Android OpenGL ES 简明开发教程小结

Android OpenGL ES 简明开发教程一：概述

ApiDemos 的 Graphics 示例中含有 OpenGL ES 例子，OpenGL ES 主要用来开发 3D 图形应用的。OpenGL ES (OpenGL for Embedded Systems) 是 OpenGL 三维图形 API 的子集，针对手机、PDA 和游戏主机等嵌入式设备而设计。

下面是维基百科中对应 OpenGL ES 的简介：

OpenGL ES 是从 OpenGL 裁剪定制而来的，去除了 glBegin/glEnd，四边形（GL_QUADS）、多边形（GL_POLYGONS）等复杂图元等许多非绝对必要的特性。经过多年发展，现在主要有两个版本，OpenGL ES 1.x 针对固定管线硬件的，OpenGL ES 2.x 针对可编程管线硬件。OpenGL ES 1.0 是以 OpenGL 1.3 规范为基础的，OpenGL ES 1.1 是以 OpenGL 1.5 规范为基础的，它们分别又支持 common 和 common lite 两种 profile。lite profile 只支持定点实数，而 common profile 既支持定点数又支持浮点数。 OpenGL ES 2.0 则是参照 OpenGL 2.0 规范定义的，common profile 发布于 2005-8，引入了对可编程管线的支持。

在解析 Android ApiDemos 中 OpenGL ES 示例前，有必要对 OpenGL ES 开发单独做个简明开发教程，可以帮助从未接触过 3D 开发的程序员了解 OpenGL 的开发的基本概念和方法，很多移动手机平台都提供了对 OpenGL ES 开发包的支持，因此尽管这里使用 Android 平台介绍 OpenGL ES ,但基本概念和步骤同样适用于其它平台。

简明开发教程主要参考 Jayway Team Blog 中 OpenGL ES 开发教程 ， 这是一个写的比较通俗易懂的开发教程，适合 OpenGL ES 初学者。

除了这个 OpenGL ES 简明开发教程外，以后将专门针对 OpenGL ES 写个由浅入深的开发教程，尽请关注。

Android OpenGL ES 简明开发教程二：构造 OpenGL ES View

在 Andorid 平台上构造一个 OpenGL View 非常简单，主要有两方面的工作：

GLSurfaceView

Android 平台提供的 OpenGL ES API 主要定义在包 android.opengl ,javax.microedition.khronos.egl ,javax.microedition.khronos.opengles ,java.nio 等几个包中，其中类 GLSurfaceView 为这些包中的核心类：

- 起到连接 OpenGL ES 与 Android 的 View 层次结构之间的桥梁作用。
- 使得 Open GL ES 库适应于 Anndroid 系统的 Activity 生命周期。
- 使得选择合适的 Frame buffer 像素格式变得容易。
- 创建和管理单独绘图线程以达到平滑动画效果。
- 提供了方便使用的调试工具来跟踪 OpenGL ES 函数调用以帮助检查错误。

因此编写 OpenGL ES 应用的起始点是从类 GLSurfaceView 开始，设置 GLSurfaceView 只需调用一个方法来设置 OpenGLView 用到的 GLSurfaceView.Renderer.

帮助

```
1       public void setRenderer(GLSurfaceView.Renderer renderer)
```

GLSurfaceView.Renderer

GLSurfaceView.Renderer 定义了一个统一图形绘制的接口，它定义了如下三个接口函数：

帮助

```
1        // Called when the surface is created or recreated.

2        public void onSurfaceCreated(GL10 gl, EGLConfig config)

3

4        // Called to draw the current frame.

5        public void onDrawFrame(GL10 gl)

6

7        // Called when the surface changed size.

8        public void onSurfaceChanged(GL10 gl, int width, int height)
```

- onSurfaceCreated：在这个方法中主要用来设置一些绘制时不常变化的参数，比如：背景色，是否打开 z-buffer 等。
- onDrawFrame: 定义实际的绘图操作。
- onSurfaceChanged: 如果设备支持屏幕横向和纵向切换，这个方法将发生在横向<->纵向互换时。此时可以重新设置绘制的纵横比率。

有了上面的基本定义，可以写出一个 OpenGL ES 应用的通用框架。

创建一个新的 Android 项目:OpenGLESTutorial, 在项目在添加两个类 TutorialPartI.java 和 OpenGLRenderer.java.

具体代码如下：

TutorialPartI.java

帮助

```
1        public class TutorialPartI extends Activity {

2         // Called when the activity is first created.
```

```
3         @Override
4         public void onCreate(Bundle savedInstanceState) {
5         super.onCreate(savedInstanceState);
6         this.requestWindowFeature(Window.FEATURE_NO_TITLE); // (NEW)
7         getWindow().setFlags(WindowManager.LayoutParams.FLAG_FULLSCREEN,
8         WindowManager.LayoutParams.FLAG_FULLSCREEN); // (NEW)
9
10        GLSurfaceView view = new GLSurfaceView(this);
11        view.setRenderer(new OpenGLRenderer());
12        setContentView(view);
13        }
14       }
```

OpenGLRenderer.java

帮助

```
1         public class OpenGLRenderer implements Renderer {
2
3          public void onSurfaceCreated(GL10 gl, EGLConfig config) {
4          // Set the background color to black ( rgba ).
5          gl.glClearColor(0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.5f);  // OpenGL docs.
6          // Enable Smooth Shading, default not really needed.
```

```
7         gl.glShadeModel(GL10.GL_SMOOTH);// OpenGL docs.
8         // Depth buffer setup.
9         gl.glClearDepthf(1.0f);// OpenGL docs.
10        // Enables depth testing.
11        gl.glEnable(GL10.GL_DEPTH_TEST);// OpenGL docs.
12        // The type of depth testing to do.
13        gl.glDepthFunc(GL10.GL_LEQUAL);// OpenGL docs.
14        // Really nice perspective calculations.
15        gl.glHint(GL10.GL_PERSPECTIVE_CORRECTION_HINT, // OpenGL docs.
16        GL10.GL_NICEST);
17        }
18
19        public void onDrawFrame(GL10 gl) {
20        // Clears the screen and depth buffer.
21        gl.glClear(GL10.GL_COLOR_BUFFER_BIT | // OpenGL docs.
22        GL10.GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
23        }
24
25        public void onSurfaceChanged(GL10 gl, int width, int height) {
26        // Sets the current view port to the new size.
```

```
27          gl.glViewport(0, 0, width, height);// OpenGL docs.
28          // Select the projection matrix
29          gl.glMatrixMode(GL10.GL_PROJECTION);// OpenGL docs.
30          // Reset the projection matrix
31          gl.glLoadIdentity();// OpenGL docs.
32          // Calculate the aspect ratio of the window
33          GLU.gluPerspective(gl, 45.0f,
34          (float) width / (float) height,
35          0.1f, 100.0f);
36          // Select the modelview matrix
37          gl.glMatrixMode(GL10.GL_MODELVIEW);// OpenGL docs.
38          // Reset the modelview matrix
39          gl.glLoadIdentity();// OpenGL docs.
40          }
41        }
```

编译后运行，屏幕显示一个黑色的全屏。这两个类定义了 Android OpenGL ES 应用的最基本的类和方法，可以看作是 OpenGL ES 的”Hello ,world”应用，后面将逐渐丰富这个例子来画出 3D 图型。

框架代码下载：可以作为你自己的 OpenGL 3D 的初始代码。

Android OpenGL ES 简明开发教程三：3D 绘图基本概念

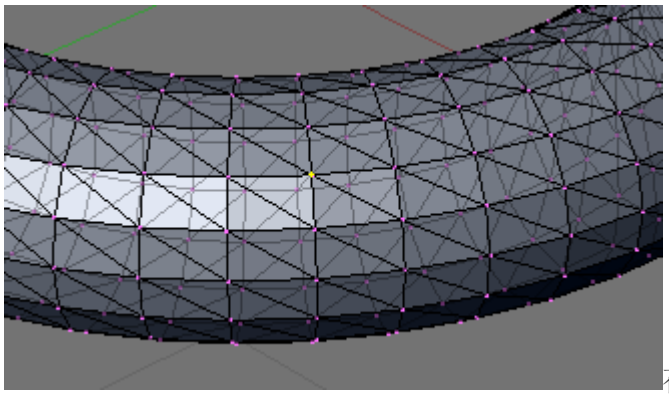
发表于 2011 年 05 月 30 日 由 guidebee

前面介绍了使用 Android 编写 OpenGL ES 应用的程序框架，本篇介绍 3D 绘图的一些基本构成要素，最终将实现一个多边形的绘制。

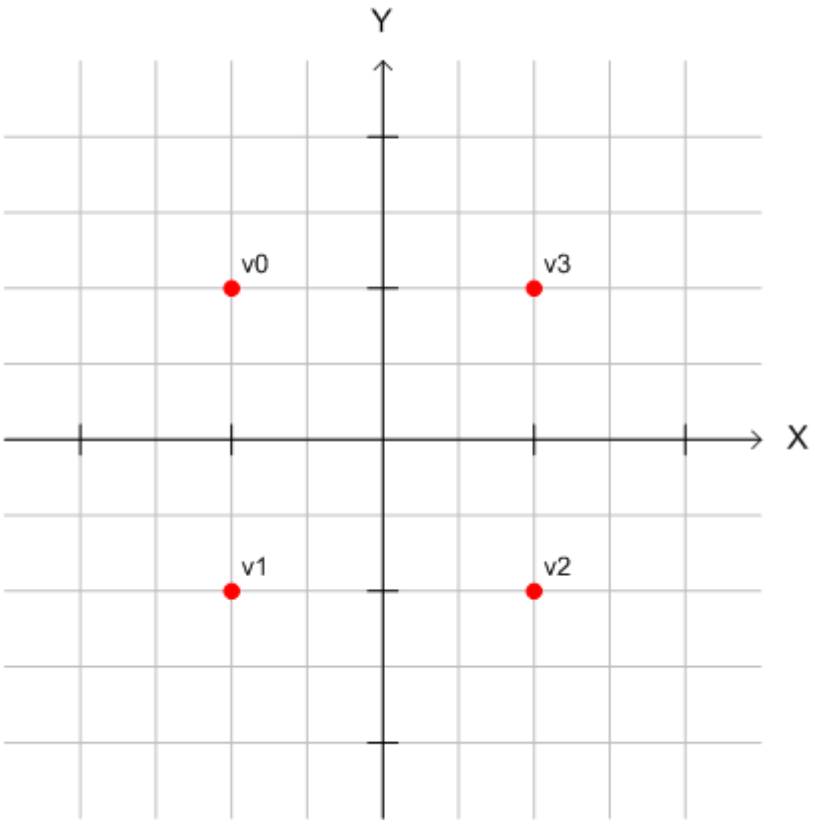
一个 3D 图形通常是由一些小的基本元素（顶点，边，面，多边形）构成，每个基本元素都可以单独来操作。

Vertex （顶点）

顶点是 3D 建模时用到的最小构成元素，顶点定义为两条或是多条边交会的地方。在 3D 模型中一个顶点可以为多条边，面或是多边形所共享。一个顶点也可以代表一个点光源或是 Camera 的位置。下图中标识为黄色的点为一个顶点(Vertex)。

 在 Android 系统中可以使用一个浮点数数组来定义一个顶点，浮点数数组通常放在一个 Buffer（java.nio)中来提高性能。

比如：下图中定义了四个顶点和对应的 Android 顶点定义：



帮助

```
1           private float vertices[] = {

2            -1.0f,  1.0f, 0.0f,  // 0, Top Left

3            -1.0f, -1.0f, 0.0f,  // 1, Bottom Left

4            1.0f, -1.0f, 0.0f,  // 2, Bottom Right

5            1.0f,  1.0f, 0.0f,  // 3, Top Right

6           };
```

为了提高性能，通常将这些数组存放到 java.io 中定义的 Buffer 类中：

帮助

```
1       // a float is 4 bytes, therefore we multiply the
```

```
2       //number if vertices with 4.

3       ByteBuffer vbb = ByteBuffer.allocateDirect(vertices.length * 4);

4       vbb.order(ByteOrder.nativeOrder());

5       FloatBuffer vertexBuffer = vbb.asFloatBuffer();

6       vertexBuffer.put(vertices);

7       vertexBuffer.position(0);
```

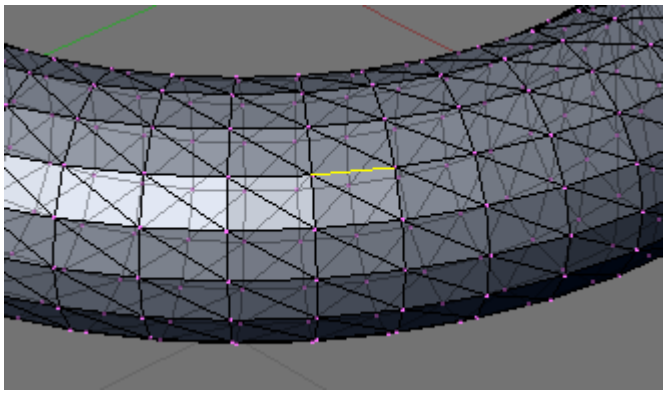
有了顶点的定义，下面一步就是如何将它们传给 OpenGL ES 库，OpenGL ES 提供一个成为”管道 Pipeline”的机制，这个管道定义了一些“开关”来控制 OpenGL ES 支持的某些功能，缺省情况这些功能是关闭的，如果需要使用 OpenGL ES 的这些功能，需要明确告知 OpenGL “管道”打开所需功能。因此对于我们的这个示例，需要告诉 OpenGL 库打开 Vertex buffer 以便传入顶点坐标 Buffer。要注意的使用完某个功能之后，要关闭这个功能以免影响后续操作：

帮助

```
1       // Enabled the vertex buffer for writing and to be used during rendering.

2       gl.glEnableClientState(GL10.GL_VERTEX_ARRAY);// OpenGL docs.

3       // Specifies the location and data format of an array of vertex

4       // coordinates to use when rendering.

5       gl.glVertexPointer(3, GL10.GL_FLOAT, 0, vertexBuffer); // OpenGL docs.

6       When you are done with the buffer don't forget to disable it.

7       // Disable the vertices buffer.

8       gl.glDisableClientState(GL10.GL_VERTEX_ARRAY);// OpenGL docs.
```

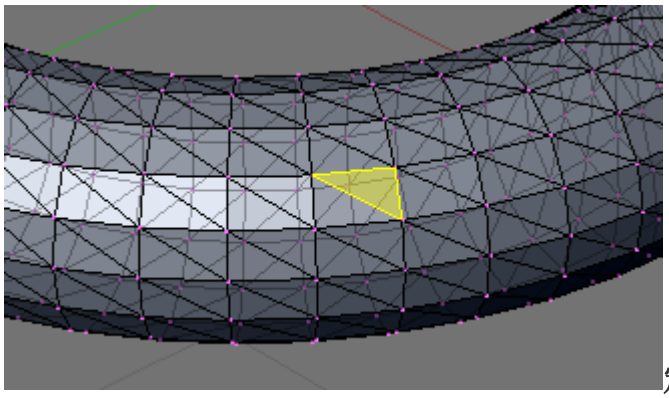
Edge（边）

边定义为两个顶点之间的线段。边是面和多边形的边界线。在 3D 模型中，边可以被相邻的两个面或是多边形形共享。对一个边做变换将影响边相接的所有顶点，面或多边形。在 OpenGL 中，通常无需直接来定义一个边，而是通过顶点定义一个面，从而由面定义了其所对应的三条边。可以通过修改边的两个顶点来更改一条边，下图黄色的线段代表一条边：



Face (面）

在 OpenGL ES 中，面特指一个三角形，由三个顶点和三条边构成，对一个面所做的变化影响到连接面的所有顶点和边，面多边形。下图黄色区域代表一个面。



定义面的顶点的顺序很重要 在拼接曲面的时候，用来定义面的顶点的顺序非常重要，因为顶点的顺序定义了面的朝向（前向或是后向），为了获取绘制的高性能，一般情况不会绘制面的前面和后面，只绘制面的“前面”。虽然“前面”“后面”的定义可以应人而易，但一般为所有的“前面”定义统一的顶点顺序(顺时针或是逆时针方向）。

下面代码设置逆时针方法为面的“前面”：

帮助

```
1               gl.glFrontFace(GL10.GL_CCW);
```

打开 忽略“后面”设置：

帮助

```
1             gl.glEnable(GL10.GL_CULL_FACE);
```

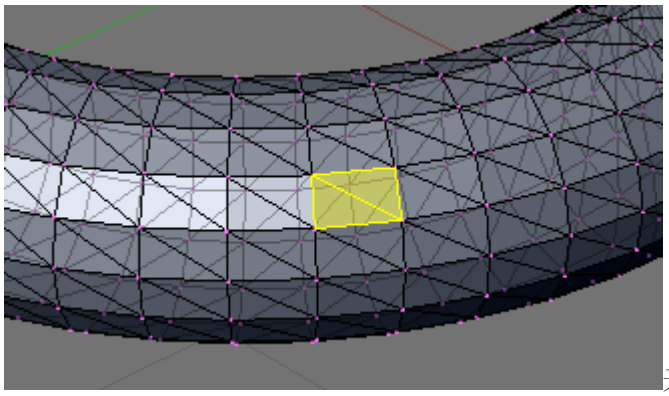
明确指明“忽略“哪个面的代码如下：

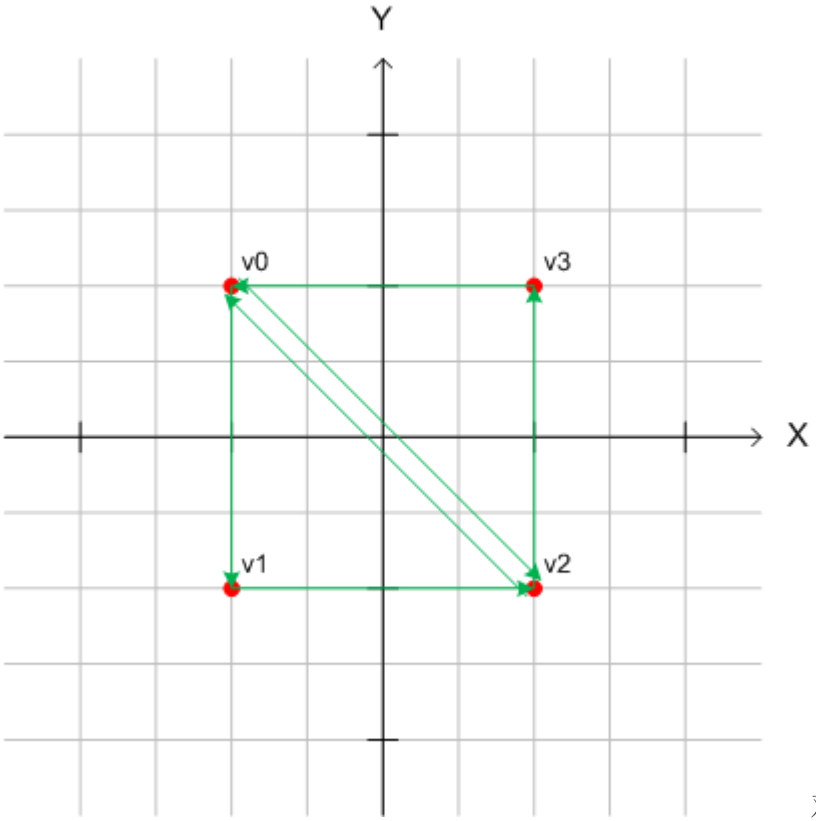
帮助

```
1               gl.glCullFace(GL10.GL_BACK);
```

Polygon （多边形）

多边形由多个面（三角形）拼接而成，在三维空间上，多边形并一定表示这个 Polygon 在同一平面上。这里我们使用缺省的逆时针方向代表面的“前面 Front)，下图黄色区域为一个多边形。

 来看一个多边形的示例在 Android 系统如何使用顶点和 buffer 来定义，如下图定义了一个正方形：



对应的顶点和 buffer 定义代码：

帮助

```
1        private short[] indices = { 0, 1, 2, 0, 2, 3 };

2        To gain some performance we also put this ones in a byte buffer.

3        // short is 2 bytes, therefore we multiply the number if vertices with
         2.

4        ByteBuffer ibb = ByteBuffer.allocateDirect(indices.length * 2);

5        ibb.order(ByteOrder.nativeOrder());

6        ShortBuffer indexBuffer = ibb.asShortBuffer();

7        indexBuffer.put(indices);

8        indexBuffer.position(0);
```

Render (渲染）

我们已定义好了多边形，下面就要了解如和使用 OpenGL ES 的 API 来绘制（渲染）这个多边形了。OpenGL ES 提供了两类方法来绘制一个空间几何图形：

- public abstract void glDrawArrays(int mode, int first, int count)　使用 VetexBuffer 来绘制，顶点的顺序由 vertexBuffer 中的顺序指定。
- public abstract void glDrawElements(int mode, int count, int type, Buffer indices) ，可以重新定义顶点的顺序，顶点的顺序由 indices Buffer 指定。

前面我们已定义里顶点数组，因此我们将采用 glDrawElements 来绘制多边形。

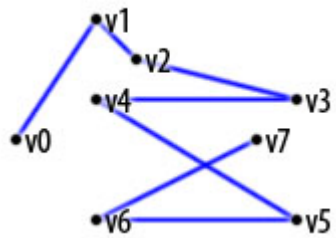
同样的顶点，可以定义的几何图形可以有所不同，比如三个顶点，可以代表三个独立的点，也可以表示一个三角形，这就需要使用 mode 来指明所需绘制的几何图形的基本类型。

GL_POINTS

绘制独立的点。

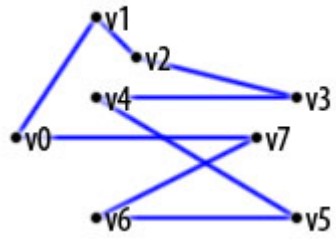
GL_LINE_STRIP

绘制一系列线段。



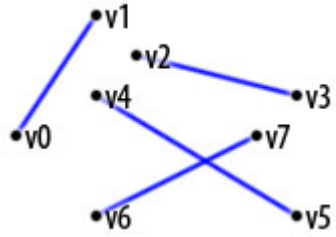
GL_LINE_LOOP

类同上，但是首尾相连，构成一个封闭曲线。



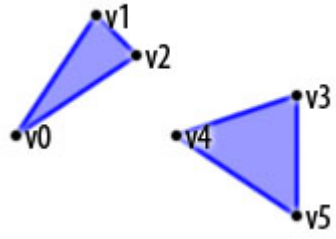
GL_LINES

顶点两两连接，为多条线段构成。



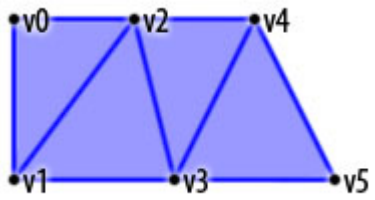
GL_TRIANGLES

每隔三个顶点构成一个三角形，为多个三角形组成。



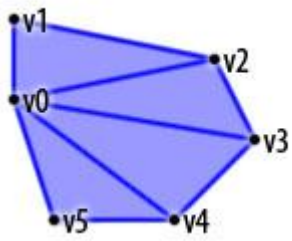
GL_TRIANGLE_STRIP

每相邻三个顶点组成一个三角形，为一系列相接三角形构成。



GL_TRIANGLE_FAN

以一个点为三角形公共顶点，组成一系列相邻的三角形。



下面可以来绘制正方形了，在项目中添加一个 Square.java 定义如下：

帮助

```
1          package se.jayway.opengl.tutorial;
2
3          import java.nio.ByteBuffer;
4          import java.nio.ByteOrder;
5          import java.nio.FloatBuffer;
6          import java.nio.ShortBuffer;
7
8          import javax.microedition.khronos.opengles.GL10;
9
```

```
10          public class Square {
11           // Our vertices.
12           private float vertices[] = {
13           -1.0f,  1.0f, 0.0f,  // 0, Top Left
14           -1.0f, -1.0f, 0.0f,  // 1, Bottom Left
15           1.0f, -1.0f, 0.0f,  // 2, Bottom Right
16           1.0f,  1.0f, 0.0f,  // 3, Top Right
17           };
18
19           // The order we like to connect them.
20           private short[] indices = { 0, 1, 2, 0, 2, 3 };
21
22           // Our vertex buffer.
23           private FloatBuffer vertexBuffer;
24
25           // Our index buffer.
26           private ShortBuffer indexBuffer;
27
28           public Square() {
29           // a float is 4 bytes, therefore we
```

```
30          // multiply the number if
31          // vertices with 4.
32          ByteBuffer vbb
33          = ByteBuffer.allocateDirect(vertices.length * 4);
34          vbb.order(ByteOrder.nativeOrder());
35          vertexBuffer = vbb.asFloatBuffer();
36          vertexBuffer.put(vertices);
37          vertexBuffer.position(0);
38
39          // short is 2 bytes, therefore we multiply
40          //the number if
41          // vertices with 2.
42          ByteBuffer ibb
43          = ByteBuffer.allocateDirect(indices.length * 2);
44          ibb.order(ByteOrder.nativeOrder());
45          indexBuffer = ibb.asShortBuffer();
46          indexBuffer.put(indices);
47          indexBuffer.position(0);
48          }
49
```

```
50          /**
51          * This function draws our square on screen.
52          * @param gl
53          */
54          public void draw(GL10 gl) {
55          // Counter-clockwise winding.
56          gl.glFrontFace(GL10.GL_CCW);
57          // Enable face culling.
58          gl.glEnable(GL10.GL_CULL_FACE);
59          // What faces to remove with the face culling.
60          gl.glCullFace(GL10.GL_BACK);
61
62          // Enabled the vertices buffer for writing
63          //and to be used during
64          // rendering.
65          gl.glEnableClientState(GL10.GL_VERTEX_ARRAY);
66          // Specifies the location and data format of
67          //an array of vertex
68          // coordinates to use when rendering.
69          gl.glVertexPointer(3, GL10.GL_FLOAT, 0,
```

```
70          vertexBuffer);
71
72          gl.glDrawElements(GL10.GL_TRIANGLES, indices.length,
73          GL10.GL_UNSIGNED_SHORT, indexBuffer);
74
75          // Disable the vertices buffer.
76          gl.glDisableClientState(GL10.GL_VERTEX_ARRAY);
77          // Disable face culling.
78          gl.glDisable(GL10.GL_CULL_FACE);
79          }
80
81        }
```

在 OpenGLRenderer 中添加 Square 成员变量并初始化：

帮助

```
1             // Initialize our square.
2             Square square = new Square();
```

并在 public void onDrawFrame(GL10 gl) 添加

帮助

```
1                 // Draw our square.
```

```
2                 square.draw(gl);
```

来绘制这个正方形，编译运行，什么也没显示，这是为什么呢？这是因为 OpenGL ES 从当前位置开始渲染，缺省坐标为(0,0,0)，和 View port 的坐标一样，相当于把画面放在眼前，对应这种情况 OpenGL 不会渲染离 view Port 很近的画面，因此我们需要将画面向后退一点距离：

帮助

```
1           // Translates 4 units into the screen.

2           gl.glTranslatef(0, 0, -4);
```

在编译运行，这次倒是有显示了，当正方形迅速后移直至看不见，这是因为每次调用 onDrawFrame 时，每次都再向后移动 4 个单位，需要加上重置 Matrix 的代码。

帮助

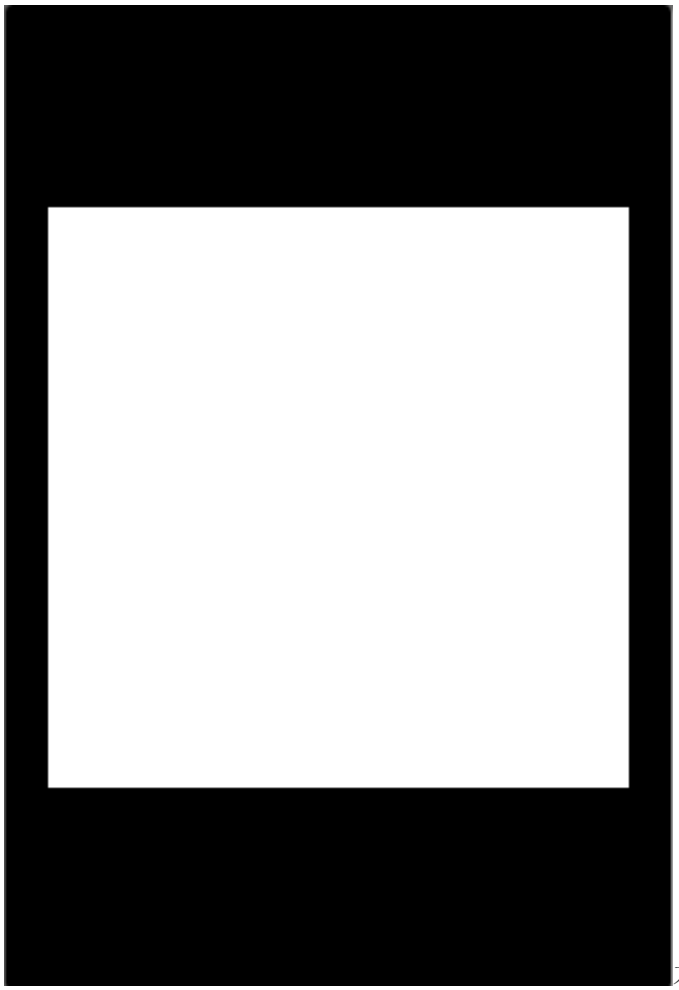
```
1        // Replace the current matrix with the identity matrix

2        gl.glLoadIdentity();
```

最终 onDrawFrame 的代码如下：

帮助

```
1            public void onDrawFrame(GL10 gl) {

2             // Clears the screen and depth buffer.

3             gl.glClear(GL10.GL_COLOR_BUFFER_BIT |

4             GL10.GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

5             gl.glLoadIdentity();
```

```
6             gl.glTranslatef(0, 0, -4);
7             // Draw our square.
8             square.draw(gl); // ( NEW )
9
10          }
```


本篇代码[下载]

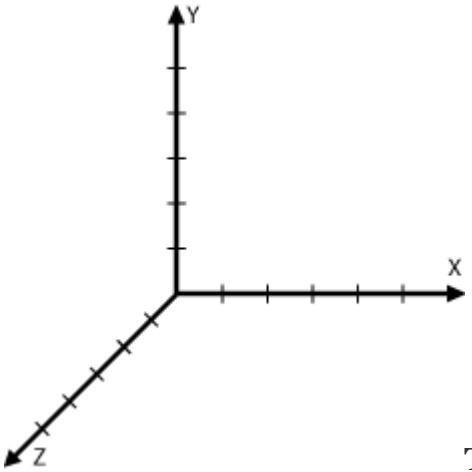
Android OpenGL ES 简明开发教程四：3D 坐标变换

发表于 2011 年 05 月 31 日 由 guidebee

本篇介绍 3D 坐标系下的坐标变换 transformations。

Coordinate System 坐标系

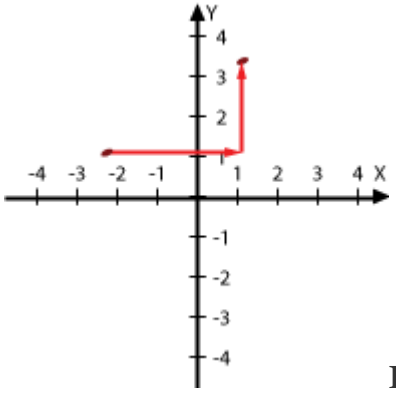
OpenGL 使用了右手坐标系统，右手坐标系判断方法：在空间直角坐标系中，让右手拇指指向 x 轴的正方向，食指指向 y 轴的正方向，如果中指能指向 z 轴的正方向，则称这个坐标系为右手直角坐标系。



Translate 平移变换

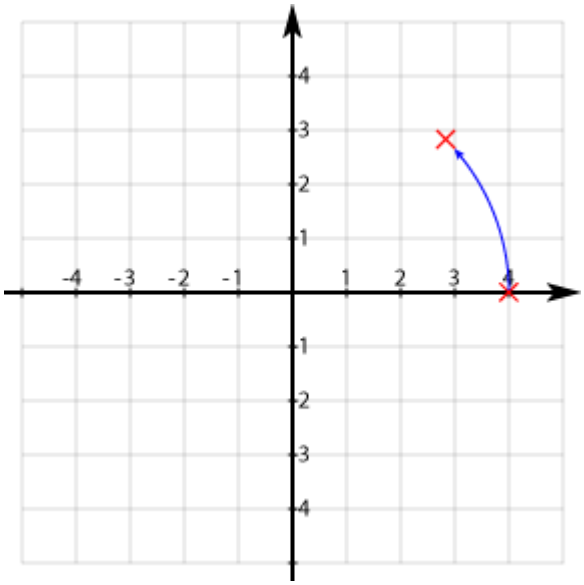
方法 public abstract void glTranslatef (float x, float y, float z) 用于坐标平移变换。

在上个例子中我们把需要显示的正方形后移了 4 个单位，就是使用的坐标的平移变换，可以进行多次平移变换，其结果为多个平移矩阵的累计结果，矩阵的顺序不重要，可以互换。



Rotate 旋转

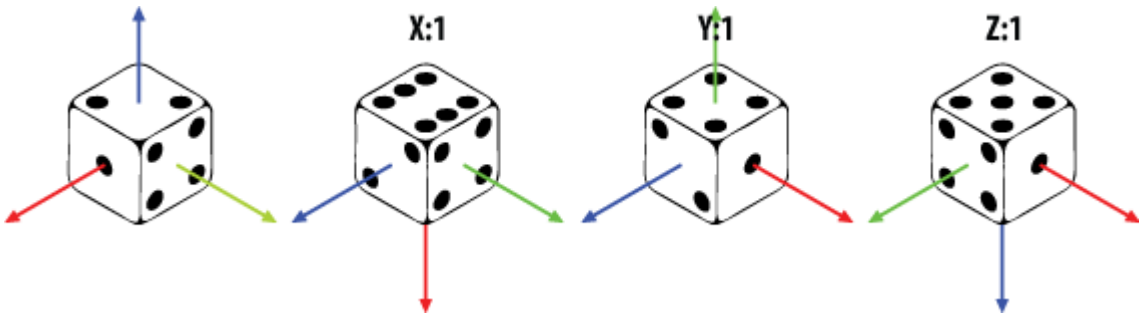
方法 public abstract void glRotatef(float angle, float x, float y, float z)用来实现选择坐标变换，单位为角度。 (x,y,z)定义旋转的参照矢量方向。多次旋转的顺序非常重要。



比如你选择一个骰子，首先按下列顺序选择 3 次：

帮助

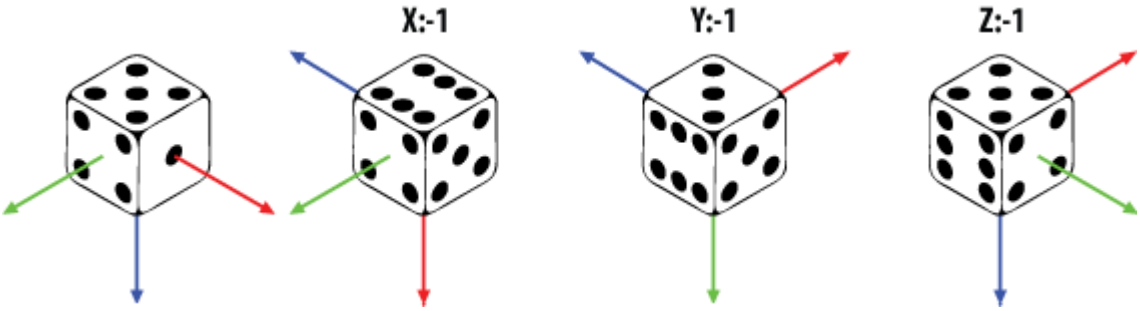
```
1           gl.glRotatef(90f, 1.0f, 0.0f, 0.0f);

2           gl.glRotatef(90f, 0.0f, 1.0f, 0.0f);

3           gl.glRotatef(90f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
```



然后打算逆向旋转回原先的初始状态，需要有如下旋转：

帮助

```
1           gl.glRotatef(90f, -1.0f, 0.0f, 0.0f);

2           gl.glRotatef(90f, 0.0f, -1.0f, 0.0f);

3           gl.glRotatef(90f, 0.0f, 0.0f, -1.0f);
```



或者如下旋转：

帮助

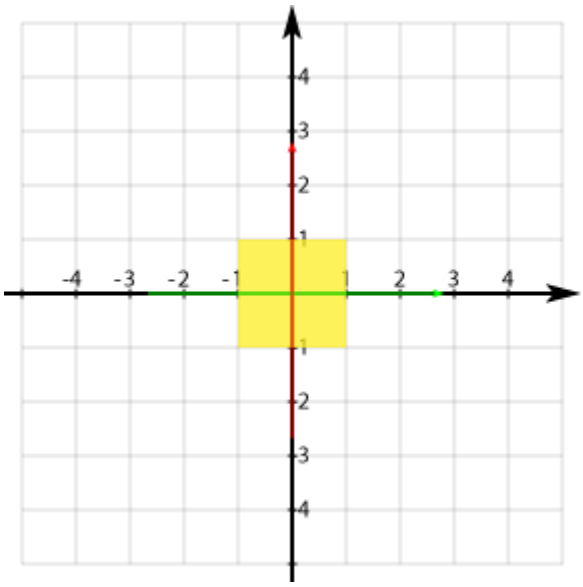
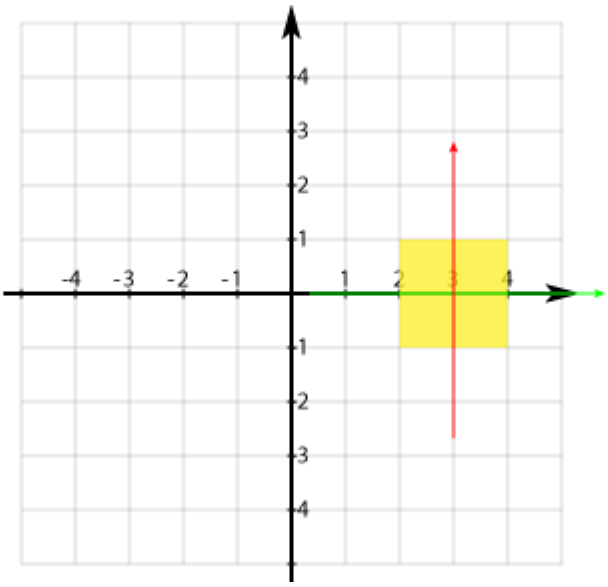
```
1           gl.glRotatef(90f, 0.0f, 0.0f, -1.0f);

2           gl.glRotatef(90f, 0.0f, -1.0f, 0.0f);

3           gl.glRotatef(90f, -1.0f, 0.0f, 0.0f);
```

旋转变换 glRotatef(angle, -x, -y, -z) 和 glRotatef(-angle, x, y, z)是等价的，但选择变换的顺序直接影响最终坐标变换的结果。 角度为正时表示逆时针方向。

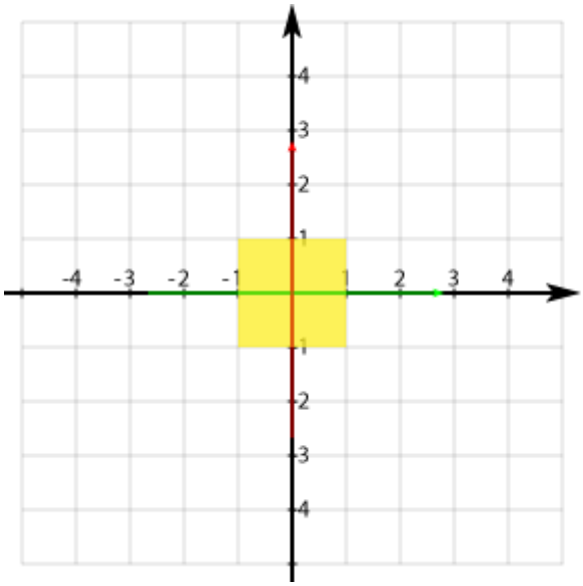
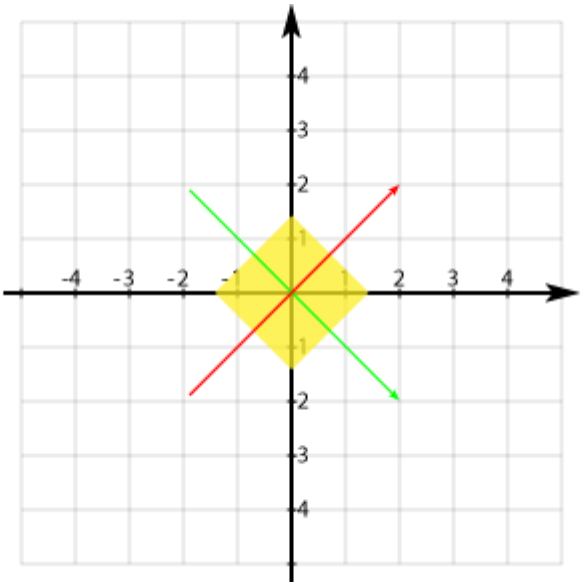
Translate & Rotate （平移和旋转组合变换）

在对 Mesh（网格，构成三维形体的基本单位）同时进行平移和选择变换时，坐标变换的顺序也直接影响最终的结果。

比如：先平移后旋转， 旋转的中心为平移后的坐标。

先选择后平移： 平移在则相对于旋转后的坐标系：

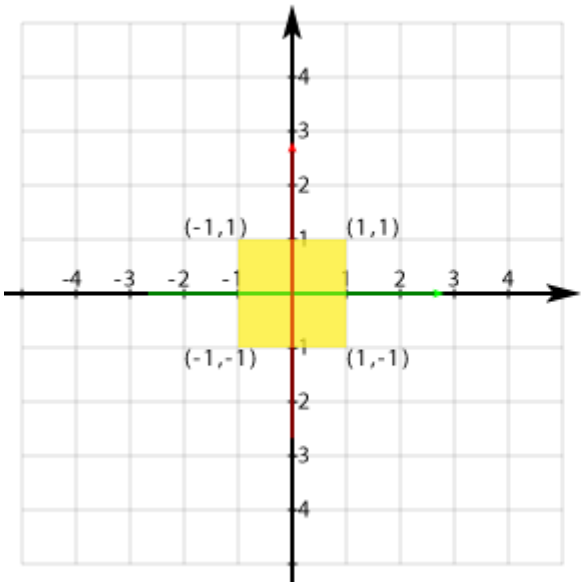



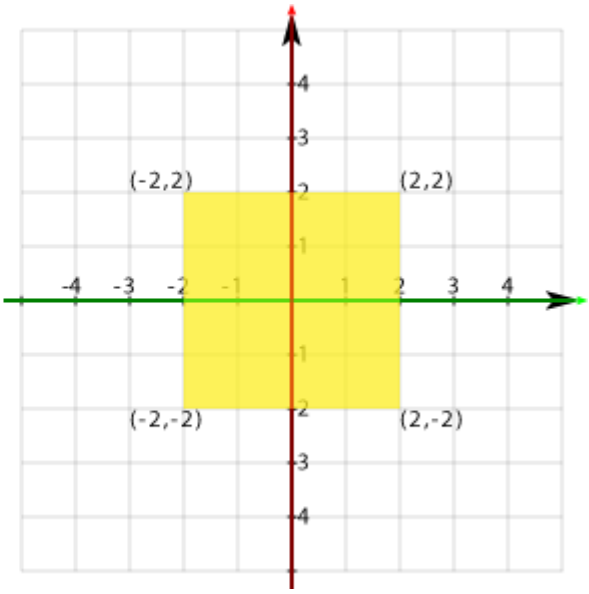
一个基本原则是，坐标变换都是相对于变换的 Mesh 本身的坐标系而进行的。

Scale（缩放）

方法 public abstract void glScalef (float x, float y, float z)用于缩放变换。

下图为使用 gl.glScalef(2f, 2f, 2f) 变换后的基本，相当于把每个坐标值都乘以 2.





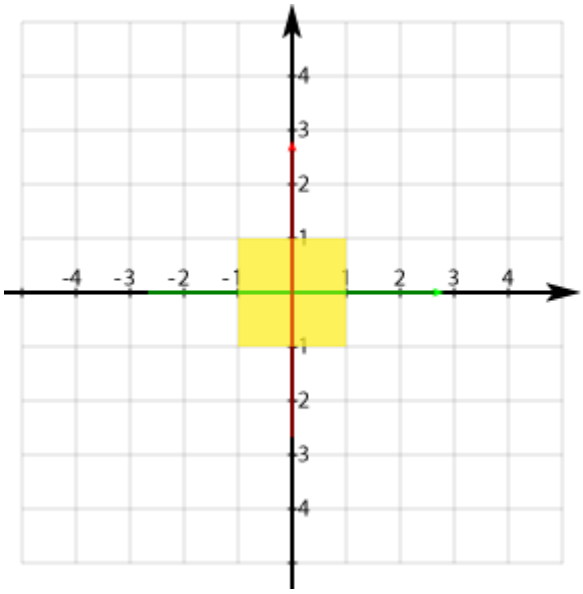
Translate & Scale（平移和缩放组合变换）

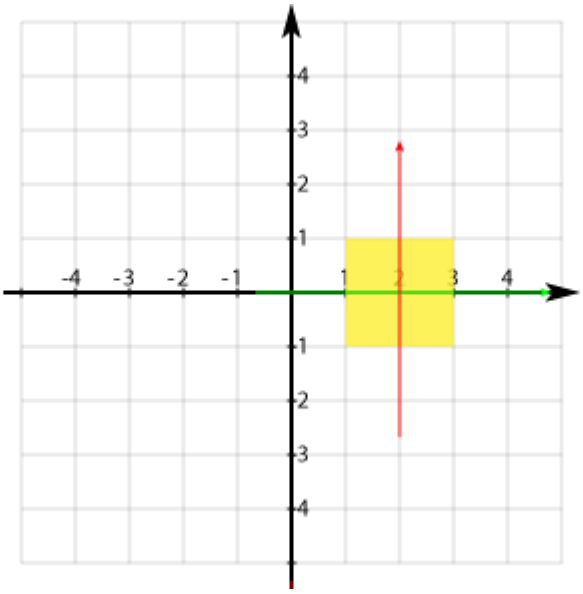
同样当需要平移和缩放时，变换的顺序也会影响最终结果。

比如先平移后缩放：

帮助

```
1            gl.glTranslatef(2, 0, 0);

2            gl.glScalef(0.5f, 0.5f, 0.5f);
```



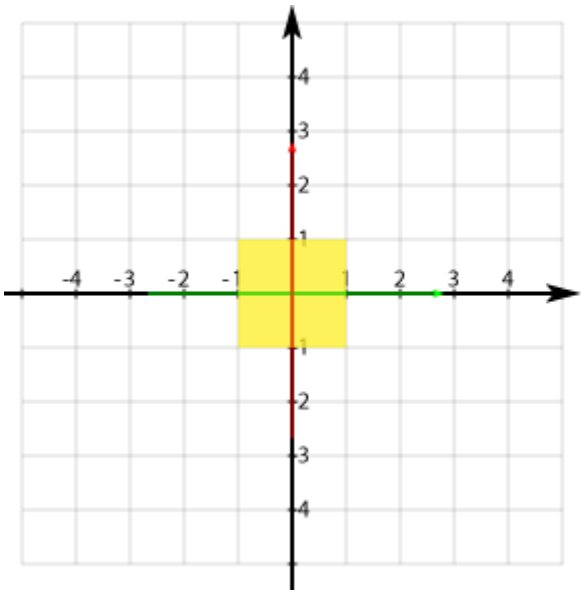


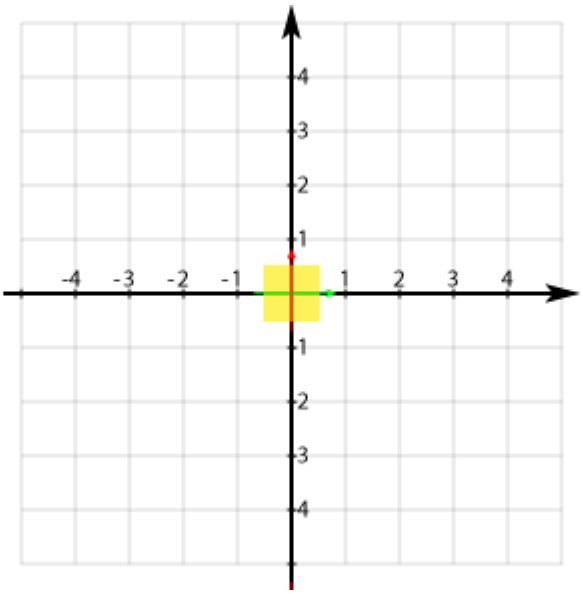
如果调换一下顺序：

帮助

```
1               gl.glScalef(0.5f, 0.5f, 0.5f);

2               gl.glTranslatef(2, 0, 0);
```

结果就有所不同：





矩阵操作，单位矩阵

在进行平移，旋转，缩放变换时，所有的变换都是针对当前的矩阵（与当前矩阵相乘），如果需要将当前矩阵回复最初的无变换的矩阵，可以使用单位矩阵（无平移，缩放，旋转）。

public abstract void glLoadIdentity()。

在栈中保存当前矩阵和从栈中恢复所存矩阵，可以使用

public abstract void glPushMatrix()

和

public abstract void glPopMatrix()。

在进行坐标变换的一个好习惯是在变换前使用 glPushMatrix 保存当前矩阵，完成坐标变换操作后，再调用 glPopMatrix 恢复原先的矩阵设置。

最后利用上面介绍的坐标变换知识，来绘制 3 个正方形 A,B,C。进行缩放变换，使的 B 比 A 小 50%，C 比 B 小 50%。 然后以屏幕中心逆时针旋转 A，B 以 A 为中心顺时针旋转，C 以 B 为中心顺时针旋转同时以自己中心高速逆时针旋转。

修改 onDrawFrame 代码如下：

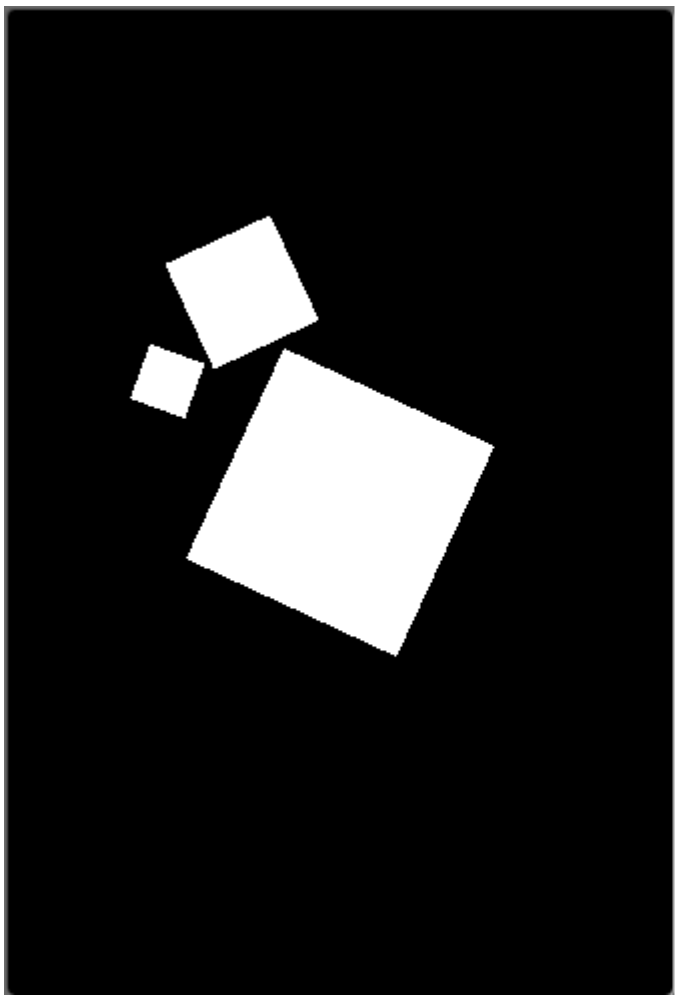
帮助

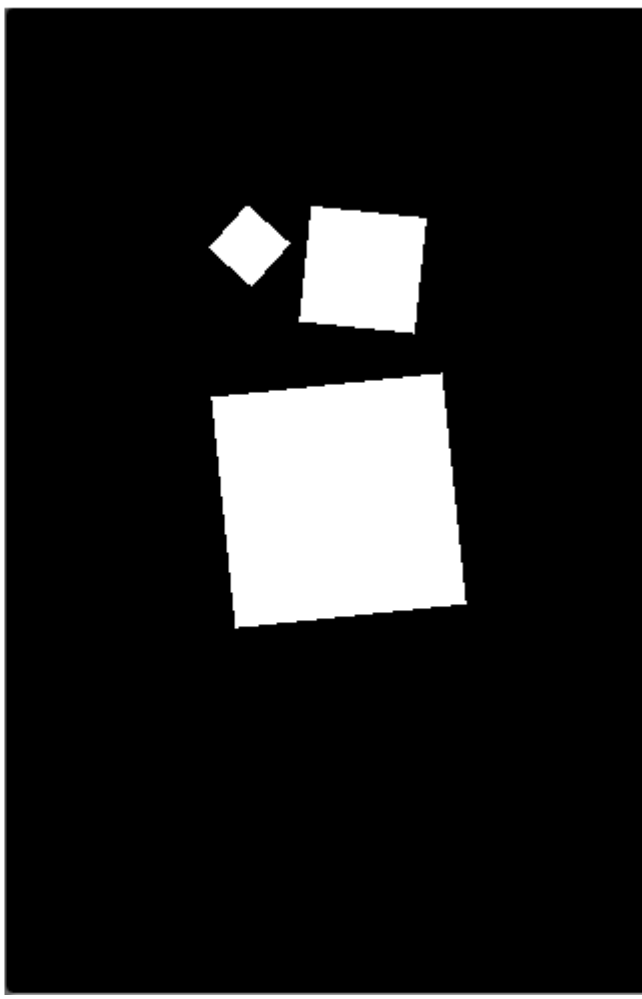
```
1         public void onDrawFrame(GL10 gl) {

2          // Clears the screen and depth buffer.

3          gl.glClear(GL10.GL_COLOR_BUFFER_BIT

4          | GL10.GL_DEPTH_BUFFER_BIT);

5          // Replace the current matrix with the identity matrix

6          gl.glLoadIdentity();

7          // Translates 10 units into the screen.
```

```
8           gl.glTranslatef(0, 0, -10);
9
10          // SQUARE A
11          // Save the current matrix.
12          gl.glPushMatrix();
13          // Rotate square A counter-clockwise.
14          gl.glRotatef(angle, 0, 0, 1);
15          // Draw square A.
16          square.draw(gl);
17          // Restore the last matrix.
18          gl.glPopMatrix();
19
20          // SQUARE B
21          // Save the current matrix
22          gl.glPushMatrix();
23          // Rotate square B before moving it,
24          //making it rotate around A.
25          gl.glRotatef(-angle, 0, 0, 1);
26          // Move square B.
27          gl.glTranslatef(2, 0, 0);
```

```
28          // Scale it to 50% of square A
29          gl.glScalef(.5f, .5f, .5f);
30          // Draw square B.
31          square.draw(gl);
32
33          // SQUARE C
34          // Save the current matrix
35          gl.glPushMatrix();
36          // Make the rotation around B
37          gl.glRotatef(-angle, 0, 0, 1);
38          gl.glTranslatef(2, 0, 0);
39          // Scale it to 50% of square B
40          gl.glScalef(.5f, .5f, .5f);
41          // Rotate around it's own center.
42          gl.glRotatef(angle*10, 0, 0, 1);
43          // Draw square C.
44          square.draw(gl);
45
46          // Restore to the matrix as it was before C.
47          gl.glPopMatrix();
```

```
48          // Restore to the matrix as it was before B.
49          gl.glPopMatrix();
50
51          // Increse the angle.
52          angle++;
53
54          }
```





本例代码下载

Android OpenGL ES 简明开发教程五：添加颜色

发表于 2011 年 05 月 31 日 由 guidebee

前面的例子显示的正方形都是白色，看其来不是很吸引人，本篇介绍如何给 Mesh（网格）添加颜色。OpenGL ES 使用颜色是我们熟知的 RGBA 模式（红，绿，蓝，透明度）。

颜色的定义通常使用 Hex 格式 0xFF00FF 或十进制格式(255,0,255)， 在 OpenGL 中却是使用 0...1 之间的浮点数表示。 0 为 0，1 相当于 255（0xFF)。

最简单的上色方法叫做顶点着色(Vertxt coloring)，可以使用单色，也可以定义颜色渐变或者使用材质（类同于二维图形中各种 Brush 类型）。

Flat coloring（单色）

是通知 OpenGL 使用单一的颜色来渲染，OpenGL 将一直使用指定的颜色来渲染直到你指定其它的颜色。

指定颜色的方法为

public abstract void glColor4f(float red, float green, float blue, float alpha)。

缺省的 red,green,blue 为 1，代表白色。这也是为什么前面显示的正方形都是白色的缘故。

我们创建一个新的类为 FlatColoredSquare，作为 Sequare 的子类，将它的 draw 重定义如下：

```
public void draw(GL10 gl) {

 gl.glColor4f(0.5f, 0.5f, 1.0f, 1.0f);

 super.draw(gl);

}
```

将 OpenGLRenderer 的 square 的类型改为 FlatColoredSquare。

```
private FlatColoredSquare square=new FlatColoredSquare();
```

编译运行，正方形颜色变成了蓝色：

Smooth coloring（平滑颜色过渡）

当给每个顶点定义一个颜色时，OpenGL 自动为不同顶点颜色之间生成中间过渡颜色（渐变色）。

在项目中添加一个 SmoothColoredSquare 类，作为 Square 子类，为每个顶点定义一个颜色值。

```
// The colors mapped to the vertices.

float[] colors = {

 1f, 0f, 0f, 1f, // vertex 0 red
```

```
 0f, 1f, 0f, 1f, // vertex 1 green

 0f, 0f, 1f, 1f, // vertex 2 blue

 1f, 0f, 1f, 1f, // vertex 3 magenta

};
```

颜色定义的顺序和顶点的顺序是一致的。为了提高性能，和顶点坐标一样，我们也把颜色数组放到 Buffer 中：

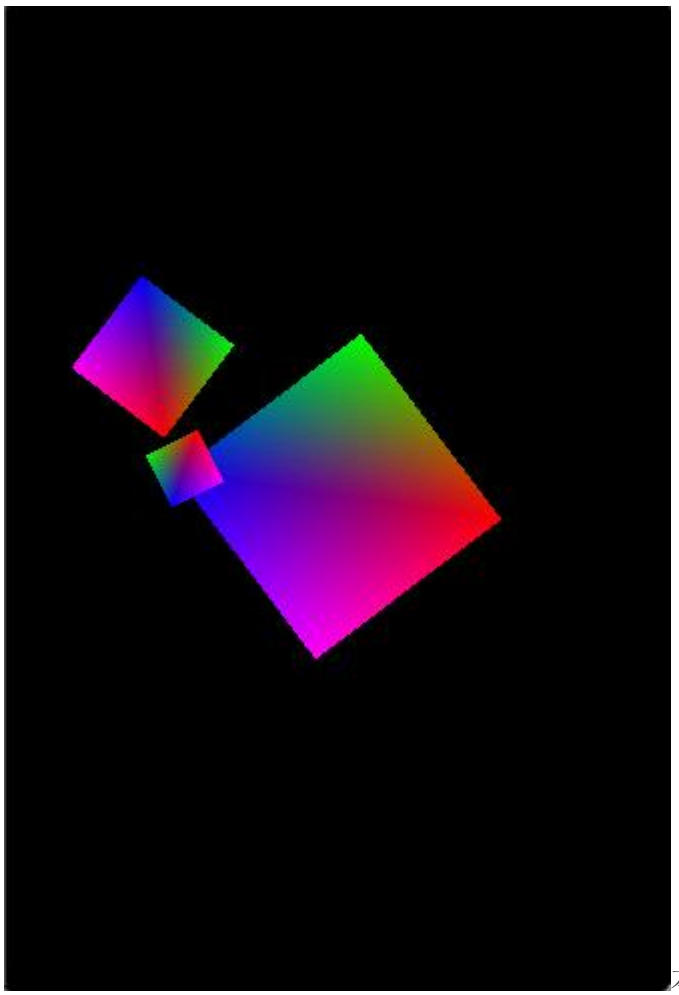
```
// float has 4 bytes, colors (RGBA) * 4 bytes

ByteBuffer cbb

 = ByteBuffer.allocateDirect(colors.length * 4);

cbb.order(ByteOrder.nativeOrder());

colorBuffer = cbb.asFloatBuffer();

colorBuffer.put(colors);

colorBuffer.position(0);
```

最后修改 draw 方法，如下：

```
public void draw(GL10 gl) {

gl.glVertexPointer(3, GL10.GL_FLOAT, 0, vertexBuffer);



// Enable the color array buffer to be

//used during rendering.

gl.glEnableClientState(GL10.GL_COLOR_ARRAY);

// Point out the where the color buffer is.
```

```
gl.glColorPointer(4, GL10.GL_FLOAT, 0, colorBuffer);



super.draw(gl);

// Disable the color buffer.

gl.glDisableClientState(GL10.GL_COLOR_ARRAY);



}
```

将 OpenGLRenderer 中的 Square 类型改成 SmoothColoredSquare，编译运行结果如下：



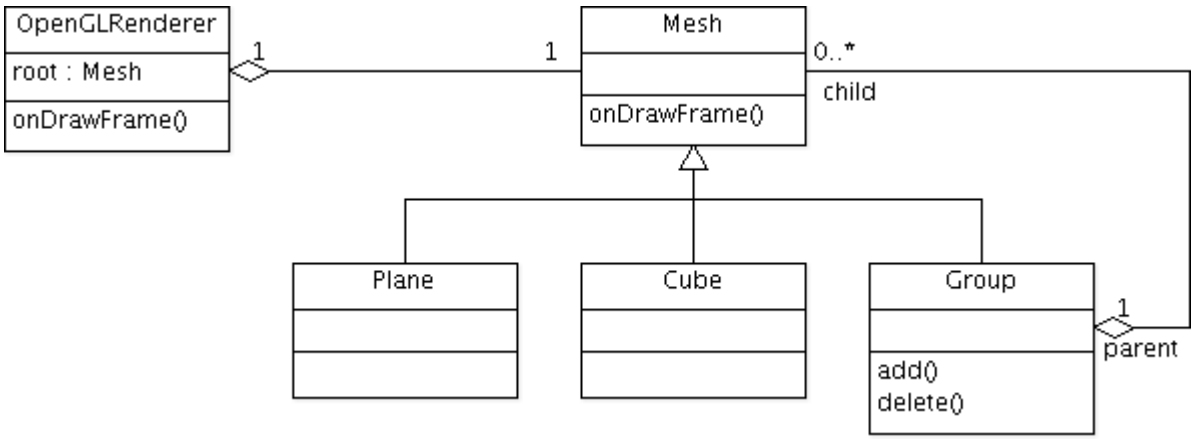
本地示例代码下载

Android OpenGL ES 简明开发教程六：真正的 3D 图形

前面的例子尽管使用了 OpenGL ES 3D 图形库，但绘制的还是二维图形（平面上的正方形）。Mesh（网格，三角面）是构成空间形体的基本元素，前面的正方形也是有两个 Mesh 构成的。本篇将介绍使用 Mesh 构成四面体，椎体等基本空间形体。

Design 设计

在使用 OpenGL 框架时一个好的设计原则是使用“Composite Pattern”，本篇采用如下设计：



Mesh

首先定义一个基类 Mesh,所有空间形体最基本的构成元素为 Mesh（三角形网格），其基本定义如下：

帮助

```
1          public class Mesh {

2           // Our vertex buffer.

3           private FloatBuffer verticesBuffer = null;

4

5           // Our index buffer.
```

```
6           private ShortBuffer indicesBuffer = null;
7
8           // The number of indices.
9           private int numOfIndices = -1;
10
11          // Flat Color
12          private float[] rgba
13          = new float[] { 1.0f, 1.0f, 1.0f, 1.0f };
14
15          // Smooth Colors
16          private FloatBuffer colorBuffer = null;
17
18          // Translate params.
19          public float x = 0;
20
21          public float y = 0;
22
23          public float z = 0;
24
25          // Rotate params.
```

```
26          public float rx = 0;
27
28          public float ry = 0;
29
30          public float rz = 0;
31
32          public void draw(GL10 gl) {
33          // Counter-clockwise winding.
34          gl.glFrontFace(GL10.GL_CCW);
35          // Enable face culling.
36          gl.glEnable(GL10.GL_CULL_FACE);
37          // What faces to remove with the face culling.
38          gl.glCullFace(GL10.GL_BACK);
39          // Enabled the vertices buffer for writing and
40          //to be used during
41          // rendering.
42          gl.glEnableClientState(GL10.GL_VERTEX_ARRAY);
43          // Specifies the location and data format
44          //of an array of vertex
45          // coordinates to use when rendering.
```

```
46          gl.glVertexPointer(3, GL10.GL_FLOAT, 0, verticesBuffer);
47          // Set flat color
48          gl.glColor4f(rgba[0], rgba[1], rgba[2], rgba[3]);
49          // Smooth color
50          if(colorBuffer != null) {
51          // Enable the color array buffer to be
52          //used during rendering.
53          gl.glEnableClientState(GL10.GL_COLOR_ARRAY);
54          gl.glColorPointer(4, GL10.GL_FLOAT, 0, colorBuffer);
55          }
56
57          gl.glTranslatef(x, y, z);
58          gl.glRotatef(rx, 1, 0, 0);
59          gl.glRotatef(ry, 0, 1, 0);
60          gl.glRotatef(rz, 0, 0, 1);
61
62          // Point out the where the color buffer is.
63          gl.glDrawElements(GL10.GL_TRIANGLES, numOfIndices,
64          GL10.GL_UNSIGNED_SHORT, indicesBuffer);
65          // Disable the vertices buffer.
```

```
66          gl.glDisableClientState(GL10.GL_VERTEX_ARRAY);
67          // Disable face culling.
68          gl.glDisable(GL10.GL_CULL_FACE);
69          }
70
71          protected void setVertices(float[] vertices) {
72          // a float is 4 bytes, therefore
73          //we multiply the number if
74          // vertices with 4.
75          ByteBuffer vbb
76          = ByteBuffer.allocateDirect(vertices.length * 4);
77          vbb.order(ByteOrder.nativeOrder());
78          verticesBuffer = vbb.asFloatBuffer();
79          verticesBuffer.put(vertices);
80          verticesBuffer.position(0);
81          }
82
83          protected void setIndices(short[] indices) {
84          // short is 2 bytes, therefore we multiply
85          //the number if
```

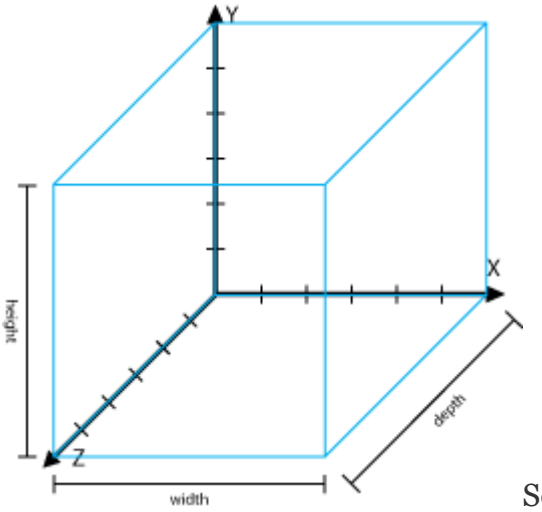
```
86          // vertices with 2.
87          ByteBuffer ibb
88          = ByteBuffer.allocateDirect(indices.length * 2);
89          ibb.order(ByteOrder.nativeOrder());
90          indicesBuffer = ibb.asShortBuffer();
91          indicesBuffer.put(indices);
92          indicesBuffer.position(0);
93          numOfIndices = indices.length;
94          }
95
96          protected void setColor(float red, float green,
97          float blue, float alpha) {
98          // Setting the flat color.
99          rgba[0] = red;
100         rgba[1] = green;
101         rgba[2] = blue;
102         rgba[3] = alpha;
103         }
104
105         protected void setColors(float[] colors) {
```

```
106         // float has 4 bytes.
107         ByteBuffer cbb
108         = ByteBuffer.allocateDirect(colors.length * 4);
109         cbb.order(ByteOrder.nativeOrder());
110         colorBuffer = cbb.asFloatBuffer();
111         colorBuffer.put(colors);
112         colorBuffer.position(0);
113         }
114        }
```

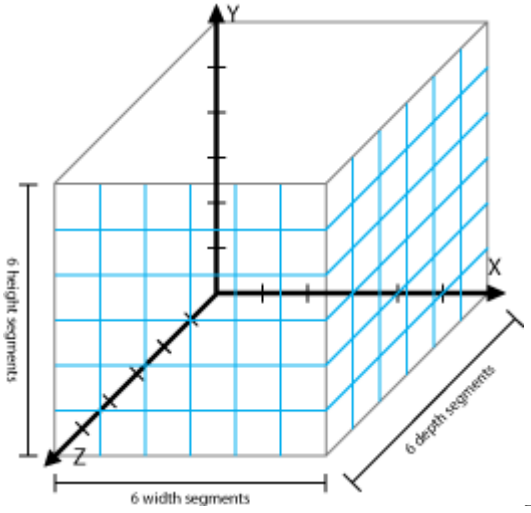
- setVertices 允许子类重新定义顶点坐标。
- setIndices 允许子类重新定义顶点的顺序。
- setColor /setColors 允许子类重新定义颜色。
- x,y,z 定义了平移变换的参数。
- rx,ry,rz 定义旋转变换的参数。

Plane

有了 Mesh 定义之后，再来构造 Plane，plane 可以有宽度，高度和深度，宽度定义为沿 X 轴方向的长度，深度定义为沿 Z 轴方向长度，高度为 Y 轴方向。



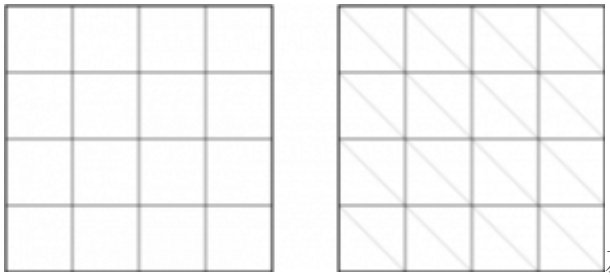
Segments 为形体宽度，高度，深度可以分成的份数。 Segments 在构造一个非均匀分布的 Surface 特别有用，比如在一个游戏场景中，构造地貌，使的 Z 轴的值随机分布在-0.1 到 0.1 之间，然后给它渲染好看的材质就可以造成地图凹凸不平的效果。



上面图形中 Segments 为一正方形，但在 OpenGL 中我们需要使用三角形，所有需要将 Segments 分成两个三角形。为 Plane 定义两个构造函数：

```
// Let you decide the size of the plane but still only one segment.
public Plane(float width, float height)

// For alla your settings.
public Plane(float width, float height, int widthSegments, int heightSegments)
```

比如构造一个 1 unit 宽和 1 unit 高，并分成 4 个 Segments，使用图形表示如下：

 左边的图显示了 segments ,右边的图为需要创建的 Face（三角形）。

Plane 类的定义如下：

帮助

```
1         public class Plane extends Mesh {
2          public Plane() {
3          this(1, 1, 1, 1);
4          }
5
6          public Plane(float width, float height) {
7          this(width, height, 1, 1);
8          }
9
10         public Plane(float width, float height, int widthSegments,
11         int heightSegments) {
12         float[] vertices
13         = new float[(widthSegments + 1)
14         * (heightSegments + 1) * 3];
```

```
15          short[] indices
16          = new short[(widthSegments + 1)
17          * (heightSegments + 1)* 6];
18
19          float xOffset = width / -2;
20          float yOffset = height / -2;
21          float xWidth = width / (widthSegments);
22          float yHeight = height / (heightSegments);
23          int currentVertex = 0;
24          int currentIndex = 0;
25          short w = (short) (widthSegments + 1);
26          for (int y = 0; y < heightSegments + 1; y++) {
27          for (int x = 0; x < widthSegments + 1; x++) {
28          vertices[currentVertex] = xOffset + x * xWidth;
29          vertices[currentVertex + 1] = yOffset + y * yHeight;
30          vertices[currentVertex + 2] = 0;
31          currentVertex += 3;
32
33          int n = y * (widthSegments + 1) + x;
34
```

```
35          if(y < heightSegments && x < widthSegments) {
36          // Face one
37          indices[currentIndex] = (short) n;
38          indices[currentIndex + 1] = (short) (n + 1);
39          indices[currentIndex + 2] = (short) (n + w);
40          // Face two
41          indices[currentIndex + 3] = (short) (n + 1);
42          indices[currentIndex + 4] = (short) (n + 1+ w);
43          indices[currentIndex + 5] = (short) (n + 1+ w - 1);
44
45          currentIndex += 6;
46          }
47          }
48          }
49
50          setIndices(indices);
51          setVertices(vertices);
52          }
53        }
```

Cube

下面来定义一个正方体（Cube），为简单起见，这个四面体只可以设置宽度，高度，和深度，没有和 Plane 一样提供 Segments 支持。

帮助

```
1          public class Cube extends Mesh {
2           public Cube(float width, float height, float depth) {
3           width  /= 2;
4           height /= 2;
5           depth  /= 2;
6
7           float vertices[] = { -width, -height, -depth, // 0
8           width, -height, -depth, // 1
9           width,  height, -depth, // 2
10          -width,  height, -depth, // 3
11          -width, -height,  depth, // 4
12          width, -height,  depth, // 5
13          width,  height,  depth, // 6
14          -width,  height,  depth, // 7
15          };
16
17          short indices[] = { 0, 4, 5,
18          0, 5, 1,
```

```
19          1, 5, 6,
20          1, 6, 2,
21          2, 6, 7,
22          2, 7, 3,
23          3, 7, 4,
24          3, 4, 0,
25          4, 7, 6,
26          4, 6, 5,
27          3, 0, 1,
28          3, 1, 2, };
29
30          setIndices(indices);
31          setVertices(vertices);
32          }
33        }
```

Group

Group 可以用来管理多个空间几何形体，如果把 Mesh 比作 Android 的 View ,Group 可以看作 Android 的 ViewGroup，Android 的 View 的设计也是采用的“Composite Pattern”。

Group 的主要功能是把针对 Group 的操作（如 draw)分发到 Group 中的每个成员对应的操作（如 draw)。

Group 定义如下：

帮助

```
1          public class Group  extends Mesh {
2           private Vector<Mesh>  children  =  new Vector<Mesh>();
3
4           @Override
5           public void draw(GL10 gl) {
6           int size  =  children.size();
7           for( int i  =  0; i  <  size;  i++)
8           children.get(i).draw(gl);
9           }
10
11          /**
12          * @param location
13          * @param object
14          * @see java.util.Vector#add(int, java.lang.Object)
15          */
16          public void add(int location,  Mesh  object) {
17          children.add(location,  object);
18          }
```

```
19
20          /**
21          * @param object
22          * @return
23          * @see java.util.Vector#add(java.lang.Object)
24          */
25          public boolean add(Mesh object) {
26          return children.add(object);
27          }
28
29          /**
30          *
31          * @see java.util.Vector#clear()
32          */
33          public void clear() {
34          children.clear();
35          }
36
37          /**
38          * @param location
```

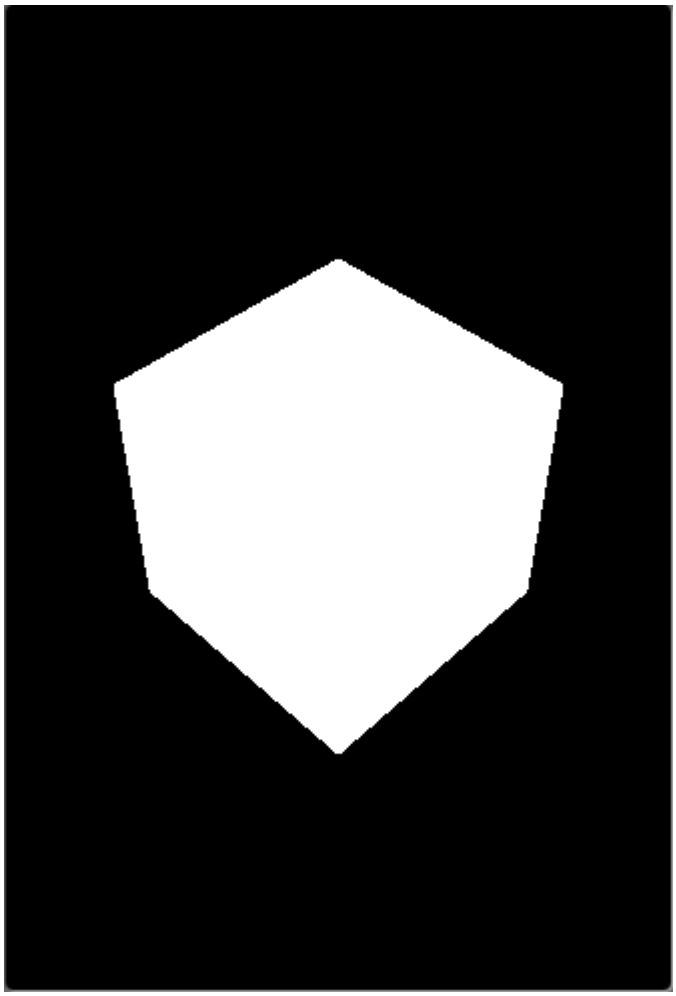
```
39          * @return
40          * @see java.util.Vector#get(int)
41          */
42          public Mesh get(int location) {
43          return children.get(location);
44          }
45
46          /**
47          * @param location
48          * @return
49          * @see java.util.Vector#remove(int)
50          */
51          public Mesh remove(int location) {
52          return children.remove(location);
53          }
54
55          /**
56          * @param object
57          * @return
58          * @see java.util.Vector#remove(java.lang.Object)
```

```
59          */
60          public boolean remove(Object object) {
61          return children.remove(object);
62          }
63
64          /**
65          * @return
66          * @see java.util.Vector#size()
67          */
68          public int size() {
69          return children.size();
70          }
71
72         }
```

其它建议

上面我们定义里 Mesh, Plane, Cube 等基本空间几何形体，对于构造复杂图形（如人物），可以预先创建一些通用的几何形体，如果在组合成较复杂的形体。除了上面的基本形体外，可以创建如 Cone，Pryamid, Cylinder 等基本形体以备后用。

本例示例代码下载，显示结果如下：



Android OpenGL ES 简明开发教程七：材质渲染

前面讨论了如何给 3D 图形染色，更一般的情况是使用位图来给 Mesh 上色（渲染材质）。主要步骤如下：

创建 Bitmap 对象

使用材质渲染，首先需要构造用来渲染的 Bitmap 对象，Bitmap 对象可以从资源文件中读取或是从网络下载或是使用代码构造。为简单起见，本例从资源中读取：

帮助

```
1       Bitmap bitmap = BitmapFactory.decodeResource(contect.getResources(),

2        R.drawable.icon);
```

要注意的是，有些设备对使用的 Bitmap 的大小有要求，要求 Bitmap 的宽度和长度为 2 的几次幂（1，2，4，8，16，32，64.。。。），如果使用不和要求的 Bitmap 来渲染，可能只会显示白色。

创建材质(Generating a texture)

下一步使用 OpenGL 库创建一个材质(Texture)，首先是获取一个 Texture Id。

帮助

```
1       // Create an int array with the number of textures we want,

2       // in this case 1.

3       int[] textures = new int[1];

4       // Tell OpenGL to generate textures.

5       gl.glGenTextures(1, textures, 0);
```

textures 中存放了创建的 Texture ID，使用同样的 Texture Id ，也可以来删除一个 Texture：

帮助

```
1           // Delete a texture.

2           gl.glDeleteTextures(1, textures, 0)
```

有了 Texture Id 之后，就可以通知 OpenGL 库使用这个 Texture：

帮助

```
1         gl.glBindTexture(GL10.GL_TEXTURE_2D, textures[0]);
```

设置 Texture 参数 glTexParameter

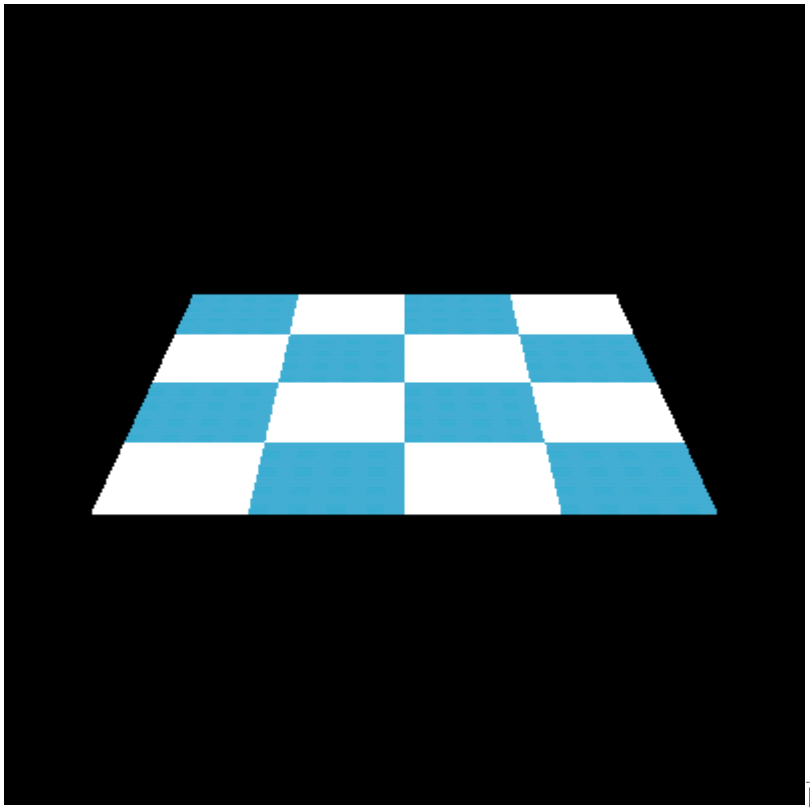
下一步需要给 Texture 填充设置参数，用来渲染的 Texture 可能比要渲染的区域大或者小，这是需要设置 Texture 需要放大或是缩小时 OpenGL 的模式：

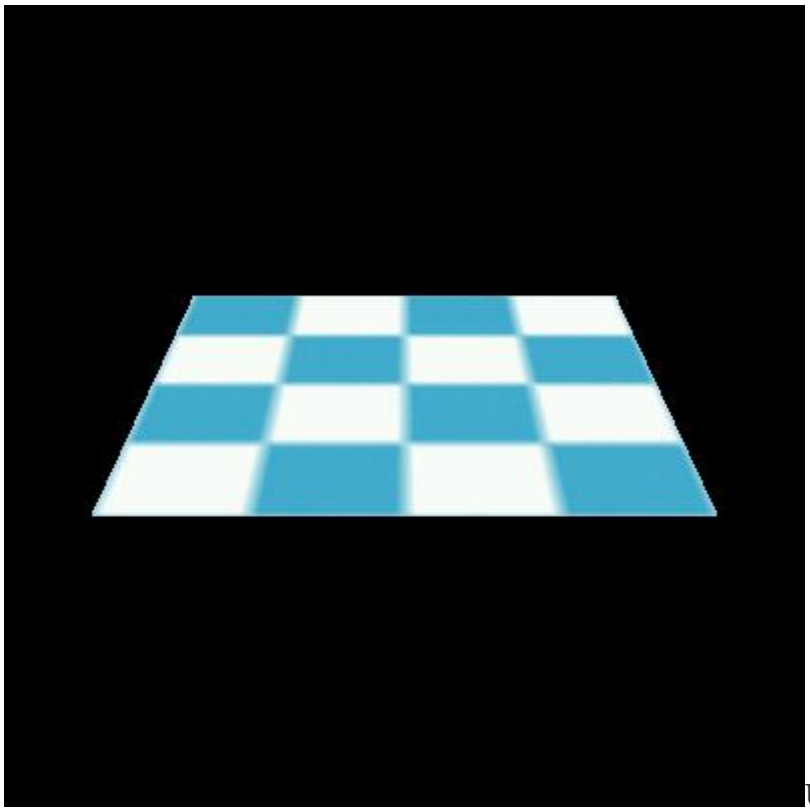
帮助

```
1         // Scale up if the texture if smaller.
2         gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D,
3          GL10.GL_TEXTURE_MAG_FILTER,
4          GL10.GL_LINEAR);
5
6         // scale linearly when image smalled than texture
7         gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D,
8          GL10.GL_TEXTURE_MIN_FILTER,
9          GL10.GL_LINEAR);
```

常用的两种模式为 GL10.GL_LINEAR 和 GL10.GL_NEAREST。

需要比较清晰的图像使用 GL10.GL_NEAREST：

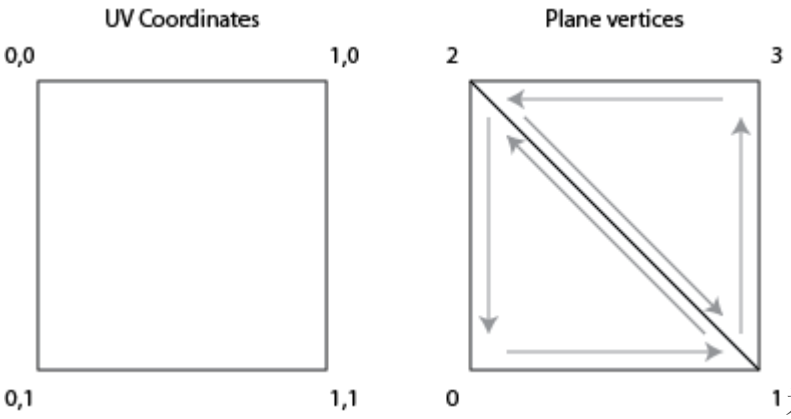
 而使用 GL10.GL_LINEAR 则会得到一个较模糊的图像：

 **UV Mapping**

下一步要告知 OpenGL 库如何将 Bitmap 的像素映射到 Mesh 上。这可以分为两步来完成：

定义 UV 坐标

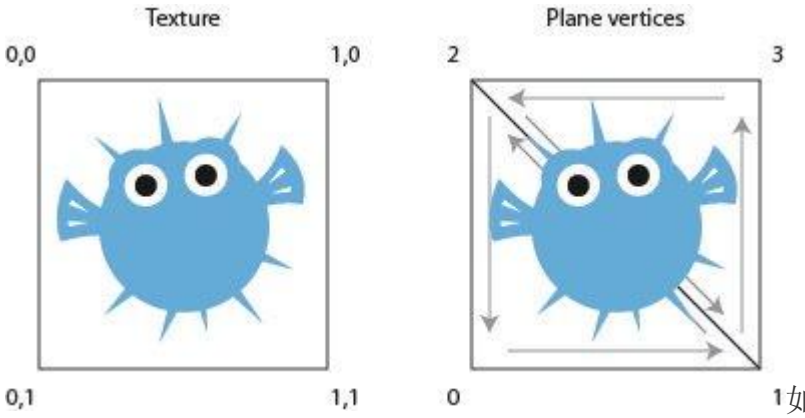
UV Mapping 指将 Bitmap 的像素映射到 Mesh 上的顶点。UV 坐标定义为左上角（0，0），右下角（1，1）（因为使用的 2D Texture)，下图坐标显示了 UV 坐标，右边为我们需要染色的平面的顶点顺序：



为了能正确的匹配，需要把 UV 坐标中的（0，1）映射到顶点 0，（1，1）映射到顶点 2 等等。

帮助

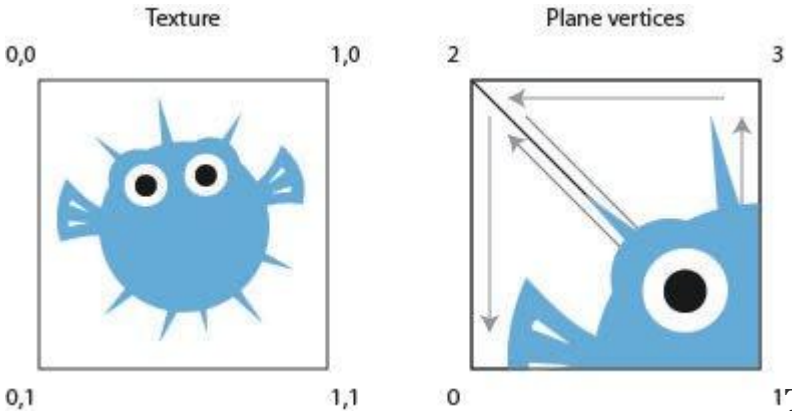
```
1           float textureCoordinates[] = {0.0f, 1.0f,

2            1.0f, 1.0f,

3            0.0f, 0.0f,

4            1.0f, 0.0f };
```



如果使用如下坐标定义：

帮助

```
1           float textureCoordinates[] = {0.0f, 0.5f,

2            0.5f, 0.5f,

3            0.0f, 0.0f,

4            0.5f, 0.0f };
```



Texture 匹配到 Plane 的左上角部分。

而

帮助

```
1           float textureCoordinates[] = {0.0f, 2.0f,

2            2.0f, 2.0f,
```

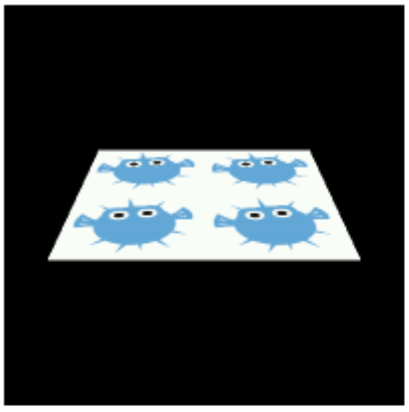
```
3            0.0f, 0.0f,

4            2.0f, 0.0f };
```

将使用一些不存在的 Texture 去渲染平面(UV 坐标为 0，0-1，1 而 (0,0)-(2,2) 定义超过 UV 定义的大小），这时需要告诉 OpenGL 库如何去渲染这些不存在的 Texture 部分。

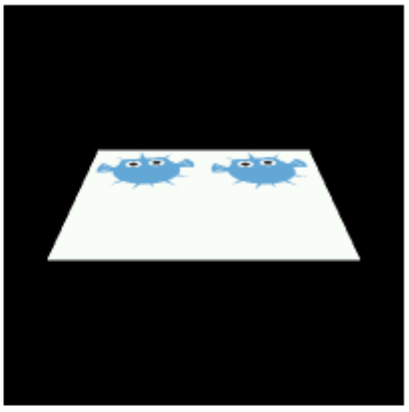
有两种设置

- **GL_REPEAT** 重复 Texture。
- **GL_CLAMP_TO_EDGE** 只靠边线绘制一次。

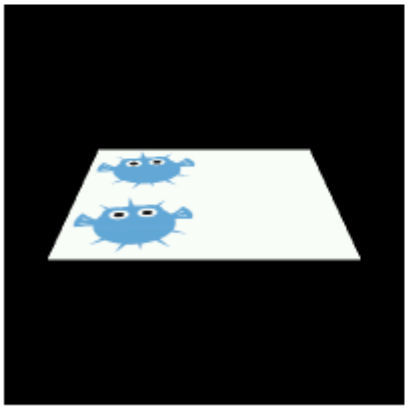
下面有四种不同组合：



WRAP_S: GL_REPEAT
WRAP_T: GL_REPEAT



WRAP_S: GL_REPEAT
WRAP_T: GL_CLAMP_TO_EDGE



WRAP_S: GL_CLAMP_TO_EDGE
WRAP_T: GL_REPEAT

WRAP_S: GL_CLAMP_TO_EDGE
WRAP_T: GL_CLAMP_TO_EDGE

本例使用如下配置：

帮助

```
1           gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D,
2            GL10.GL_TEXTURE_WRAP_S,
3            GL10.GL_REPEAT);
4           gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D,
5            GL10.GL_TEXTURE_WRAP_T,
6            GL10.GL_REPEAT);
```

然后是将 Bitmap 资源和 Texture 绑定起来：

帮助

```
1        GLUtils.texImage2D(GL10.GL_TEXTURE_2D, 0, bitmap, 0);
```

使用 Texture

为了能够使用上面定义的 Texture，需要创建一 Buffer 来存储 UV 坐标：

帮助

```
1       FloatBuffer byteBuf = ByteBuffer.allocateDirect(texture.length * 4);
2       byteBuf.order(ByteOrder.nativeOrder());
3       textureBuffer = byteBuf.asFloatBuffer();
4       textureBuffer.put(textureCoordinates);
5       textureBuffer.position(0);
```

渲染

帮助

```
1         // Telling OpenGL to enable textures.
2         gl.glEnable(GL10.GL_TEXTURE_2D);
3         // Tell OpenGL where our texture is located.
4         gl.glBindTexture(GL10.GL_TEXTURE_2D, textures[0]);
5         // Tell OpenGL to enable the use of UV coordinates.
6         gl.glEnableClientState(GL10.GL_TEXTURE_COORD_ARRAY);
7         // Telling OpenGL where our UV coordinates are.
8         gl.glTexCoordPointer(2, GL10.GL_FLOAT, 0, textureBuffer);
9
10        // ... here goes the rendering of the mesh ...
11
12        // Disable the use of UV coordinates.
13        gl.glDisableClientState(GL10.GL_TEXTURE_COORD_ARRAY);
14        // Disable the use of textures.
15        gl.glDisable(GL10.GL_TEXTURE_2D);
```

本例代码是在一个平面上（SimplePlane）下使用 Texture 来渲染，首先是修改 Mesh 基类，使它能够支持定义 UV 坐标：

帮助

```
1         // Our UV texture buffer.
2         private FloatBuffer mTextureBuffer;
```

```
3
4         /**
5          * Set the texture coordinates.
6          *
7          * @param textureCoords
8          */
9         protected void setTextureCoordinates(float[] textureCoords) {
10         // float is 4 bytes, therefore we multiply the number if
11         // vertices with 4.
12         ByteBuffer byteBuf = ByteBuffer.allocateDirect(
13         textureCoords.length * 4);
14         byteBuf.order(ByteOrder.nativeOrder());
15         mTextureBuffer = byteBuf.asFloatBuffer();
16         mTextureBuffer.put(textureCoords);
17         mTextureBuffer.position(0);
18        }
```

并添加设置 Bitmap 和创建 Texture 的方法：

帮助

```
1         // Our texture id.
2         private int mTextureId = -1;
```

```
3
4       // The bitmap we want to load as a texture.
5       private Bitmap mBitmap;
6
7       /**
8        * Set the bitmap to load into a texture.
9        *
10       * @param bitmap
11       */
12      public void loadBitmap(Bitmap bitmap) {
13       this.mBitmap = bitmap;
14       mShouldLoadTexture = true;
15      }
16
17      /**
18       * Loads the texture.
19       *
20       * @param gl
21       */
22      private void loadGLTexture(GL10 gl) {
```

```
23        // Generate one texture pointer...
24        int[] textures = new int[1];
25        gl.glGenTextures(1, textures, 0);
26        mTextureId = textures[0];
27
28        // ...and bind it to our array
29        gl.glBindTexture(GL10.GL_TEXTURE_2D, mTextureId);
30
31        // Create Nearest Filtered Texture
32        gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D, GL10.GL_TEXTURE_MIN_FILTER,
33        GL10.GL_LINEAR);
34        gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D, GL10.GL_TEXTURE_MAG_FILTER,
35        GL10.GL_LINEAR);
36
37        // Different possible texture parameters, e.g. GL10.GL_CLAMP_TO_EDGE
38        gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D, GL10.GL_TEXTURE_WRAP_S,
39        GL10.GL_CLAMP_TO_EDGE);
40        gl.glTexParameterf(GL10.GL_TEXTURE_2D, GL10.GL_TEXTURE_WRAP_T,
41        GL10.GL_REPEAT);
42
```

```
43          // Use the Android GLUtils to specify a two-dimensional texture image
44          // from our bitmap
45          GLUtils.texImage2D(GL10.GL_TEXTURE_2D, 0, mBitmap, 0);
46        }
```

最后修改 draw 方法来渲染材质：

帮助

```
1         // Indicates if we need to load the texture.
2         private boolean mShouldLoadTexture = false;
3
4         /**
5          * Render the mesh.
6          *
7          * @param gl
8          *            the OpenGL context to render to.
9          */
10        public void draw(GL10 gl) {
11          ...
12
13          // Smooth color
14          if (mColorBuffer != null) {
```

```
15          // Enable the color array buffer to be used during rendering.
16          gl.glEnableClientState(GL10.GL_COLOR_ARRAY);
17          gl.glColorPointer(4, GL10.GL_FLOAT, 0, mColorBuffer);
18          }
19
20          if(mShouldLoadTexture) {
21          loadGLTexture(gl);
22          mShouldLoadTexture = false;
23          }
24          if(mTextureId != -1 && mTextureBuffer != null) {
25          gl.glEnable(GL10.GL_TEXTURE_2D);
26          // Enable the texture state
27          gl.glEnableClientState(GL10.GL_TEXTURE_COORD_ARRAY);
28
29          // Point to our buffers
30          gl.glTexCoordPointer(2, GL10.GL_FLOAT, 0, mTextureBuffer);
31          gl.glBindTexture(GL10.GL_TEXTURE_2D, mTextureId);
32          }
33
34          gl.glTranslatef(x, y, z);
```

```
35
36          ...
37
38          // Point out the where the color buffer is.
39          gl.glDrawElements(GL10.GL_TRIANGLES, mNumOfIndices,
40          GL10.GL_UNSIGNED_SHORT, mIndicesBuffer);
41
42          ...
43
44          if(mTextureId != -1 && mTextureBuffer != null) {
45          gl.glDisableClientState(GL10.GL_TEXTURE_COORD_ARRAY);
46          }
47
48          ...
49
50        }
```

本例使用的 SimplePlane 定义如下：

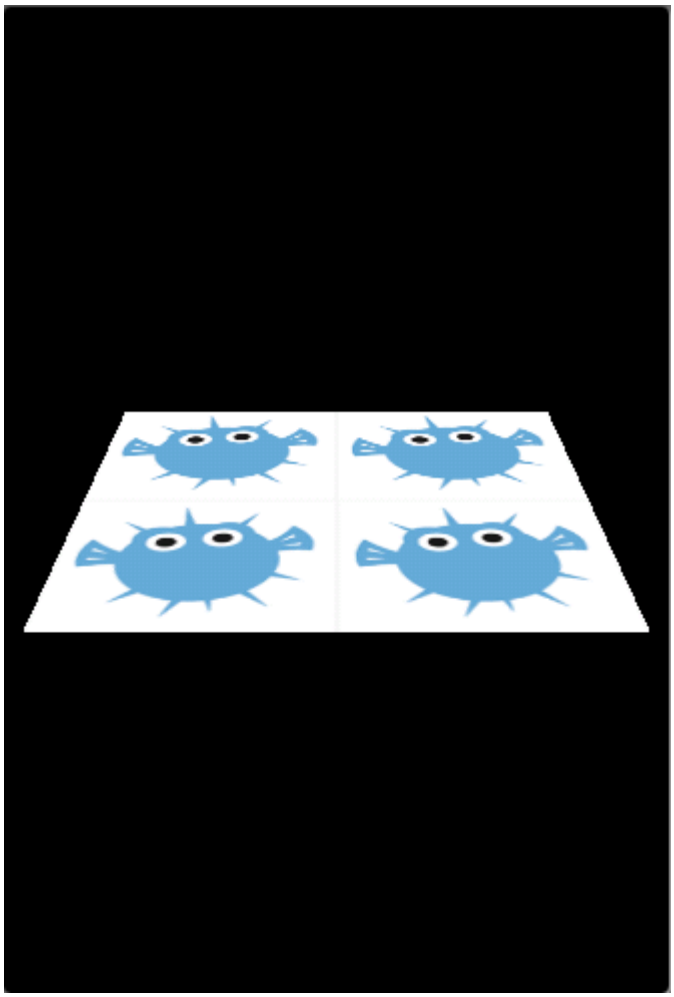
帮助

```
1       package se.jayway.opengl.tutorial.mesh;
2
```

```
3       /**
4        * SimplePlane is a setup class for Mesh that creates a plane mesh.
5        *
6        * @author Per-Erik Bergman (per-erik.bergman@jayway.com)
7        *
8        */
9       public class SimplePlane extends Mesh {
10       /**
11       * Create a plane with a default with and height of 1 unit.
12       */
13       public SimplePlane() {
14       this(1, 1);
15       }
16
17       /**
18       * Create a plane.
19       *
20       * @param width
21       *            the width of the plane.
22       * @param height
```

```
23          *            the height of the plane.
24          */
25          public SimplePlane(float width, float height) {
26          // Mapping coordinates for the vertices
27          float textureCoordinates[] = { 0.0f, 2.0f, //
28          2.0f, 2.0f, //
29          0.0f, 0.0f, //
30          2.0f, 0.0f, //
31          };
32
33          short[] indices = new short[] { 0, 1, 2, 1, 3, 2 };
34
35          float[] vertices = new float[] { -0.5f, -0.5f, 0.0f,
36          0.5f, -0.5f, 0.0f,
37          -0.5f,  0.5f, 0.0f,
38          0.5f, 0.5f, 0.0f };
39
40          setIndices(indices);
41          setVertices(vertices);
42          setTextureCoordinates(textureCoordinates);
```

```
43          }
44      }
```



本例示例代码下载 ，到本篇为止介绍了 OpenGL ES 开发的基本方法，更详细的教程将在以后发布，后面先回到 Android ApiDemos 中 OpenGL ES 的示例。
。