帧缓存（framebuffer）当中，后者是由图形硬件设备管理的一块独立内存区域，可以直接映射到最终的显示设备上。

正如前面您看到的，OpenGL库中所有的函数都会以字符“gl”作为前缀，然后是一个或者多个大写字母开头的词组，以此来命令一个完整的函数（例如glBindVertexArray()）。OpenGL的所有函数都是这种格式，上面看到的“glut”开头的函数，它们来自第三方库OpenGL Utility Toolkit（GLUT），可以用来显示窗口、管理用户输入以及执行其他一些操作。

与函数命名约定类似，OpenGL库中定义的常量也是GL_COLOR_BUFFER_BIT的形式，常量以GL_作为前缀，并且使用下划线来分割单词。这些常量的定义是通过#define来完成的，它们基本可以在OpenGL的头文件glcorearb.h和glext.h中找到。

为了能够方便地在不同的操作系统之间移植OpenGL程序，它还为函数定义了不同的数据类型，例如GLfloat是浮点数类型。此外，比如glVertex*()的函数，它有多种变化形式，如glVertex2d、glVertex2f。在函数名称的“核心”部分之后，通过后缀的变化来提示函数应当传入的参数，通常由一个数字和1~2个字母组成。glVertex2f()中的“2”表示需要传入2个参数，f表示浮点数。

后缀	数据类型	通常对应的 C 语言数据类型	OpenGL 类型定义
b	8 位整型	signed char	GLbyte
s	16 位整型	signed short	GLshort
i	32 位整型	int	GLint、GLsizei
f	32 位浮点型	float	GLfloat、GLclampf
d	64 位浮点型	double	GLdouble、GLclampd
ub	8 位无符号整型	unsigned char	GLubyte
us	16 位无符号整型	unsigned short	GLushort
ui	32 位无符号整型	unsigned int	GLuint、GLenum、GLbitfield

2.老式OpenGL vs 现代OpenGL

(1) 老式OpenGL

在大多数计算机图形系统中，绘图的方式是将一些顶点发送给处理管线，管线由一系列

功能模块互相连接而成。最近，OpenGL应用编程接口（API）从固定功能的图形管线转换为可编程的图形管线。

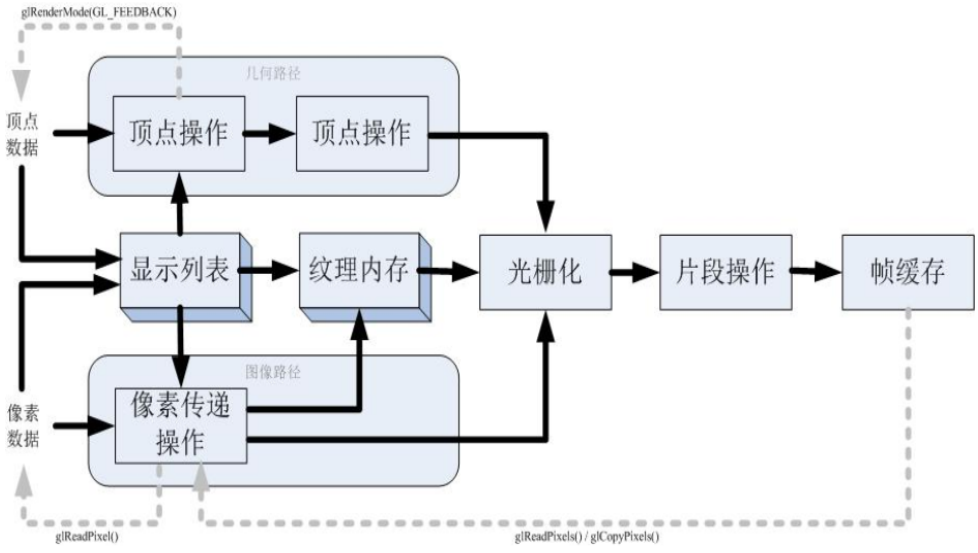
如下图绘制正方形的代码，它使用的是老式OpenGL，要为三维图元（在这个代码中，是一个GL_QUADS即矩形）指定各个顶点，但随后每个顶点需要被分别发送到GPU，**这是低效的方式。** 这种老式编程模式伸缩性不好，如果几何图形变得复杂，程序就会很慢。对于屏幕上的顶点和像素如何变换，它只提供了有限的控制。

后续我们将专注于现代的OpenGL，但是网络上也会有老式OpenGL的例子。

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from OpenGL.GL import *
from OpenGL.GLU import *
from OpenGL.GLUT import *

# 绘制图像函数
def display():
    # 清除画面
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT|GL_DEPTH_BUFFER_BIT)
    # 设置红色
    glColor3f(1.0, 0.0, 0.0)
    # 开始绘制四边形
    glBegin(GL_QUADS)
    # 绘制四个顶点
    glVertex3f(-0.5, -0.5, 0.0)
    glVertex3f(0.5, -0.5, 0.0)
    glVertex3f(0.5, 0.5, 0.0)
    glVertex3f(-0.5, 0.5, 0.0)
    # 结束绘制四边形
    glEnd()
    # 清空缓冲区并将指令送往硬件执行
    glFlush()

# 主函数
if __name__ == "__main__":
    # 使用glut库初始化OpenGL
    glutInit()
    # 显示模式 GLUT_SINGLE无缓冲直接显示|GLUT_RGBA采用RGB(A非alpha)
    glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA)
    # 设置窗口位置大小
    glutInitWindowSize(400, 400)
    # 创建窗口
    glutCreateWindow("eastmount")
    # 调用display()函数绘制图像
    glutDisplayFunc(display)
    # 进入glut主循环
    glutMainLoop()
```


(2) 现代OpenGL

现代OpenGL利用一系列的操作，即通过“三维图形管线”绘制图形，其基本流程如下图所示。



OpenGL管线

简化三维图形管线分为6步：

- **三维几何图形定义（VBO等）。** 在第一步，通过定义在三维空间中的三角形的顶点，并指定每个顶点相关联的颜色，我们定义了三维几何图形。
- **顶点着色器。** 接下来，变换这些顶点：第一次变换将这些顶点放在三维空间中，第二次变换将三维坐标投影到二维空间。根据照明等因素，对应顶点的颜色值也在这一步中计算，这在代码中通常称为“顶点着色器”。
- **光栅化。** 将几何图形“光栅化”（从几何物体转换为像素）。
- **片段着色器。** 针对每个像素，执行另一个名为“片段着色器”的代码块。正如顶点着色器作用于三维顶点，片段着色器作用于光栅化后的二维像素。
- **帧缓冲区操作（深度测试、混合等）。** 最后，像素经过一系列帧缓冲区操作，其中，它经过“深度缓冲区检验”（检查一个片段是否遮挡另一个）、“混合”（用透明度混合两个片段）以及其他操作，其当前的颜色与帧缓冲区中该位置已有的颜色结合。
- **帧缓冲区。** 这些变化最终体现在最后的帧缓冲区上，通常显示在屏幕上。

PS：该部分参考Mahesh Venkitachalam大神编写的《Python极客项目编程》，代码可以查看：https://github.com/electronut/pp

---

3.OpenGL绘制时钟

最后补充“xiaoge2016老师”的一段趣味代码，通过OpenGL绘制时钟，注意它是跳动的。

```
# -*- coding: utf-8 -*-
from OpenGL.GL import *
from OpenGL.GLU import *
from OpenGL.GLUT import *
import math
import time

h = 0
m = 0
s = 0

# 绘制图像函数
def Draw():
    PI = 3.1415926
    R = 0.5
    TR = R - 0.05
    glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT)
```

```
        glLineWidth(5)
        glBegin(GL_LINE_LOOP)
        for i in range(100):
            glVertex2f(R * math.cos(2 * PI / 100 * i), R * math.sin(2 * PI /
        glEnd()
        glLineWidth(2)
        for i in range(100):
            glBegin(GL_LINES)
            glVertex2f(TR * math.sin(2 * PI / 12 * i), TR * math.cos(2 * PI ,
            glVertex2f(R * math.sin(2 * PI / 12 * i), R * math.cos(2 * PI / 1
            glEnd()
        glLineWidth(1)

        h_Length = 0.2
        m_Length = 0.3
        s_Length = 0.4
        count = 60.0
        s_Angle = s / count
        count *= 60
        m_Angle = (m * 60 + s) / count
        count *= 12
        h_Angle = (h * 60 * 60 + m * 60 + s) / count
        glLineWidth(1)
        glBegin(GL_LINES)
        glVertex2f(0.0, 0.0)
        glVertex2f(s_Length * math.sin(2 * PI * s_Angle), s_Length * math.cos
        glEnd()
        glLineWidth(5)
        glBegin(GL_LINES)
        glVertex2f(0.0, 0.0)
        glVertex2f(h_Length * math.sin(2 * PI * h_Angle), h_Length * math.cos
        glEnd()
        glLineWidth(3)
        glBegin(GL_LINES)
        glVertex2f(0.0, 0.0)
        glVertex2f(m_Length * math.sin(2 * PI * m_Angle), m_Length * math.cos
        glEnd()
        glLineWidth(1)
        glBegin(GL_POLYGON)
        for i in range(100):
            glVertex2f(0.03 * math.cos(2 * PI / 100 * i), 0.03 * math.sin(2 *
        glEnd()
        glFlush()

    # 更新时间函数
    def Update():
        global h, m, s
```

```
    t = time.localtime(time.time())
    h = int(time.strftime('%H', t))
    m = int(time.strftime('%M', t))
    s = int(time.strftime('%S', t))
    glutPostRedisplay()

# 主函数
if __name__ == "__main__":
    glutInit()
    glutInitDisplayMode(GLUT_SINGLE | GLUT_RGBA)
    glutInitWindowSize(400, 400)
    glutCreateWindow("My clock")
    glutDisplayFunc(Draw)
    glutIdleFunc(Update)
    glutMainLoop()
```

其运行结果如下图所示：

四.总结

本篇文章主要讲解Python和OpenGL基础知识，包括安装、基础语法、绘制图形等。希望对读者有一定帮助，也希望这些知识点为读者从事Python图像处理相关项目实践或科学研究提供一定基础。

八年，从100万名挤进2万名，再到如今的122名，挺开心的。喜欢的不是那个数字，而是数字背后近三千天得奋斗史，以及分享知识和帮人解惑所带来的快乐，接下来暂停分

析网络安全文章，将系统分享一些Python和人工智能的文章，且看且珍惜，继续敲代码喽~同时，在家好好陪陪女神。

武汉加油，湖北加油，中国加油!

（By：Eastmount 2020-02-12 晚上10点写于贵阳 https://blog.csdn.net/Eastmount ）

参考文献：

本文参考下面的书籍及博客，在此感谢这些作者，也非常推荐大家阅读许老师的CSDN博客。

[1] 《OpenGL编程指南（第8版）》 作者：Dave Shreiner Granham Sellers等，王锐 译
[2] 《Python极客项目编程》 作者：Mahesh Venkitachalam，王海鹏 译
[3] 《OpenGL编程精粹》杨柏林 陈根浪 徐静 编著
[4] 写给 python 程序员的 OpenGL 教程 - 许老师(天元浪子)
[5] Python之OpenGL笔记(2)：现代OpenGL编程常用的几个通用函数 - 大龙老师
[6] python3+OpenGL环境配置 - GraceSkyer老师
[7] VS2012下基于Glut OpenGL显示一些立体图形示例程序 - yearafteryear老师
[8] Python——OpenGL - 白季飞龙老师
[9] python+opengl显示三维模型小程序 - xiaoge2016
[10] https://github.com/electronut/pp