OpenGL 完全教程 第五章 颜色、光照和材质

作者：何咏　　日期：2006-2-3 20:53:31　点击：4493

第五章　颜色、光照和材质

在第四章的示例程序中，我们使用了光照效果，这使得图形更加逼真。本章就要具体讲解 OpenGL 中的色彩调配和光照系统。学习本章，你将了解：

- 在 OpenGL 中设置物体的颜色
- OpenGL 中光源的种类及创建方法
- 为顶点指定法线
- 设置物体的材质

5.1 OpenGL 中的颜色

在未使用光照系统的前提下，我们可以直接为图元指定颜色。在传入顶点之前调用 glColor 函数，就可以为即将指定的顶点设置颜色。例如:

```
    glBegin(GL_TRIANGLES);
  glColor3ub(255,0,0);
  glVertex3f(0,1,0);
  glVertex3f(1,0,1);
  glVertex3f(1,1,0);
glEnd;
```

将绘制一个红色的三角形。在绘制图元时，OpenGL 会自动将图元的第一个顶点的颜色作为整个图元的颜色。但有些时候，你可能希望为一个图元的各个顶点指定不同的颜色，使它们自然过度，就像图 5.1-1 那样。

图 5.1-1

这时，我们需要在绘制图元之前调用如下函数：

glShadeModel(GL_SMOOTH);

让 OpenGL 对顶点之间的颜色进行平滑过度。你可以把参数改为 GL_FLAT，禁止 OpenGL 对顶点进行平滑过度。

5.2 OpenGL 光照模效果的原理

OpenGL 的光照模型是用来模拟现实生活中的光照的。你可以使用 OpenGL 中的光照模型以产生逼真的光照图象。它根据顶点的法线向量和光源的位置决定顶点的明暗程度，根据顶点的材质和光源中三原色的成分来决定物体将表现出怎样的颜色。有关法线是如何能够决定明暗程度的，在初中物理课本中已经有了详细的讲解，这里不再复述。

值得一提的是材质。OpenGL 中的材质并非我们平常所说的组成物体的元素(如木材、金属材质)，而是指一个物体对不同颜色的光的反射和吸收程度。比如，在光照系统中，如果一个物体表现为红色，则是因为这个物体吸收了从光源放射出来的绿色和蓝色光，而将绝大多数红色的光反射了出来。正因如此，一旦你开启了光照系统，就要通过指定物体的材质来决定这个物体是什么颜色。既然这样，你可能会想到怎样表现类似金属、玻璃等物质质感，但这些除了要使用光照系统并为它们指定合适的材质外，还要使用纹理贴图来表现质感。有关纹理贴图我们会在今后讲到。

使用 OpenGL 的光照模型包括以下几个步骤：

- 设置光源的种类、位置和方向(对于平行光源)
- 为每个图元的每个顶点指定它的法线向量
- 为各个图元指定它的材质
- 启用光照模型

5.3 设置光源

5.3.1 光源的种类

环境光

环境光是一种无处不在的光。环境光源放出的光线被认为来自任何方向。因此，当你仅为场景指定环境光时，所有的物体无论法向量如何，都将表现为同样的明暗程度。

点光源

由这种光源放出的光线来自同一点，且方向辐射自四面八方，如图 5.3-1 所示。

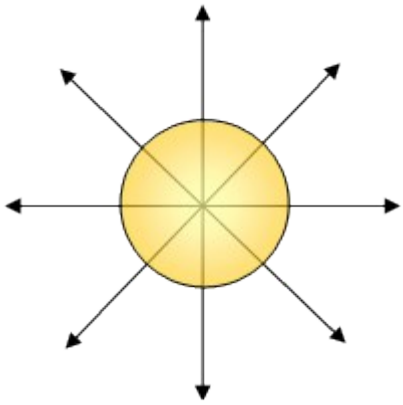

图 5.3-1 点光源示例

平行光

平行光又称镜面光，这种光线是互相平行的。从手电筒、太阳等物体射出的光线都属于平行光。如图 5.3-2 所示。

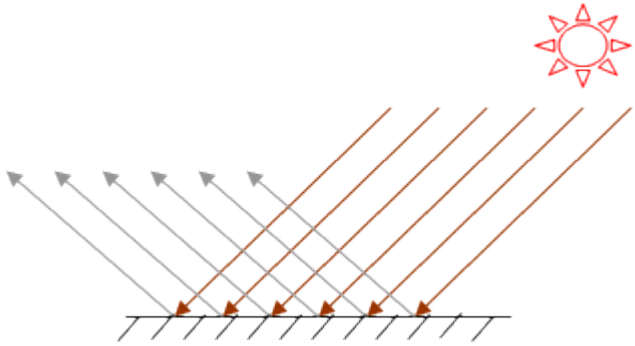

图 5.3-2 平行光

聚光灯

这种光源的光线从一个锥体中射出，在被照射的物体上产生聚光的效果。使用这种光源需要指定光的射出方向以及锥体的顶角 α。如图 5.3-3 所示。

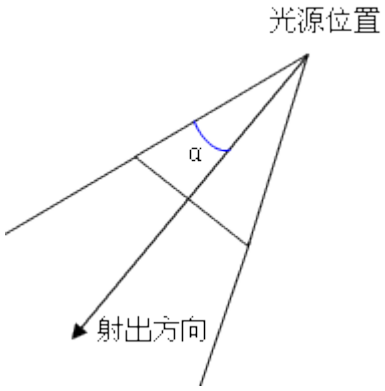

图 5.3-3 聚光灯

5.3.2 光的成分

对于每一种光源，都有漫射光和平行光两种成分。在 OpenGL 中，环境光也被作为一种特殊的光源的成分来看待。漫射光是指在光源中能够被漫反射的光的颜色成分(白色则包含所有颜色)，而平行光是

指光源中所有能够被镜面反射的光的颜色成分。通过指定这两种成分的颜色，就能决定光源是平行光源还是点光源。

5.3.3 设置光源成分

OpenGL 可以同时为我们提供 8 个有效的光源。也就是说，我们最多可以同时启用 8 个光源。它们分别是 GL_LIGHT0，GL_LIGHT1，GL_LIGHT2 …… 其中，GL_LIGHT0 是最特殊的一个光源。我们可以为 GL_LIGHT0 指定环境光成分。在本章所有示例代码中，都只用到 GL_LIGHT0 这个光源。

5.3.3.1 设置环境光

对于 GL_LIGHT0，我们可以为其指定环境光成分。我们可以调用 glLightf 或 glLightfv 函数来设置光源的各项参数。glLightf 用来设置一个数值参数，而 glLightfv 传入一个数组参数。调用

glLightfv(GL_LIGHT0,GL_AMBIENT,@ambientLight);

来设置场景的环境光。在上述函数调用中，第一个参数表示我们要对 GL_LIGHT0 进行设置，第二个参数表示我们要设置的是环境光成分，第三个参数则是一个数组，它有 4 个值，分别表示光源中含有红、绿、蓝三种光线的成分。一般情况下都为 1，最后一项为透明度值，一般也为 1。完整的代码是这样的：

```
procedure SetLight;
var AmbientLight:array[1..4] of Single;
begin
  AmbientLight[1]:=1;AmbientLight[2]:=1;AmbientLight[3]:=1;AmbientLight[4
]:=1;
  glLightfv(GL_LIGHT0,GL_AMBIENT,@AmbientLight);
  glEnable(GL_LIGHT0);
  glEnable(GL_LIGHTING);
end;
```

请注意在上述代码的第三行和第四行我们分别调用了 glEnable 函数开启 GL_LIGHT0 光源和光照系统。

5.3.3.2 设置漫射光成分

通过对漫射光成分的设置，我们可以产生一个点光源。方法和设置环境光成分相似，只需调用

glLightfv(GL_LIGHT0,GL_DIFFUSE,@DiffuseLight);

即可。其中 DiffuseLight 是漫射光的颜色成分。一般情况下也为(1,1,1,1)。

5.3.3.3 设置镜面光成分

通过对镜面光成分的设置，我们可以产生一个平行光源。方法和设置漫射光成分相似，只需调用

glLightfv(GL_LIGHT0,GL_SPECULAR,@SpecularLight);

即可。其中 SpecularLight 是漫射光的颜色成分。可以根据不同需要指定不同的颜色。

5.3.4 设置光源的位置

对于点光源和平行光源，我们常常需要指定光源的位置来产生需要的效果。方法仍然是调用 glLightfv 函数，仅仅是换换参数而已：

glLightfv(GL_LIGHT0,GL_POSITION,@LightPosition);

其中,LightPosition 也是一个四维数组，四维数组的前 3 项依次为光源位置的 X,Y,Z 分量，第四个值很特殊，一般为 1 或-1。当 LightPosition[4]=-1 的时候，表示光源位于距离场景无限远的地方，无论前面设置的 X,Y,Z 是什么值。当 LightPosition[4]=1 时，光源的位置就是前三项所指定的位置。

5.3.5 创建聚光灯

5.3.5.1 设置光源剪裁角度

调用

glLightf(GL_LIGHT0,GL_SPOT_CUTOFF,LightCutOff);

LightCutOff 为聚光灯中图 5.3-2 所示的 α 角，即聚光灯圆锥的顶角。默认情况下，这个值是 180°,即一个点光源。

5.3.5.2 设置光线衰减系数

我们知道，光线在空气中传播时，由于大气中的悬浮颗粒和小水珠的折射和吸收作用，会使光线的强度不断衰减。为了实现这一效果，我们可以调用

glLightf(GL_LIGHT0,AttenuationWay,SpotAttenuation);

来设置光源的衰减系数。其中 AttenuationWay 可以取以下几个值：

GL_CONSTANT_ATTENUATION -- 表示光线按常熟衰减(与距离无关)

GL_LINEAR_ATTENUATION -- 表示光线按距离线性衰减

GL_QUADRATIC_ATTENUATION -- 表示光线按距离以二次函数衰减。

参数 SpotAttenuation 为光线的衰减系数。

5.3.5.3 设置光照方向

可以调用

```
glLightfv(GL_LIGHT0,GL_SPOT_DIRECTION,@SpotDir);
```

其中，SpotDir 是一个三维数组，是一个表示聚光灯照射方向的向量。

5.3.5.4 设置聚光指数

最后，应调用

```
glLightfv(GL_LIGHT0,GL_SPOT_EXPONENT,SpotExponent);
```

设置聚光指数。SpotExponent 指定了聚光灯的聚光强度。

至此，我们完成了所有可能的光源设置。但仅仅设置光源是不够的，我们还必须在绘制物体之前指定图元的一些参数，以让 OpenGL 的光照系统能够正常运行。

5.4 为图元指定法向量

OpenGL 必须通过图元的法线向量来确定图元的明暗程度。只有场景中的物体有了明暗的不同，场景才有立体感。对比图 5.4-1 和 5.4-2，你就能更好地理解这一点。

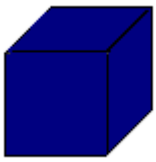

图 5.4-1 无明暗效果

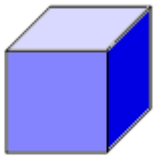

图 5.4-2 有明暗效果

确定一个平面的法向量是一件相当简单的事情。在一个平面上，随意寻找两个互不平行的向量，它们的外积(叉积)就是这个平面的法线。如图 5.4-3 所示。

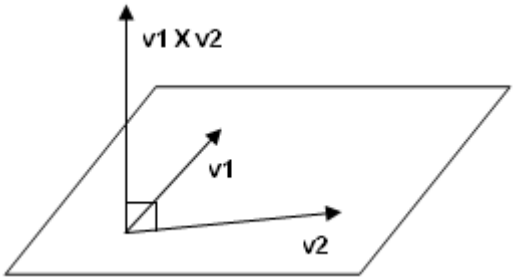

图 5.4-3 两向量外积

计算两向量的外积可以使用公式：

$$Sx = UyVz - UzVy$$
$$Sy = UzVx - UxVz$$
$$Sz = UxVy - UyVx$$

上述公式中，U、V 为两不平行向量，S 为 U、V 的外积(即 U×V)。计算完外积之后，我们还需要将得到的向量转换为单位向量。只要将一个向量的 x、y、z 因子全部除以该向量的模就可以得到单位向

量。因此，可以使用下面的代码计算一个三角形的法线向量。

```
type
  //定义向量数据类型
  T3DVector = record
                X,Y,Z:Single;
              end;
...
function CalcTriangleNormal(P1,P2,P3:T3DVector):T3DVector;
var U,V:T3DVector;

  function GenVector(EndPos,StartPos:T3DVector):T3DVector;   //从两个点得到一个向量
  begin
    result.X := EndPos.X - StartPos.X;
    Result.Y := EndPos.Y - StartPos.Y;
    Result.Z := EndPos.Z - StartPos.Z;
  end;

  function Normalize(V:T3DVector):T3DVector; //转为单位向量
  var M : Single;
  begin
    M := SQRT(V.X*V.X + V.Y *V.Y + V.Z *V.Z);
    Result.x := V.x/M;
    Result.y := V.y/M;
    Result.z := V.z/M;
  end;

begin
  U:=GenVector(P2,P1);
  V:=GenVector(P3,P1);
  Result.X := U.Y*V.Z - U.Z*V.Y;   //计算叉积
  Result.Y := U.Z*V.X - U.X*V.Z;
  Result.Z := U.X*V.y - U.Y*V.X;
  Result := Normalize(Result);
end;
```

请注意应该将三角形的顶点按逆时针顺序传给函数以获得正确结果。

通过计算得到法线向量之后，我们需要在绘制顶点之前调用 glNormal 函数为顶点或图元指定法线。例如：

```
glBegin(GL_TRIANGLES);
  glNormal3f(1,1,1); //为即将绘制的三角形指定法线
  glVertex3f(1,0,1);glVertex3f(1,1,1);glVertex3f(1,0,0);
glEnd;
```

除此之外，也可以为同一图元的不同顶点指定不同法线向量。例如：

```
glBegin(GL_TRIANGLES);
  glNormal3f(1,1,1);
  glVertex3f(1,0,1);

  glNormal3f(1,0,1);
```

```
    glVertex3f(1,1,1);

    glNormal3f(0,1,1);
    glVertex3f(1,0,0);
  glEnd;
```

5.5 材质

指定了图元的法线之后，我们还需要为其指定相应的材质以决定物体对各种颜色的光的反射程度，这将影响物体表现为何种颜色。和光源的成分相似，材质也分为漫射光反光率、平行光反光率。材质的漫射光成分将决定该材质对环境中的漫射光的反射程度，相似的，平行光成分将决定材质对平行光的反射程度。与设置光源相似，我们只需在绘制图元之前调用 glMaterialf 或 glMaterialfv 函数就能对即将绘制的图元的材质的各项参数进行设定。

5.5.1 设置材质对各种光的反光率

调用:

```
glMaterialfv(GL_FRONT,GL_DIFFUSE,@Diffuse);
```

可以指定材质对漫射光的反射率。其中，第一个参数决定该材质运用于图元的正面还是反面。可以取 GL_FRONT(正面)，GL_BACK(反面)，GL_FRONT_AND_BACK(正反两面)。第 2 个值表示对何种光进行设置，GL_DIFFUSE 表示对漫射光反射率进行设置，可以取 GL_AMBIENT(环境光)、GL_DIFFUSE(漫射光)、GL_AMBIENT_AND_DIFFUSE(环境光和漫射光)、GL_SPECULAR(平行/镜面光)。而第三个参数是一个四维数组，这个数组描述了反光率的 RGBA 值，每一项取值都为 0-1 之间。例如

```
Diffuse[1]:=1;Diffuse[2]:=0;Diffuse[3]:=0;Diffuse[4]:=1;
glMaterialfv(GL_FRONT,GL_DIFFUSE,@Diffuse);
```

将会使物体在有红色成分的光照下表现为红色。

5.5.2 使用颜色跟踪

在启用光照系统之后，为图元指定颜色变得不太方便。首先我们需要创建一个数组，然后调用 glMaterial 函数将数组传给材质，以此决定物体的颜色。为了简便，我们可以开启颜色跟踪来简化代码。调用

```
glEnable(GL_CORLOR_MATERIAL);
```

启动颜色跟踪，再调用

```
glColorMaterial(GL_FRONT,GL_AMBIENT_AND_DIFFUSE);
```

来决定对物体的正面还是反面，对环境光、镜面光还是漫射光进行颜色跟踪。第一个参数可以取 GL_FRONT、GL_BACK、GL_FRONT_AND_BACK 中的任意一种，第二个参数可以取 GL_AMBIENT、GL_DIFFUSE、GL_AMBIENT_AND_DIFFUSE、GL_SPECULAR 中的任意一种。

启动颜色跟踪之后，我们就可以像以前一样，使用 glColor 函数来指定图元的颜色了。这时，OpenGL 将自动根据从 glColor 函数传递的颜色来决定物体材质，省去了我们手工指定材质的麻烦。 例如，要在启用光照系统的前提下绘制一个红色的三角形，可以这样做：

```
glEnable(GL_COLOR_MATERIAL);
glColorMaterial(GL_FRONT,GL_AMBIENT_AND_DIFFUSE);
```

```
glColor3ub(255,0,0);
glBegin(GL_TRIANGLES);
  glVertex3f(1,0,1);glVertex3f(1,1,1);glVertex3f(1,0,0);
glEnd;
```

5.5.3 材质的镜面指数

当光源中含有镜面光成分，且镜面光较强时，一些光滑的物体便会出现一些高亮的焦点，如图 5.4-1。

图 5.4-1 高亮区

我们可以通过设置材质的镜面指数来确定光斑的大小和聚焦程度。调用

```
glMateriali(GL_FRONT,GL_SHININESS,N );
```

可以对镜面指数进行设定。如果 N 值越大，则光斑尺寸越小，物体越有光泽，反之越大。N 值可取 1-128 之间的任意整数。

5.5.4 辐射性材质

有些物体，本身会发光。我们可以设置材质的 Emission 成分来使物体看起来有发光效果。只需添加如下代码：

```
var LightEmission :array[1..4] of single;
 ...
 LightEmission[1]:=1;LightEmission[2]:=1;LightEmission[3
]:=0;LightEmission[4]:=1;
 glMaterialfv(GL_FRONT,GL_EMISSION,@LightEmission);
```

其中，LightEmission 表示物体所发光的颜色的 RGBA 值。

5.6 本章示例程序

至此，我们讲完了所有关于 OpenGL 光照系统的知识。建议你再回头研究一下第四章的示例程序，因为里面用到了许多光照效果。在本章，我们将修改一下第三章的示例程序，使它看起来更具立体感。我们并没有为立方体的各个面指定不同的颜色，而是对场景增添了光照效果，并为立方体的各个面指定了法线向量。 你依然可以使用方向键来旋转这个立方体。程序的最终运行结果如图 5.6-1 所示。

单击这里下载

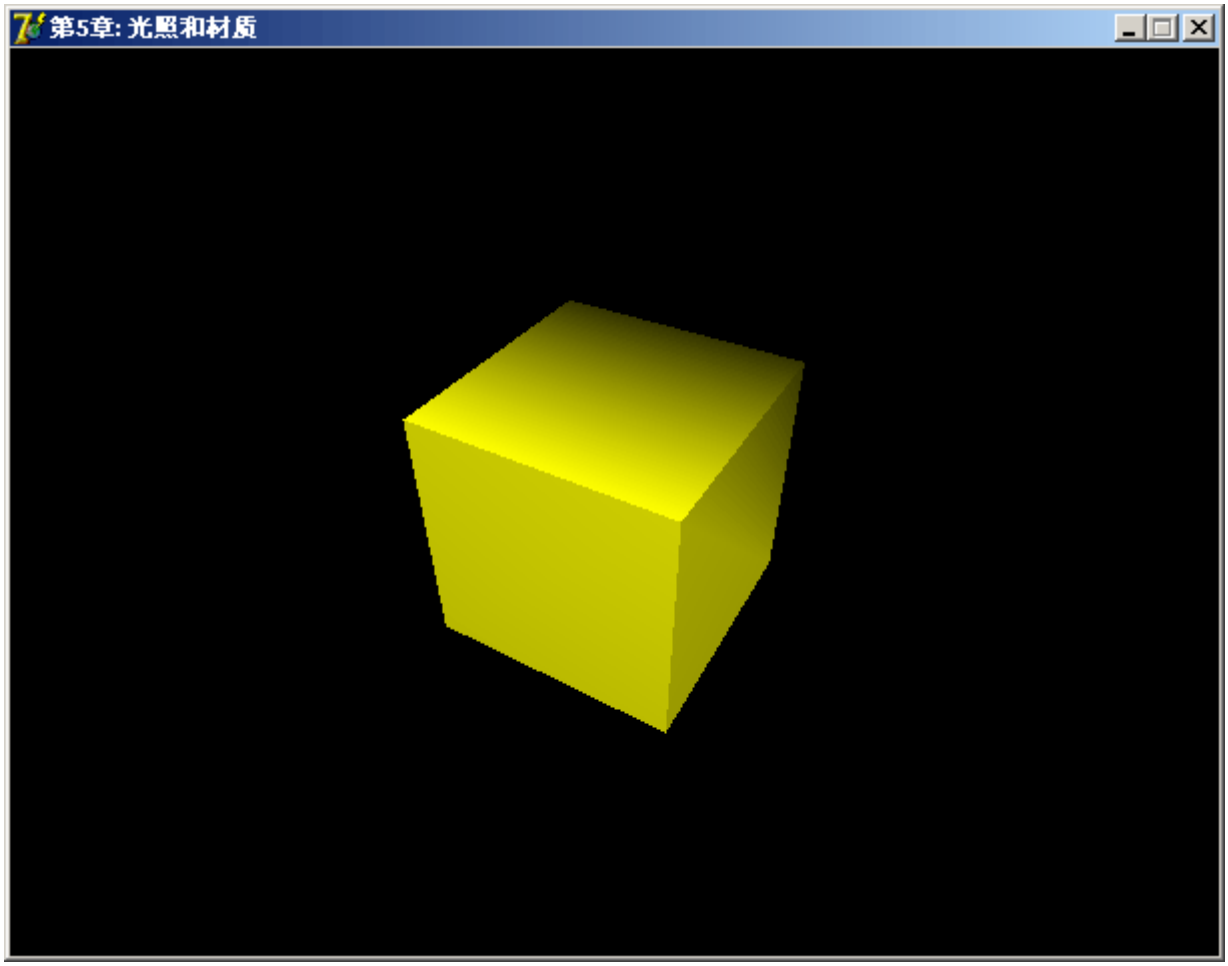

图 5.6-1 本章示例程序