cybercser/OpenGL_3_3_Tutorial_Translation

https://github.com/cybercser/OpenGL_3_3_Tutorial_Translation/blob/master/Tutorial%2017%20Rotations.md

cybercser Sat Nov, 07 18:09

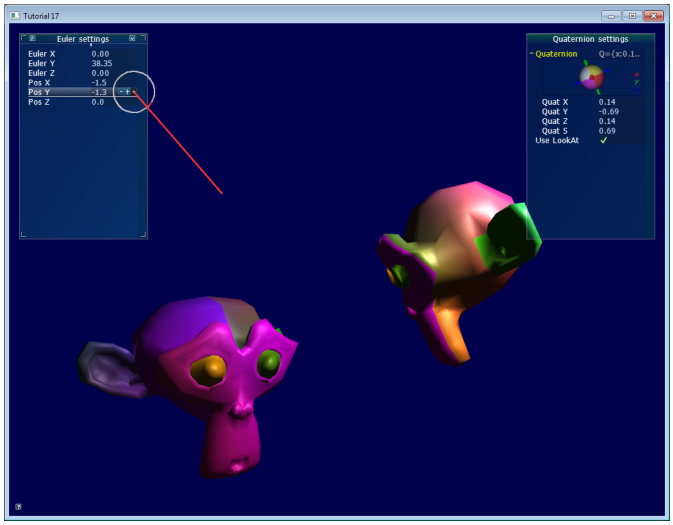
[TOC]

Tags： OpenGL 教程

虽然本课有些超出OpenGL的范围，但是解决了一个常见问题：怎样表示旋转？

《第三课：矩阵》中，我们了解到矩阵可以让点绕某个轴旋转。矩阵可以简洁地表示顶点的变换，但使用难度较大：例如，从最终结果中获取旋转轴就很麻烦。

本课将展示两种最常见的表示旋转的方法：欧拉角（Euler angles）和四元数（Quaternion）。最重要的是，本课将详细解释为何要尽量使用四元数。



前言：旋转与朝向（orientation）

阅读有关旋转的文献时，你可能会为其中的术语感到困惑。本课中：

- “朝向”是状态：该物体的朝向为……
- “旋转”是操作：旋转该物体

也就是说，*当实施旋转操作时，就改变了物体的朝向*。两者形式相同，因此容易混淆。闲话少叙，开始进入正题……

欧拉角

欧拉角是表示朝向的最简方法，只需存储绕X、Y、Z轴旋转的角度，非常容易理解。你可以用vec3来存储一个欧拉角：

```
vec3 EulerAngles( RotationAroundXInRadians, RotationAroundYInRadians,
RotationAroundZInRadians);
```

这三个旋转是依次施加的，通常的顺序是：Y-Z-X（但并非一定要按照这种顺序）。顺序不同，产生的结果也不同。

一个欧拉角的简单应用就是用于设置角色的朝向。通常，游戏角色不会绕X和Z轴旋转，仅仅绕竖直的Y轴旋转。因此，无需处理三个朝向，只需用一个float型变量表示方向即可。

另外一个使用欧拉角的例子是FPS相机：用一个角度表示头部朝向（绕Y轴），一个角度表示俯仰（绕X轴）。参见`common/controls.cpp`的示例。

不过，面对更加复杂的情况时，欧拉角就显得力不从心了。例如：

- 对两个朝向进行插值比较困难。简单地对X、Y、Z角度进行插值得到的结果不太理想。
- 实施多次旋转很复杂且不精确：必须计算出最终的旋转矩阵，然后据此推测书欧拉角。
- “臭名昭著”的“万向节死锁”(Gimbal Lock)问题有时会让旋转“卡死”。其他一些奇异状态还会导致模型方向翻转。
- 不同的角度可产生同样的旋转（例如-180°和180°）
- 容易出错——如上所述，一般的旋转顺序是YZX，如果用了非YZX顺序的库，就有麻烦了。
- 某些操作很复杂：如绕指定的轴旋转N角度。

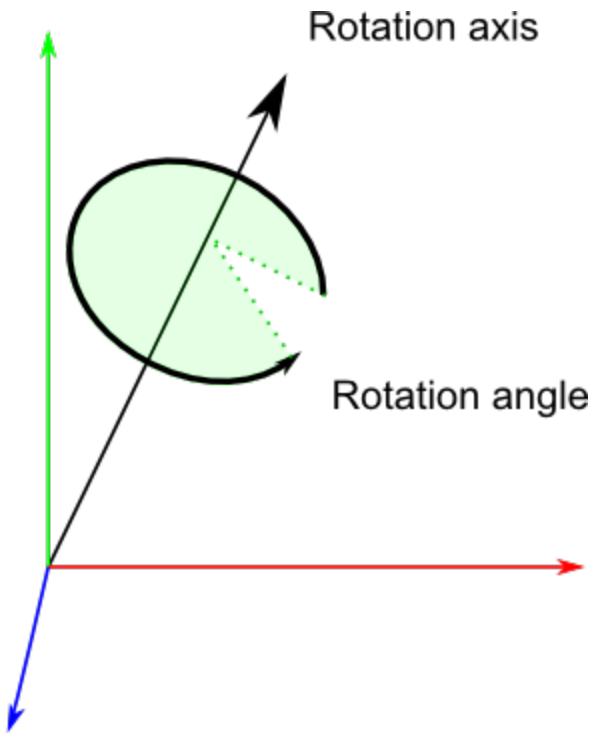
四元数是表示旋转的好工具，可解决上述问题。

四元数

四元数由4个数[x y z w]构成，表示了如下的旋转：

```
// RotationAngle is in radians
x = RotationAxis.x * sin(RotationAngle / 2)
y = RotationAxis.y * sin(RotationAngle / 2)
z = RotationAxis.z * sin(RotationAngle / 2)
w = cos(RotationAngle / 2)
```

`RotationAxis`，顾名思义即旋转轴。`RotationAngle`是旋转的角度。



因此，四元数实际上存储了一个旋转轴和一个旋转角度。这让旋转的组合变简单了。

###解读四元数###

四元数的形式当然不如欧拉角直观，不过还是能看懂的：xyz分量大致代表了各个轴上的旋转分量，而w=acos(旋转角度/2)。举个例子，假设你在调试器中看到了这样的值[0.7 0 0 0.7]。x=0.7，比y、z的大，因此主要是在绕X轴旋转；而2*acos(0.7) = 1.59弧度，所以旋转角度应该是90°。

同理，[0 0 0 1] (w=1)表示旋转角度 = 2*acos(1) = 0*，因此这是一个单位四元数*（unit quaternion），表示没有旋转。

###基本操作###

不必理解四元数的数学原理：这种表示方式太晦涩了，因此我们一般通过一些工具函数进行计算。如果对这些数学原理感兴趣，可以参考实用工具和链接中的数学书籍。

####怎样用C++创建四元数？####

```
// Don't forget to #include <glm/gtc/quaternion.hpp> and <glm/gtx/quaternion.hpp>

// Creates an identity quaternion (no rotation)
quat MyQuaternion;

// Direct specification of the 4 components
// You almost never use this directly
MyQuaternion = quat(w,x,y,z);

// Conversion from Euler angles (in radians) to Quaternion
vec3 EulerAngles(90, 45, 0);
MyQuaternion = quat(EulerAngles);

// Conversion from axis-angle
// In GLM the angle must be in degrees here, so convert it.
MyQuaternion = gtx::quaternion::angleAxis(degrees(RotationAngle), RotationAxis);
```

####怎样用GLSL创建四元数？####

不要在shader中创建四元数。应该把四元数转换为旋转矩阵，用于模型矩阵中。顶点会一如既往地随着MVP矩阵的变化而旋转。

某些情况下，你可能确实需要在shader中使用四元数。例如，GPU骨骼动画。GLSL中没有四元数类型，但是可以将四元数存在vec4变量中，然后在shader中计算。

####怎样把四元数转换为矩阵？####

```
mat4 RotationMatrix = quaternion::toMat4(quaternion);
```

这下可以像往常一样建立模型矩阵了:

```
mat4 RotationMatrix = quaternion::toMat4(quaternion);
...
mat4 ModelMatrix = TranslationMatrix * RotationMatrix * ScaleMatrix;
// You can now use ModelMatrix to build the MVP matrix
```

那究竟该用哪一个呢？

在欧拉角和四元数之间作选择还真不容易。欧拉角对于美工来说显得很直观，因此如果要做一款3D编辑器，请选用欧拉角。但对程序员来说，四元数却是最方便的。所以在写3D引擎内核时应该选用四元数。

一个普遍的共识是：在程序内部使用四元数，在需要和用户交互的地方就用欧拉角。

这样，在处理各种问题时，你才能得心应手（至少会轻松一点）。如果确有必要（如上文所述的FPS相机，设置角色朝向等情况），不妨就用欧拉角，附加一些转换工作。

其他资源

1. 实用工具和链接中的书籍
2. 老是老了点，《游戏编程精粹1》（Game Programming Gems I）有几篇关于四元数的好文章。也许网络上就有这份资料。
3. 一个关于旋转的[GDC报告]http://www.essentialmath.com/GDC2012/GDC2012_JMV_Rotations.pdf
4. The Game Programing Wiki Quaternion tutorial
5. Ogre3D FAQ on quaternions。 第二部分大多是针对OGRE的。
6. Ogre3D Vector3D.h和Quaternion.cpp

速查手册

###怎样判断两个四元数是否相同？###

向量点积是两向量夹角的余弦值。若该值为1，那么这两个向量同向。判断两个四元数是否相同的方法与之十分相似：

```
float matching = quaternion::dot(q1, q2);
if ( abs(matching-1.0) < 0.001 ){
// q1 and q2 are similar
}
```

由点积的acos值还可以得到q1和q2间的夹角。

###怎样旋转一个点？###

方法如下：

```
rotated_point = orientation_quaternion *  point;
```

……但如果想计算模型矩阵，你得先将其转换为矩阵。注意，旋转的中心始终是原点。如果想绕别的点旋转：

```
rotated_point = origin + (orientation_quaternion * (point-origin));
```

###怎样对两个四元数插值？###

SLERP意为球面线性插值（Spherical Linear intERPolation）、可以用GLM中的`mix`函数进行SLERP：

```
glm::quat interpolatedquat = quaternion::mix(quat1, quat2, 0.5f); // or whatever factor
```

###怎样累积两个旋转？###

只需将两个四元数相乘即可。顺序和矩阵乘法一致。亦即逆序相乘：

```
quat combined_rotation = second_rotation * first_rotation;
```

###怎样计算两向量之间的旋转？###

（也就是说，四元数得把v1旋转到v2）

基本思路很简单：

- 两向量间的夹角很好找：由点积可知其cos值。
- 旋转轴很好找：两向量的叉乘积。

如下的算法就是依照上述思路实现的，此外还处理了一些特例：

```
quat RotationBetweenVectors(vec3 start, vec3 dest){
start = normalize(start);
dest = normalize(dest);

float cosTheta = dot(start, dest);
vec3 rotationAxis;

if (cosTheta < -1 + 0.001f){
// special case when vectors in opposite directions:
// there is no 'ideal' rotation axis
// So guess one; any will do as long as it's perpendicular to start
rotationAxis = cross(vec3(0.0f, 0.0f, 1.0f), start);
if (gtx::norm::length2(rotationAxis) < 0.01 ) // bad luck, they were parallel, try again!
rotationAxis = cross(vec3(1.0f, 0.0f, 0.0f), start);

rotationAxis = normalize(rotationAxis);
return gtx::quaternion::angleAxis(180.0f, rotationAxis);
}

rotationAxis = cross(start, dest);

float s = sqrt( (1+cosTheta)*2 );
float invs = 1 / s;

return quat(
s * 0.5f,
rotationAxis.x * invs,
rotationAxis.y * invs,
rotationAxis.z * invs
);

}
```

（可在 `common/quaternion_utils.cpp` 中找到该函数）

###我需要一个类似gluLookAt的函数。怎样旋转物体使之朝向某点？###

调用 `RotationBetweenVectors` 函数！

```
// Find the rotation between the front of the object (that we assume towards +Z,
// but this depends on your model) and the desired direction
quat rot1 = RotationBetweenVectors(vec3(0.0f, 0.0f, 1.0f), direction);
```

现在，你也许想让物体保持竖直：

```
// Recompute desiredUp so that it's perpendicular to the direction
// You can skip that part if you really want to force desiredUp
vec3 right = cross(direction, desiredUp);
desiredUp = cross(right, direction);

// Because of the 1rst rotation, the up is probably completely screwed up.
// Find the rotation between the 'up' of the rotated object, and the desired up
vec3 newUp = rot1 * vec3(0.0f, 1.0f, 0.0f);
quat rot2 = RotationBetweenVectors(newUp, desiredUp);
```

组合到一起：

```
quat targetOrientation = rot2 * rot1; // remember, in reverse order.
```

注意，“direction”仅仅是方向，并非目标位置！你可以轻松计算出方向：`targetPos - currentPos`。

得到目标朝向后，你很可能想对`startOrientation`和`targetOrientation`进行插值

（可在`common/quaternion_utils.cpp`中找到此函数。）

###怎样使用LookAt且限制旋转速度？###

基本思想是采用SLERP（用`glm::mix`函数），但要控制插值的幅度，避免角度偏大。

```
float mixFactor = maxAllowedAngle / angleBetweenQuaternions;
quat result = glm::gtc::quaternion::mix(q1, q2, mixFactor);
```

如下是更为复杂的实现。该实现处理了许多特例。注意，出于优化的目的，代码中并未使用`mix`函数。

```
quat RotateTowards(quat q1, quat q2, float maxAngle){

if( maxAngle < 0.001f ){
// No rotation allowed. Prevent dividing by 0 later.
return q1;
}

float cosTheta = dot(q1, q2);

// q1 and q2 are already equal.
// Force q2 just to be sure
if(cosTheta > 0.9999f){
return q2;
}

// Avoid taking the long path around the sphere
if (cosTheta < 0){
q1 = q1*-1.0f;
cosTheta *= -1.0f;
}

float angle = acos(cosTheta);

// If there is only a 2° difference, and we are allowed 5°,
// then we arrived.
if (angle < maxAngle){
return q2;
}

float fT = maxAngle / angle;
angle = maxAngle;

quat res = (sin((1.0f - fT) * angle) * q1 + sin(fT * angle) * q2) / sin(angle);
res = normalize(res);
return res;

}
```

可以这样用`RotateTowards`函数:

```
CurrentOrientation = RotateTowards(CurrentOrientation, TargetOrientation, 3.14f * deltaTime );
```

(可在`common/quaternion_utils.cpp`中找到此函数)

###怎样……###

若有疑问，请通过e-mail联系我们。我们将把您的问题添加到此文中。

Written with Cmd Markdown.