Pipeline Gráfico

Introdução

Neste projeto, temos como o objetivo a implementação do pipeline gráfico completo. isto é, a sequência de passos que utilizamos para transformar uma cena/objeto de sua descrição tridimensinal (definida por meio de objetos e listas de vértices, etc) para a representação em tela de um dispositivo.

Faremos uma abordagem mais 'hands-on', com enfoque na parte prática do que foi feito para permitir as transformações deste pipeline.

Este pipeline é composto das seguintes espaços e transformações entre espaços distintos:

$$E(Objeto) \rightarrow E(Universo) \rightarrow E(Camera) \rightarrow E(Recorte) \rightarrow E(Can\hat{o}nico) \rightarrow E(Tela) \quad (1)$$

(1) Espaços do Pipeline Gráfico

1. Carregando o Objeto:

Para fazer a carga do *mesh* do objeto na estrutura de dados, utilizei a biblioteca **[objLoader][http://www.kixor.net/dev/objloader/]**, que facilita **consideràvelmente** o carregamento do objeto.

Inspirado em uma das questões da prova, escolhi como modelo uma casinha, disponível neste [link][https://free3d.com/3d-model/casa-simples-8252.html], para exibí-la em modo wireframe.

Figura: Casa_Simples.obj

Após o download, podemos verificar que o arquivo **casa.obj**, na sua estrutura interna, possui valores de vértices, faces, referências a texturas e um arquivo casa.mtl que o acompanha.

Para o intúito deste projeto, utilizaremos o *objLoader* para extrair apenas os vértices e as faces deste objeto, e geraremos uma imagem *3d wireframe* que poderemos manipular.

Agora que já temos nosso modelo. vamos para a sequência de passos para apresentá-lo!

2. Modelando a *Model*: Nossas Primeiras Matrizes

Durantes as aulas, nós vimos como funcionam os modelos matemáticos para gerar nossas matrizes de escala e rotação.

As utilizaremos para fazer nossa *primeira* transformação do pipeline: Espaço do Objeto -> Espaço do Universo

$$M_{escala} = \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad M_{rotacao} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$
$$M_{translacao} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_x \\ 0 & 1 & 0 & d_y \\ 0 & 0 & 1 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(2): Matriz de escala fundamental, e exemplo de rotação sobre o eixo ***z***

- Enfim, como passar isso pra código?

Simples, usando a biblioteca **GLM**, que possui diversas estruturas de dados (por exemplo a *mat4*, que gera uma matriz 4x4) que nos permitem que escrevamos as matrizes de forma bem similar à suas representações matemáticas:

Configuramos uma matriz MYGL_MODEL global, onde aplicamos estas transformações:

Matriz de Escala

```
/* Matriz de Escala -> Recebe valores Sx Sy e Sz, e os escala*/
void myglScale(float sx, float sy, float sz){
    glm::mat4 scaling_matrix
    (   sx  , 0.0f, 0.0f, 0.0f,
        0.0f, sy  , 0.0f, 0.0f,
        0.0f, 0.0f, sz  , 0.0f,
        0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f );
    MYGL_MODEL *= scaling_matrix;
}
```

Matrizes de Rotação

```
/* Matriz de Rotação que permite que façamos rotações em X, Y e Z com uma chamada de
função */
void myglRotate(float angle, float x, float y, float z){
    if (x != 0.0f){
        glm::mat4 rotx_matrix
        (   1.0f, 0.0f       , 0.0f        , 0.0f,
            0.0f, COSD(angle), -SIND(angle), 0.0f,
            0.0f, SIND(angle), COSD(angle) , 0.0f,
            0.0f, 0.0f       , 0.0f        , 1.0f );
        MYGL_MODEL *= rotx_matrix; }
    if (y != 0.0f){
        glm::mat4 roty_matrix
        (   COSD(angle) , 0.0f, SIND(angle), 0.0f,
            0.0f        , 1.0f,        0.0f, 0.0f,
            -SIND(angle), 0.0f, COSD(angle), 0.0f,
            0.0f        , 0.0f,        0.0f, 1.0f);
        MYGL_MODEL *= roty_matrix;}
    if (z != 0.0f){
        glm::mat4 rotz_matrix
        (   COSD(angle), -SIND(angle), 0.0f, 0.0f,
            SIND(angle), COSD(angle) , 0.0f, 0.0f,
            0.0f       , 0.0f        , 1.0f, 0.0f,
            0.0f       , 0.0f        , 0.0f, 1.0f);
        MYGL_MODEL *= rotz_matrix; }
}
```

Matriz de Translação

```
void myglTranslate(float dx, float dy, float dz)
{
    glm::mat4 trans_matrix
       (1.0f, 0.0f, 0.0f, dx,
        0.0f, 1.0f, 0.0f, dy,
        0.0f, 0.0f, 1.0f, dz,
        0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f);
    MYGL_MODEL *= trans_matrix;
}
```

Aplicando todas estas transformações na MYGL_MODEL, fnalmente teremos colocado nosso objeto no sistema de coordenadas do mundo. (o espaço do universo).

3. Luz, Câmera, Ação! Saindo do Espaço do Universo para o da Câmera e a Matrix View

Agora, já que já temos nosso objeto no universo, é hora de apontar uma câmera pra ele. e entender o que *exatamente* essa câmera faz e o que ela vê

Intuitivamente, quando pensamos em uma câmera, três coisas são importantes de se observar:

- Pra onde que ela estar olhando? (nosso **look_at**)
- Pra onde a cima dela tá apontando? (nosso **up**)
- Em que direção ela está olhando? (nosso **position**)

Com isso em mente, temos **tudo** que precisamos para montar uma câmera em relação à um espaço de mundo.

Óbviamente a câmera não se encontra no mesmo lugar que o centro do mundo ou do objeto, então, precisamos fazer alguns cálculos *matemágicos*, para entender o que a câmera está observando.

Pra chegar lá, temos que calcular alguns produtos vetoriais:

$$\begin{aligned} Z_c &= -\frac{-d}{|d|} = (Z_{cx}, Z_{cy}, Zcz) \\ X_c &= \frac{u_c \times z_c}{u_c \times z_c} = (X_{cx}, X_{cy}, X_{cz}) \\ Y_c &= \frac{z_c \times x_c}{z_c \times x_c} = (Y_{cx}, Y_{cy}, Y_{cz}) \end{aligned} \tag{3}$$

Por fim, sabemos que a matriz **view** é composta da combinação destas duas matrizes, e podemos populá-las com os valores descobertos acima:

$$B^T = \begin{bmatrix} X_{cx} & X_{cy} & X_{cz} & 0 \\ Y_{cx} & Y_{cy} & Y_{cz} & 0 \\ Z_{cx} & Z_{cy} & Z_{cz} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -P_x \\ 0 & 1 & 0 & -P_y \\ 0 & 0 & 1 & -P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

(3) B^T sendo uma matriz compostas de vários produtos vetoriais entre os valores de up, position e look_at, e T sendo uma translação para a mudança de base

Colocando estes cálculos em forma de código:

```
/* myglLookAt recebe os vetores do look, da direção e do up, e calcula a matrizview*/
void myglLookAt(float lookX,float lookY,float lookZ, float directionX,
                float directionY, float directionZ, float upX,float upY,float upZ){
    glm::vec3 look(lookX, lookY, lookZ);
    glm::vec3 direction(directionX, directionY, directionZ);
    glm::vec3 up(upX, upY, upZ);
    glm::vec3 cameraZ = -(glm::normalize(direction - look));
    glm::vec3 cameraX = glm::normalize(glm::cross(up, cameraZ));
    glm::vec3 cameraY = glm::normalize(glm::cross(cameraZ, cameraX));
    glm::mat4 B
    (   cameraX[0], cameraY[0], cameraZ[0], 0.0f,
        cameraX[1], cameraY[1], cameraZ[1], 0.0f,
        cameraX[2], cameraY[2], cameraZ[2], 0.0f,
        0.0f    , 0.0f    , 0.0f    , 1.0f);
    glm::mat4 T
    (   1.0f, 0.0f, 0.0f, -look[0],
        0.0f, 1.0f, 0.0f, -look[1],
        0.0f, 0.0f, 1.0f, -look[2],
        0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f  );

    MYGL_VIEW = T * glm::transpose(B);
}
```

Feito isso, *voilá*, temos nossa matriz VIEW, já estamos no espaço da câmera!. só mais algumas transformações de espaços e estaremos projetando na tela! :)

4. Colocando em Perspectiva: A Matriz de Projeção

Agora estamos no espaço da câmera, isso é, depois de todas essas transformações, um vértice que tiver valor de x e y iguais a 0 devem estar sendo renderizados no centro da tela. mas como sabemos, não podemos usar apenas coordenadas x e y num espaço 3D, o Z é importante.

Se tivermos dois vértices x e y com coordenadas similares, o vértice com maior *Z*, é o que deve estar mais para o centro da tela que o outro.

E, mais uma vez pergunto: como faremos isto?

Utilizando uma técnica chamada **Projeção Perspectiva**!

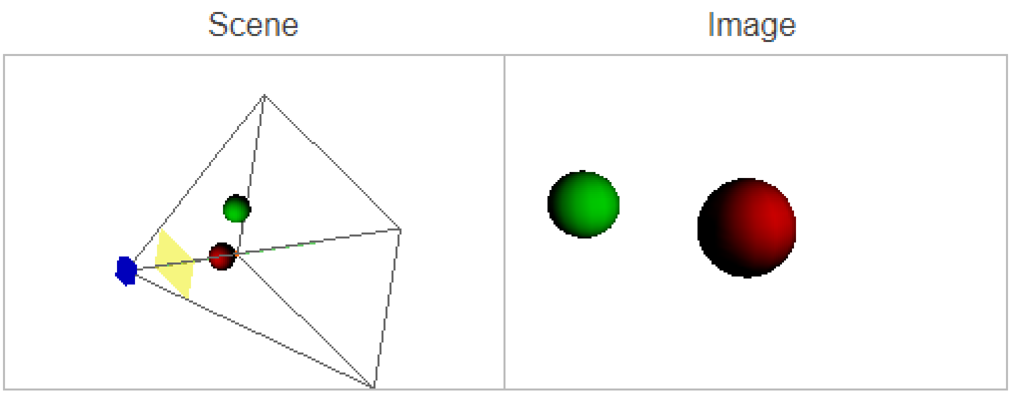


Imagem: visão da cena ao lado esquerdo e imagem vista através da distorção perspectiva à direita.

Uma das melhores formas de entender intuitivamente o que essa tal de projeção perspectiva faz é [Fuçar um pouco com as distorções possíveis através deste link][http://ksimek.github.io/perspective_camera_toy.html]

Utilizamos mais uma matriz pra gerar ela, desta vez, relativamente simples:

$$M_{projecao} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{d} & 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

A Implementação é relativamente simples, inicialmente temos MYGL_PROJECTION carregado com a matriz identidade. depois só multiplicamos pelos valores da distância escolhida.

```
void myglPerspective(float dist){
    MYGL_PROJECTION[2][3] = dist; MYGL_PROJECTION[3][2] = -1 / dist;
    MYGL_PROJECTION[3][3] = 0;}
```

É Neste estágio que juntamos com as matrizes Model e View e a de Projeção para gerar a Matriz *ModelViewProjection*, que é o produto delas, e que usaremos no próxima transformação de espaço.

5. O Espaço Canônico e de Tela: Preparações Finais e Exibindo na Tela

Nesta etapa, iremos utilizar o que chamamos de *fulstrum*, que consiste de um recorte do espaço anterior, obtido através da homogeinização.

Neste espaço tempos de forma garantida que todos os vértices terão valores entre -1 e 1 e é obtido depois que tratamos os vertices multiplicando pela *ModelViewProjection* e dividindo as coordenadas dele pela coordenada homogênea *w*.

Através destes valores é que preparamos os vértices para serem rasteirizados na tela, os multplicando por mais outra matriz: a ViewPort, que é definida por uma sequencia de passos:

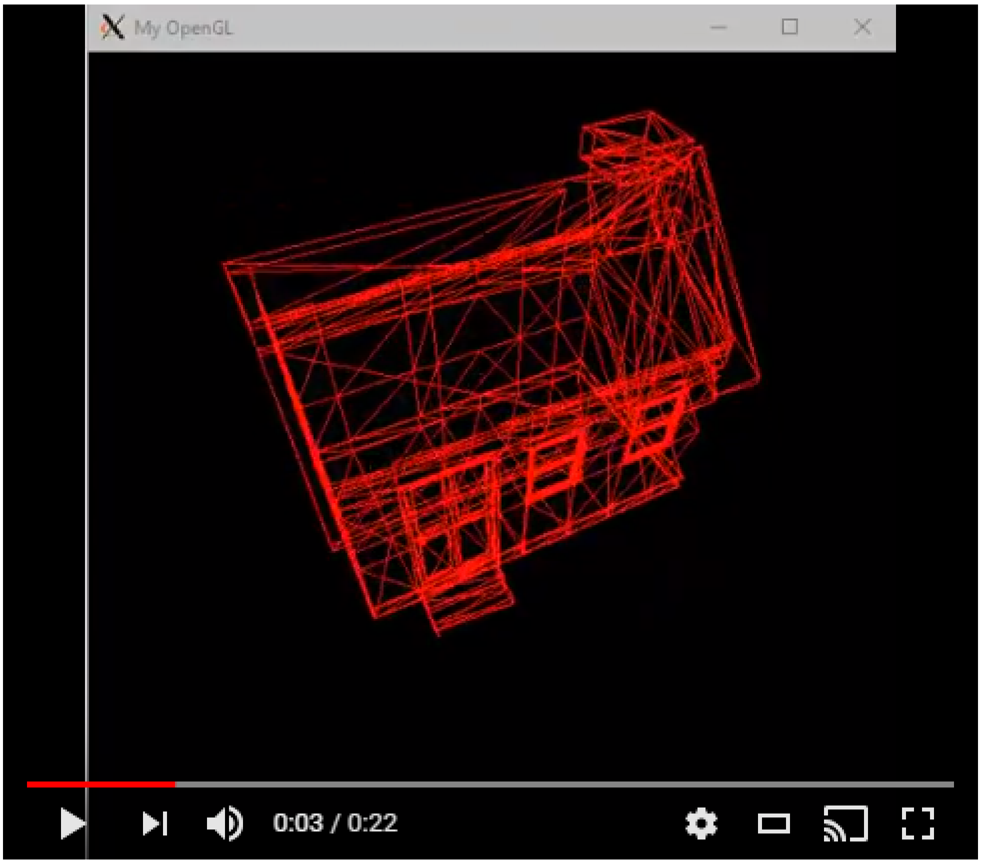
- Inversão do eixo **y**
- Uma Escala em Relação à largura e altura da tela
- Translação em relação à largura e altura da tela.

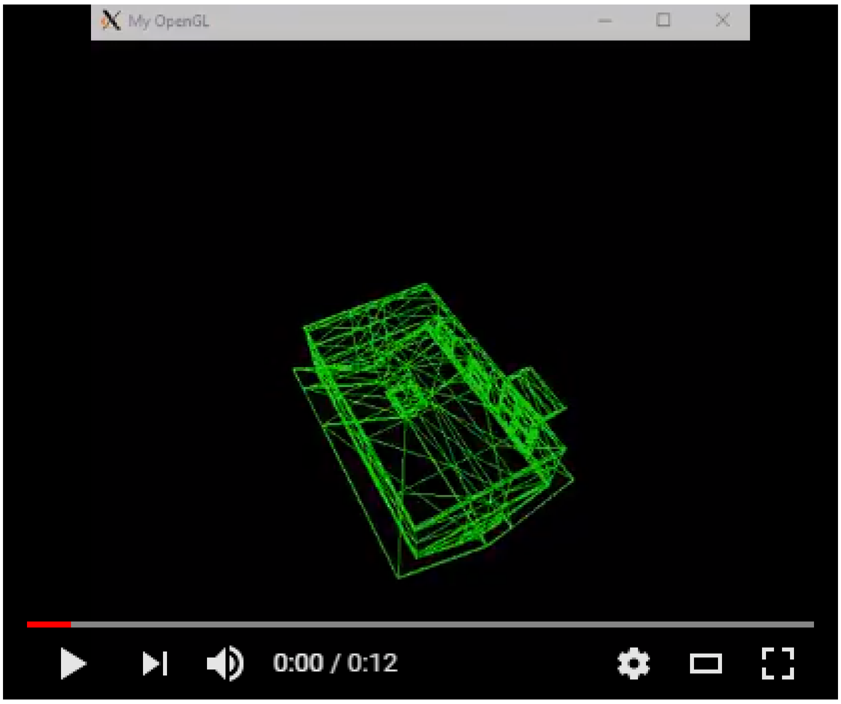
$$M_{viewport} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \frac{width-1}{2} \\ 0 & 1 & 0 & \frac{height-1}{2} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{width}{2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{height}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Em forma de código, se repete as mesmas matrizes utilizadas nos passos anteriores, recebendo a altura e largura da tela como parâmetro.

6. Resultados

Como fui bastante inspirado na primeira prova, resolvi criar tanto o wireframe da casinha vermelha, em suas proporções corretas, quanto outro, com ela verde, e invertida (como na questão da avaliação).





Em vídeo:

- Wireframe da Casinha pintada de vermelho, rotacionando em 3D: https://youtu.be/O0LBT9bRqq8
- A Casinha, Invertida e Entortada, Similar à uma questão da avaliação: https://youtu.be/7wJMuexeEqo

Dificuldades:

- Mais uma vez, alguns anacronismos da linguagem C++ dificultam a implementação, principalmente para manter o código enxuto, portanto o código não ficou tão elegante quanto eu gostaria.
- Ponteiros, Ponteiros, Ponteiros: trabalhar com ponteiros adiciona todo um desafio extra
- Carregar Arquivos: tentei utilizar o assimp, mas a solução final foi utilizar o **objloader** mesmo.

Referências:

Luiz Henrique - Pipeline Gráfico http://luizhenriquefbb.blogspot.com/2016/10/pipeline-grafico.html

Livro: John Vince - Mathematics for Computer Graphics

OpenGL Tutorial - Matrices http://www.opengl-tutorial.org/beginners-tutorials/tutorial-3-matrices/#the-model-matrix