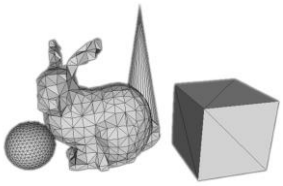


Introduction to Computer Graphics

Programming with OpenGL: Interaction

Ming Zeng

Software School

Xiamen University

Contact Information:

zengming@xmu.edu.cn

上节内容回顾

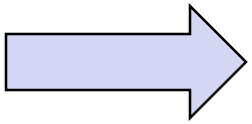
- 三维绘制（3D Rendering)
  - 如何呈现三维效果
  - GLUT/GLU相关函数
  - 设置模型视图矩阵与投影矩阵
    - 模型视图矩阵
    - 投影矩阵
  - 消隐的概念
    - 多边形拣选
    - Zbuffer算法

本节内容

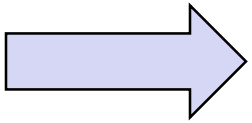
- 交互（Interaction）
  - GLUT回调函数
  - 菜单
  - 橡皮条技术

如何呈现三维效果

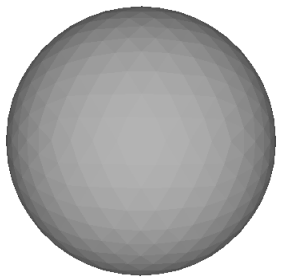
- 在计算机2D屏幕上产生和增强3D效果
  - 3D几何
  - 透视效果——近大远小
  - 隐藏面消除
  - 颜色和着色
  - 光照和阴影
  - 雾效
  - …

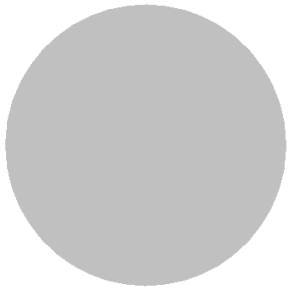


产生3D效果



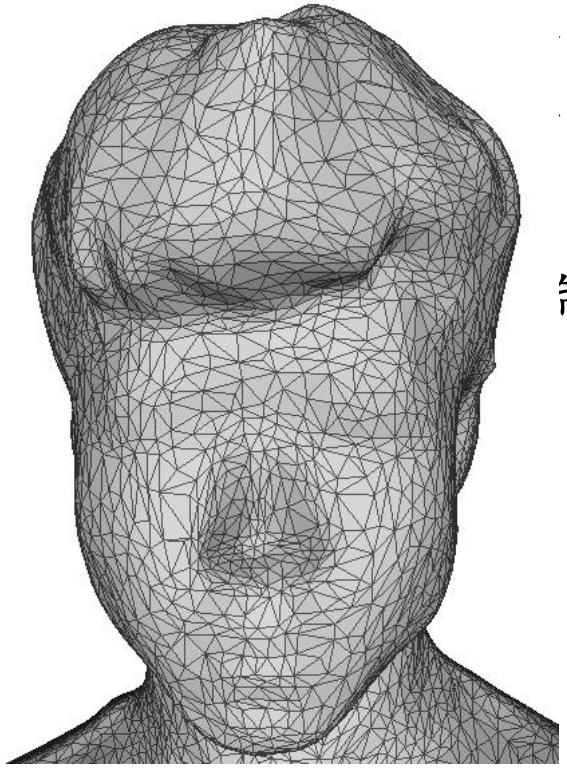
增强3D效果





3D几何

- 基本几何图元
- 用基本几何图元构建



```
ply
format ascii 1.0
comment VCGLIB generated
element vertex 37702
property float x
property float y
property float z
property float nx
property float ny
property float nz
element face 75404
property list uchar int vertex_indices
end_header
-109.85 -585.583 -913.65 -0.990883 0.0898327 -0.1004
-80.8779 -589.489 -965.09 -0.547469 0.203695 -0.811656
-97.4846 -599.833 -853.546 -0.516241 -0.175639 0.83824
-49.3773 -947.479 -786.993 0.475753 0.717751 0.508421
-97.3486 -588.504 -851.651 -0.529533 -0.183035 0.828307
-85.3551 -596.765 -847.027 -0.382764 -0.209772 0.899715
-30.7061 -959.997 -794.619 0.662137 0.512276 0.546944
-103.878 -957.321 -787.054 -0.565117 0.781235 0.265169
-91.6018 -948.06 -791.949 -0.465062 0.861006 0.205878
-83.9699 -946.093 -787.644 -0.324549 0.912479 0.249098
-81.7526 -943.729 -792.817 -0.296337 0.935378 0.193007
-27.2919 -593.142 -857.568 0.42749 -0.321394 0.84496
-26.6596 -586.995 -855.36 0.457365 -0.374257 0.80669
-45.2669 -594.426 -976.194 0.345885 0.188408 -0.919166
11.3998 -588.406 -906.555 0.992747 0.119602 -0.0121996
-11.6815 -590.988 -867.936 0.672804 -0.178577 0.717945
```

3D几何

- 基本几何图元
- 用基本几何图元构建
  - 稍微简单物体，编程构建：球体等
  - 复杂物体：通过建模软件构建保存成模型文件，例如Ply，Obj等模型格式
  - Task: 读入ply文件，并绘制模型
- GLU/GLUT对象

GLU和GLUT对象

- GLU和GLUT提供了一些高级几何对象
- 这些高级几何对象主要是一些二次曲面
  - 椭球体
  - 圆锥体
  - 圆柱体
  - ...
- 这些高级几何对象仍然是由多边形图元构成的。
- 用途：主要用于在开发阶段测试程序或者简单展示
- 自学：GLU中的二次曲面对象

GLU和GLUT对象

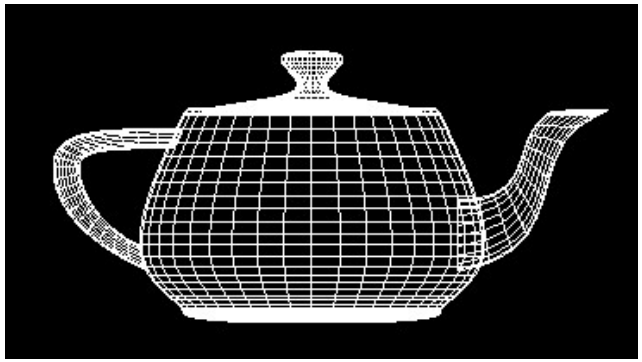
- GLUT中的高级几何对象
  - GLUT在GLU的基础上增加了更多类型(Type)并更易使用的三维对象
    - 立方体
    - 球体(Sphere)
    - 圆锥(Cone)
    - 圆环(Torus)
    - 规则多面体(Tetrahedron、Octahedron、Dodecahedron)
    - 犹他壶(Teapot)
  - GLUT为每种类型的对象提供了线框图或者实体图（填充多边形）两种绘制函数，格式为：
    - glutWire*Type*()
    - glutSolid*Type*()

GLU和GLUT对象

- 举例1：绘制球体
  - void glutWireSphere(GLdouble radius, GLint slices, GLint stacks)
  - void glutSolidSphere(GLdouble radius, GLint slices, GLint stacks)
  - 其中：
    - radius——球体半径
    - slices——经线数
    - stacks——纬线数
    - 球心位于坐标原点

GLU和GLUT对象

- 举例2：绘制犹他壶
  - 三维图形领域最著名的几何对象
  - 广泛用于测试各种绘制算法
  - void glutWireTeapot(GLdouble size)
  - void glutSolidTeapot(GLdouble size)
  - 其中：
    - size——犹他壶的尺寸
    - 犹他壶中心位于原点
    - 由192个顶点构成



设置模型视图矩阵(ModelView Matrix)与投影矩阵(Projection Matrix)

- 成像要素
  - 相机相对物体在哪里拍摄
  - 相机是何种参数相机：是否广角，胶片多大，相机能看多远等等
- 模型视图矩阵
  - 用于描述物体与相机之间的相对位置、方位关系
- 投影矩阵
  - 用于描述相机内部参数

OpenGL与合成摄像机模型

- OpenGL与定位、投影过程的影响因素
  - 被观察对象
    - 位置（三个自由度）
    - 朝向（三个自由度）
  - 摄像机
    - 位置（三个自由度）
    - 朝向（三个自由度）
    - 透镜参数（长焦、广角、…）
    - 底片尺寸

glVertex*();
glTranslate*()
glRotate*()

摄像机定位、定向和调焦对准
gluLookAt()

摄像机镜头投影
glOrtho()
gluOrtho2D()
glFrustum()
gluPerspective()

隐藏面消除

- 消除不可见表面的两种途径
- 第一种途径：多边形拣选
- 目的：将多边形图元的不可见表面剔除
- 例子：启用多边形拣选并剔除多边形的反面（当反面是不可见表面）
  - glEnable(GL_CULL_FACE)
  - glCullFace(GL_BACK)

隐藏面消除

- 使用方法（三步）：

1.在main()中的窗口初始化阶段，请求一个深度缓存

```
glutInitDisplayMode(GLUT_RGB | GLUT_DOUBLE |
                    GLUT_DEPTH)
```

2.在init()中OpenGL的初始化阶段，启用深度缓存功能

```
glEnable(GL_DEPTH_TEST)
```

3.在display()中绘制开始前，清空颜色缓存的同时，通常也清空深度缓存

```
glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT |
        GL_DEPTH_BUFFER_BIT)
```

本节内容

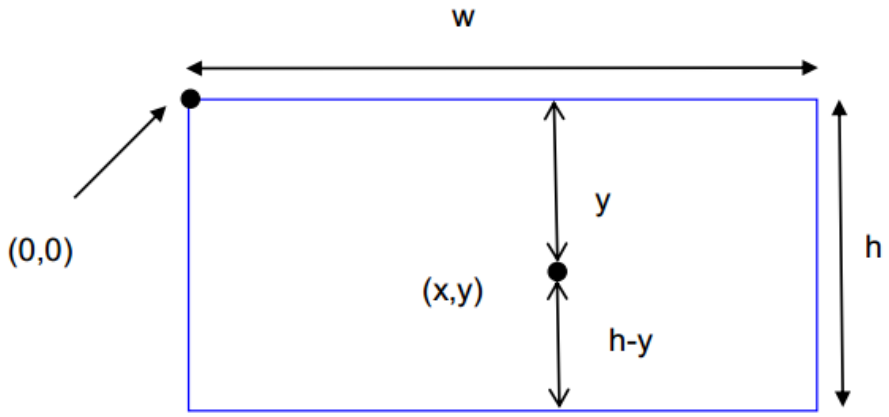
- 交互（Interaction）
  - GLUT回调函数
  - 菜单
  - 橡皮条技术

鼠标回调函数

- **glutMouseFunc(mouse)**
  void mouse(int button, int state, int x, int y)
  - 其中button的值可能是GLUT_LEFT_BUTTON, GLUT_MIDDLE_BUTTON, GLUT_RIGHT_BUTTON表示哪个按钮导致了事件发生
  - state表示相应按钮的状态：GLUT_UP, GLUT_DOWN
  - x, y表示在窗口中的位置 (**以窗口左上角为原点的坐标**)

鼠标定位

- 在屏幕上的位置通常是以像素为单位的，原点在左上角 –因为显示器自顶向下刷新显示内容
- 在OpenGL中使用的坐标系，其原点在左下角
- 在这个坐标系中的y坐标需要从窗口高度中减去回调函数返回的y值： y = h - y



获取窗口尺寸

- 为了完成y坐标的转换，需要知道窗口的尺寸：在程序执行过程中，高度可能发生改变
  - 需要利用一个全局变量跟踪其变化
  - 新高度值返回给形状改变回调函数(见后)
  - 也可以用查询函数glGetIntegerv()和glGetFloatv() 获取，因为高度是状态的一部分

  例如：glGetIntegerv (GL_VIEWPORT, viewport)

  将视口大小传入viewport数组中

结束程序

- 在以前的程序中没有办法通过OpenGL结束当前程序
- 可以利用简单的鼠标回调函数做到这一点

```
void mouse(int btn, int state, int x, int y)
{
        if(btn==GLUT_RIGHT_BUTTON &&
        state==GLUT_DOWN)
        exit(0);
}
```

在指针处画方框

```
void mouse(int btn, int state, int x, int y) {
        if(btn == GLUT_RIGHT_BUTTON && state == GLUT_DOWN)
        exit(0);
        if(btn == GLUT_LEFT_BUTTON && state == GLUT_DOWN)
        drawSquare(x, y);
}

void drawSquare(GLint x, GLint y) {
        y = h-y; //转化y坐标
        glColor3ub( (char)rand()%256, (char) rand()%256,
        (char)rand()%256); // 随机颜色
        glBegin(GL_POLYGON);//为什么这么写
                glVertex2f(x - size, y - size);
                glVertex2f(x + size, y - size);
                glVertex2f(x + size, y + size);
                glVertex2f(x - size, y + size);
        glEnd();
}
```

完整代码

- 见mouse.c
- 思考：
  - gluOrtho2D 参数应该怎么设置？
  - glViewport应该怎么设置？（为什么没设置）

鼠标移动回调函数的应用

- 通过利用移动回调函数可以在不释放鼠标按钮的情况下，连续画一系列方框(square.c)
  - **glutMotionFunc(drawSquare)**
- 应用被动移动回调函数，可以不用按鼠标按钮就可以连续画方框
  - **glutPassiveMotionFunc(drawSquare)**

- **void glutMotionFunc(void (*f)(int x,int y))**
- **void glutPassiveMotionFunc(void (*f)(int x,int y))**

键盘的使用

- 当鼠标位于窗口内，并且键盘有某个键被按下或释放，就会产生键盘事件

```
glutKeyboardFunc(keyboard)
void keyboard(unsigned char key,
int x, int y)
```

  - 返回键盘上被按下键的ASCII码和鼠标位置
  - 注意在GLUT中并不把释放键做为一个事件

```
void keyboard(unsigned char key, int x, int y)
{ // 按下Q、 q或ESC键时，终止程序
        if(key == 'Q' || key == 'q' || key == '\27')
        exit(0);
}
```

特殊按键

- GLUT在glut.h中定义了特殊按键：
  - 功能键1: GLUT_KEY_F1
  - 向上方向键： GLUT_KEY_UP

    void glutSpecialFunc(void (*func)(int key, int x, int y))
  - 回调函数内

    if(key == GLUT_KEY_F1) ……

    if(key == GLUT_KEY_UP) ……

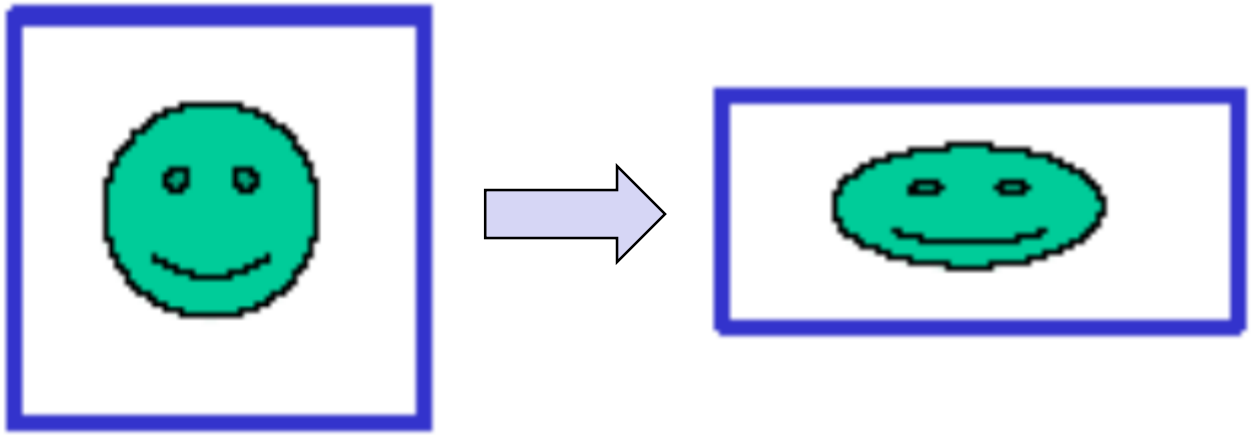
修饰键 – Ctrl/Alt/Shift

- **int glutGetModifiers()**
  - 如果在鼠标或键盘事件产生时修饰键被按下，该函数返回GLUT_ACTIVE_SHIFT, GLUT_ACTIVE_CTRL, GLUT_ACTIVE_ALT的逻辑与结果
  - 例子：让Ctrl+c或Ctrl+C终止程序，在键盘回调函数中

```
if (glutGetModifiers() == GLUT_ACTIVE_CTRL)
&&(key == 'c' || key == 'C'))
exit(0);
```

改变窗口大小

- 通过拖动窗口的角点可以改变窗口的形状和尺寸
  - 那么其中的显示内容该如何处理？
  - 必须由应用程序重新绘制
  - 结果可能是



形状改变回调函数

- **glutReshapeFunc(reshape)**
  void reshape(int w, int h)
  – 返回新窗口的宽度与高度（单位：像素）
  – 回调函数执行后自动发送刷新显示事件，触发显示回调
  – GLUT有一个缺省的形状改变的回调函数，调用glViewport(0,0,w,h)把视口设置为新窗口
- **这个回调函数是放置照相机函数的恰当地方，因为当窗口首次创建时**就会调用它。
  – 当窗口形状尺寸发生改变时，可在回调函数里对观察条件进行修改

例子

- 通过保持视口和世界窗口的长宽比一样，使得物体不变形
- 请仔细理解以下程序段

```
void reshape(int w, int h) {
        glViewport(0, 0, w, h); // 设置视口为整个窗口
        glMatrixMode(GL_PROJECTION); // 调整裁剪窗口
        glLoadIdentity();
        if(w<=h) // 宽小于高，裁剪矩形宽度置为4
                gluOrtho2D(-2.0, 2.0, -2.0*(GLfloat)h/(GLfloat)w,
                2.0*(GLfloat)h/(GLfloat)w);
        else // 高小于宽，裁剪矩形高度置为4
                gluOrtho2D(-2.0*(GLfloat)w/(GLfloat)h,
                2.0*(GLfloat)w/(GLfloat)h, -2.0, 2.0);
        glMatrixMode(GL_MODELVIEW); /*return to modelview
mode*/
}
```

本节内容

- 交互（Interaction）
  - GLUT回调函数
  - 菜单
  - 橡皮条技术

菜单

- GLUT支持弹出式菜单
  - 可以有子菜单
- 创建弹出式菜单的三个步骤
  - 定义菜单内各条目
  - 定义每个菜单项的行为
    - 如果条目被选择执行的操作
  - 把菜单连接到鼠标按钮上

菜单函数

- **int glutCreateMenu(void (*f)(int value))**
  – 创建一个使用回调函数f()的菜单，并返回菜单的整数标识符
- **void glutAddMenuEntry(char *name, int value)**
  – 为当前菜单增加一个名为name的菜单项； value值在选中时返回给菜单回调函数
- **void glutAttachMenu(int button)**
  – 将当前菜单关联到鼠标按钮button上 (GLUT_RIGHT_BUTTON、 GLUT_MIDDLE_BUTTON、 GLUT_LEFT_BUTTON)

定义一个简单的菜单

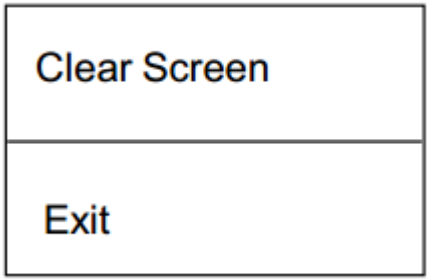
- 在main()函数中

会作为参数返回给回调函数 mymenu

```
menu_id = glutCreateMenu(mymenu);
glutAddMenuEntry("Clear Screen", 1);
glutAddMenuEntry("Exit", 2);
glutAttachMenu(GLUT_RIGHT_BUTTON);
```

菜单回调函数

```
void mymenu(int value) {
        if(value==1)
        glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
        if(value==2) exit(0);
}
```



本节内容

- 交互（Interaction）
  - GLUT回调函数
  - 菜单
  - 橡皮条技术

橡皮条功能

- 橡皮条功能
- 橡皮条功能的实现方法
  - display函数里重新绘制
  - 异或操作 （回顾何为异或操作？）
- 像素逻辑操作：当前像素与原有像素的逻辑操作
- 逻辑操作的开启
  - glEnable(GL_COLOR_LOGIC_OP);
  - glLogicOp(GL_XOR);

异或操作实现橡皮条直线

- 利用第一次单击鼠标固定线段的一个端点，然后再利用鼠标移动的回调函数连续更新第二个端点
- 每次鼠标移动的时候，重新画一遍原来的直线从而删除它，然后再从固定的第一个端点到新的第二个端点之间画一条直线
- 最后切换回到正常的绘图模式并绘制直线

代码分析

- 详见代码 rubberline.c

- 注意事项：
  - glEnable(GL_COLOR_LOGIC_OP);
  - 每次移动，先用XOR把前一条线擦除，再画新的线