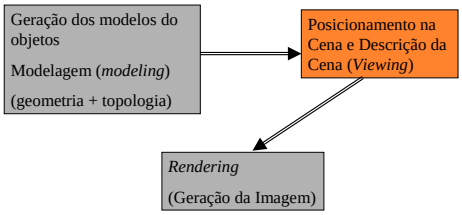
Viewing Pipeline 3D

Maria Cristina F. de Oliveira
Rosane Minghim
2010

Viewing (onde estamos no pipeline)

- Pipeline



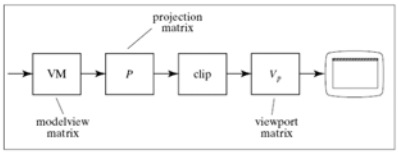
Viewing

- 2D: Modelo da Cena 2D/Janela 2D/recorte 2D/viewport
- 3D: Posicionamento da câmera, volume de visualização, recorte 3D, projeção, *viewport*
  - outros elementos, como iluminação, remoção de superfícies ocultas, *depth cueing*
  - *Depth cueing* = percepção de profundidade*:* uso de *shading*, textura, cor, fog, etc.) para dar uma indicação da distância de um objeto ou superfície em relação ao observador
  - http://www.vis.uni-stuttgart.de/depthcue/

Viewing Pipeline (OpenGL)

- Todos os vértices, de todos os objetos, entram no ´pipeline gráfico´
- Cada vértice é processado por três matrizes:
  - Modelview
  - Projeção
  - Viewport

FIGURE 5.52 The OpenGL pipeline (slightly simplified).



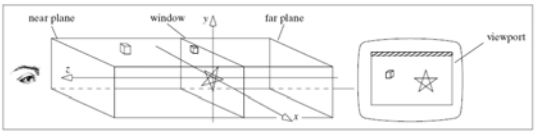


FIGURE 5.50 Simple viewing used in OpenGL for 2D drawing.

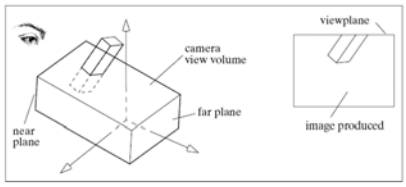


FIGURE 5.51 A camera to produce parallel views of a scene.

Viewing Pipeline 3D

- No caso 3D, o *pipeline* requer:
  - A definição de um volume de interesse na cena 3D (SRU)
  - O mapeamento de seu conteúdo para o SRV (transformação de visualização)
  - A projeção do conteúdo do volume de interesse em um plano (transformação de projeção)
  - Mapeamento da janela resultante na *viewport* normalizada e depois para coordenadas do dispositivo

Viewing Pipeline 3D: Analogia Câmera

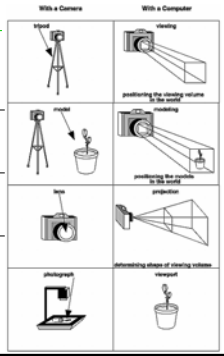
- Imaginamos um observador que vê a cena através das lentes de uma câmera virtual
  - "fotógrafo" pode definir a posição da câmera, sua orientação e ponto focal, abertura da lente...
  - câmera real obtém uma projeção de parte da cena em um plano de imagem 2D (o filme)
- Analogamente, a imagem obtida da cena sintética depende de vários parâmetros que determinam como esta é projetada para formar a imagem 2D no monitor
  - posição da câmera, orientação e ponto focal, tipo de projeção, posição dos "planos de recorte" (*clipping* planes), ...

Viewing Pipeline 3D: Analogia Câmera

- Três parâmetros definem completamente a câmera
  - Posição: aonde a câmera está
  - Ponto focal: para onde ela está apontando
  - Orientação: controlada pela posição, ponto focal, e um vetor denominado *view up*
- Outros parâmetros
  - Direção de projeção: vetor que vai da posição da câmera ao ponto focal
  - Plano da imagem: plano no qual a cena será projetada, contém o ponto focal e, tipicamente, é perpendicular ao vetor direção de projeção

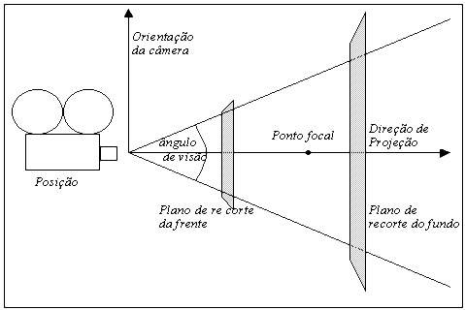
Viewing Pipeline 3D: Analogia Câmera

Observação:	posiciona câmera	posiciona volume de observação
Cena:	posiciona modelo	posiciona modelo
Projeção:	escolhe lentes	escolhe formato vv
Viewport:	escolhe tamanho foto	escolhe porção da tela



fonte: curso CG Arizona State University, Dianne Hansford

Viewing Pipeline 3D: Analogia Câmera



Fonte Figura: Schröeder, The Visualization Toolkit, 1998

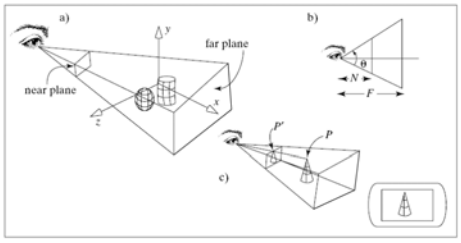


FIGURE 7.1 A camera to produce perspective views of a scene.

Viewing Pipeline 3D: Analogia Câmera

- O método de projeção controla como os objetos da cena (atores) são mapeados no plano de imagem
  - Projeção ortográfica, ou paralela: processo de mapeamento assume a câmera no infinito, i.e., os raios de luz que atingem a câmera são paralelos ao vetor de projeção
  - Projeção perspectiva: os raios convergem para o ponto de observação, ou centro da projeção. Nesse caso, é necessário determinar o ângulo de visão da câmera
  - Os planos de recorte delimitam a região de interesse na cena
    - Anterior (near plane): elimina objetos muito próximos da câmera
    - Posterior (far plane): elimina objetos muito distantes

Viewing Pipeline 3D

- Retomando: o *pipeline* requer a transformação da cena especificada no WCS (SRU) para o VCS (SRV)
  - O SRV descreve a cena como vista pela câmera...
  - O primeiro passo nesse processo consiste em especificar o VCS. Como?
    - Necessário especificar origem e os três eixos de referência...

Especificação do VCS

- Origem do sistema
  - Posição da câmera (PRP: Projection Reference Point)
- Associados à câmera:
  - Vetor direção de projeção (**N**), que dá a direção do ponto focal, e vetor view-up (**V**), que indica o 'lado de cima' da câmera (ambos devem ser perpendiculares entre si!)
  - Plano de imagem, no qual a cena 3D será projetada, perpendicular ao vetor direção de projeção
- Eixos:
  - eixo z associado ao vetor direção de projeção, eixo y associado ao vetor view-up, eixo x...

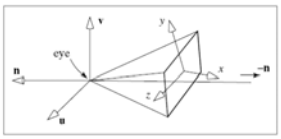


FIGURE 7.3 Attaching a coordinate system to the camera.

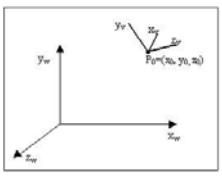
Especificação do VCS

- Dados os vetores **N** e **V**, os vetores unitários podem ser calculados como indicado ao lado

$$\mathbf{n} = \frac{\mathbf{N}}{|\mathbf{N}|} = (n_1, n_2, n_3)$$

$$\mathbf{u} = \frac{\mathbf{V} \times \mathbf{N}}{|\mathbf{V} \times \mathbf{N}|} = (u_1, u_2, u_3)$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{n} \times \mathbf{u} = (v_1, v_2, v_3)$$



Conversão WCS->VCS

- Temos 2 espaços vetoriais (sist. coordenadas) em $\Re^3$, definidos por duas bases ortonormais
  - WCS, espaço x_w,y_w,v_w (**i**,**j**,**k**)
  - VCS, espaço x_v,y_v,z_v (**u**,**v**,**n**)
- Para transformar a descrição geométrica dos objetos do WCS para o VCS: aplicamos a transformação que alinha os eixos do VCS com os eixos do WCS

Conversão WCS->VCS

- A origem do VCS está em P = (x0,y0,z0) no WCS
  - translada para coincidir as origens
  - Aplica a matriz de rotação necessária para alinhar os eixos

Conversão WCS->VCS

- Matriz de translação (alinha a origem do VCS a do WCS)

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -x_0 \\ 0 & 1 & 0 & -y_0 \\ 0 & 0 & 1 & -z_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Conversão WCS->VCS

- Matriz de rotação (alinha os eixos do VCS aos do WCS) é dada por

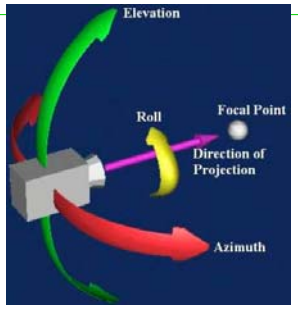
$$R = \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z & 0 \\ v_x & v_y & v_z & 0 \\ n_x & n_y & n_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Conversão WCS->VCS

- A matriz completa de transformação é

$$\mathbf{M}_{WCS,VCS} = \mathbf{R}.\mathbf{T} = \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z & -\mathbf{u}.\mathbf{P}0 \\ v_x & v_y & v_z & -\mathbf{v}.\mathbf{P}0 \\ n_x & n_y & n_z & -\mathbf{n}.\mathbf{P}0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Manipulação da Câmera

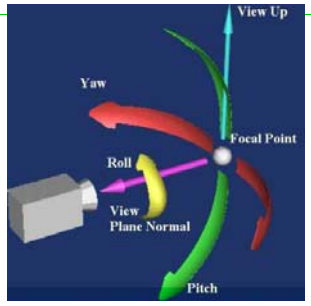


Fonte Figura: Schröeder, The Visualization Toolkit, 1998

Manipulação da Câmera

- *Azimuth*: rotaciona a posição da câmera ao redor do seu vetor *view up*, com centro no ponto focal
- *Elevation*: rotaciona a posição ao redor do vetor dado pelo produto vetorial entre os vetores *view up* e direção de projeção, com centro no ponto focal
- *Roll* (*Twist*): rotaciona o vetor *view up* em torno do vetor normal ao plano de projeção

Manipulação da Câmera



Fonte Figura: Schröeder, The Visualization Toolkit, 1998

Manipulação da Câmera

- *Yaw*: rotaciona o ponto focal em torno do vetor *view up*, com centro na posição da câmera
- *Pitch*: rotaciona o ponto focal ao redor do vetor dado pelo produto vetorial entre o vetor *view up* e o vetor direção de projeção, com centro na posição da câmera
- *Dolly* (*in*, *out*): move a posição ao longo da direção de projeção (mais próximo ou mais distante do ponto focal)
- *Zoom (in, out)*: altera o ângulo de visão, de modo que uma região maior ou menor da cena fique potencialmente visível

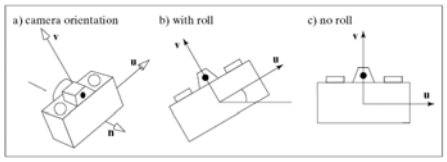
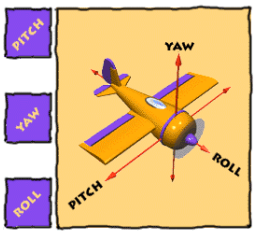
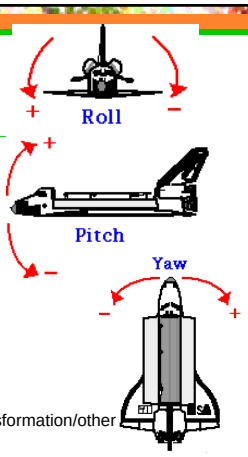


FIGURE 7.6 Various camera orientations.

Outra visão





Fonte:
http://escience.anu.edu.au/lecture/cg/Transformation/otherRotation.en.html

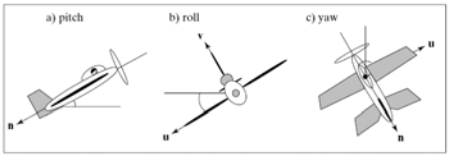
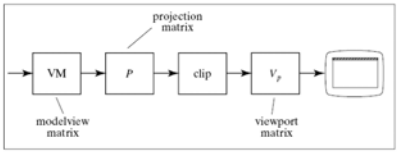


FIGURE 7.4 A plane's orientation relative to the "world."

FIGURE 5.52 The OpenGL pipeline (slightly simplified).



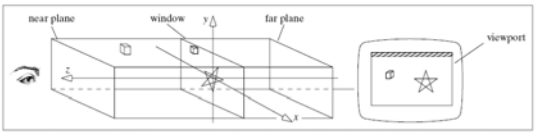


FIGURE 5.50 Simple viewing used in OpenGL for 2D drawing.

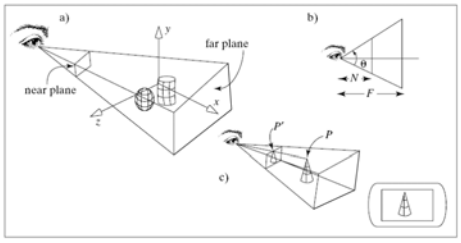


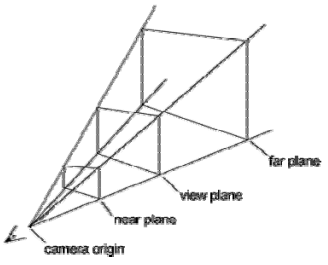
FIGURE 7.1 A camera to produce perspective views of a scene.

Transformação de Projeção

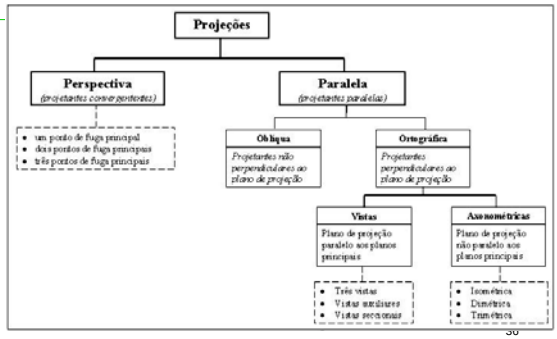
- Tendo a cena descrita no VCS, o próximo passo no *pipeline* consiste em projetar o conteúdo do volume de visualização no plano de imagem
  - Volume de visualização: 'viewing frustum': define a região de interesse na cena
  - Antes da projeção é aplicado um processo de 'recorte' (*clipping*), em que as partes dos objetos que estão fora do VF são descartadas
  - Recorte 3D – em relação aos planos de recorte (*clipping planes*)

Viewing Frustum

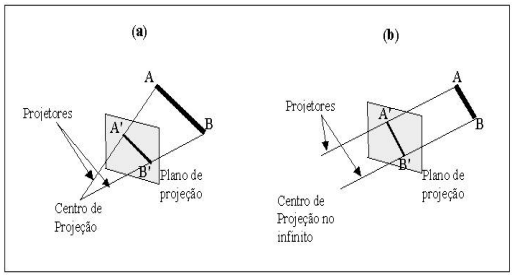
Volume de visualização, projeção perspectiva



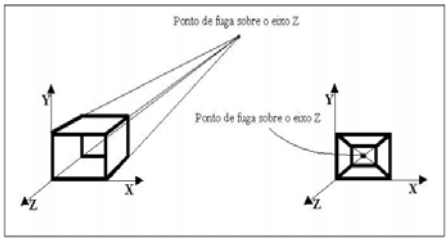
Taxonomia das projeções



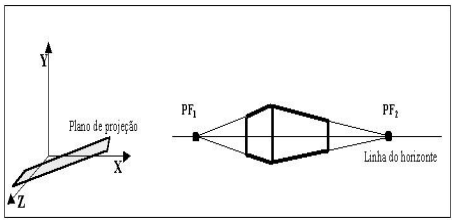
Projeções paralela e perspectiva



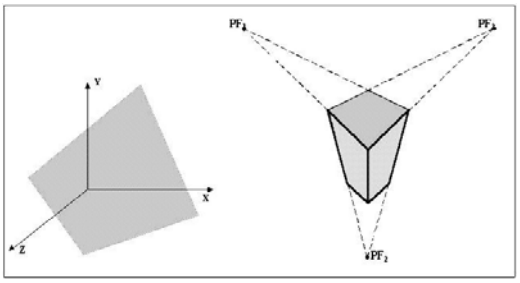
Projeção perspectiva um ponto de fuga



Projeção perspectiva dois pontos de fuga

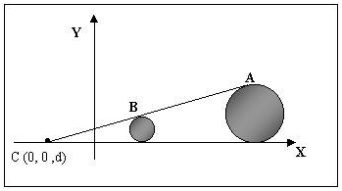


Projeção perspectiva três pontos de fuga



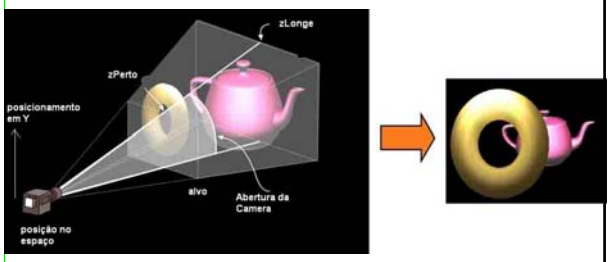
Características da Perspectiva

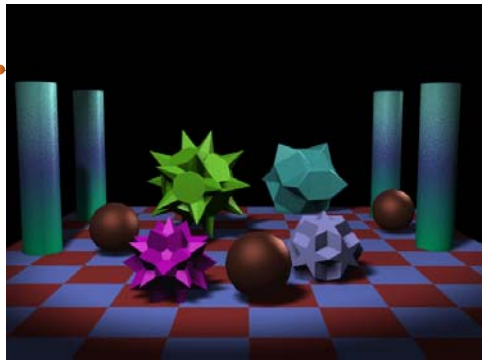
- Encurtamento perspectivo
  - Objetos ficam menores a medida que se distanciam do centro de projeção



Características da Perspectiva

- Pontos de Fuga
  - Retas não paralelas ao plano de projeção parecem se interceptar em um ponto no horizonte
- Confusão Visual
  - Objetos situados atrás do centro de projeção são projetados de cima para baixo e de trás para a frente
- Distorção Topológica
  - Pontos contidos no plano paralelo ao plano de projeção que contém o centro de projeção são projetados no infinito





Projeção Paralela Ortográfica

- Transformação de projeção: como especificar uma projeção ortográfica em um plano paralelo ao plano xy do VCS?

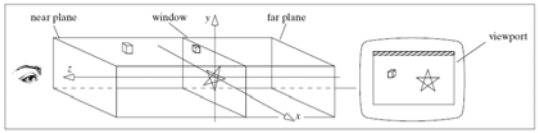


FIGURE 5.50 Simple viewing used in OpenGL for 2D drawing.

Projeções Paralelas

- No caso de projeções paralelas ortográficas, matrizes de transformação são triviais
- Ex. projeção no plano $x_v y_v$ (VCS):

$$M_{ortgraf} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Transformação de Normalização

- Como qualquer posição (x, y, z) em uma projeção ortogonal é mapeada para (x, y), as coordenadas dentro do volume de visão são as coordenadas de projeção, assim essas podem ser mapeadas para um **volume de visão normalizado** sem precisar ser reprojetadas

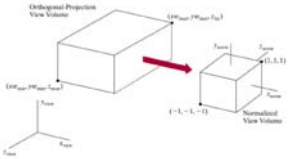


Figura: Transformação de normalização em um sistema de referência dado pela mão esquerda (normalmente o sistema da tela)

Transformação de Normalização

- Ess transformação de normalização é semelhante a obtida em 2D, com a adição dos valores da coordenada z sendo normalizados do intervalo z_{near} a z_{far} para -1 a 1

$$\mathbf{M}_{ortho,norm} = \begin{bmatrix} \frac{2}{xw_{max}-xw_{min}} & 0 & 0 & -\frac{xw_{max}+xw_{min}}{xw_{max}-xw_{min}} \\ 0 & \frac{2}{yw_{max}-yw_{min}} & 0 & -\frac{yw_{max}+yw_{min}}{yw_{max}-yw_{min}} \\ 0 & 0 & \frac{-2}{z_{near}-z_{far}} & \frac{z_{near}+z_{far}}{z_{near}-z_{far}} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Projeção Perspectiva

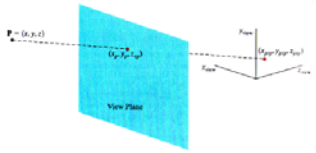
- PRP: *Projection Reference Point*
  - o ponto de referência de projeção... posicionado em (x_{prp}, y_{prp}, z_{prp}) (no SRV)
  - alguns sistemas assumem que coincide com a posição da câmera (a origem do SRV)
- Problema da projeção:
  - determinar as coordenadas (x_p, y_p, z_p) de um ponto P = (x, y, z) projetado no plano de projeção.

Transformação de Projeção

- Problema da projeção:
  - determinar as coordenadas (x_p, y_p, z_p) de um ponto P = (x, y, z) projetado no plano de projeção
- Dados:
  - (x_{prp}, y_{prp}, z_{prp}) (no SRV)
  - O plano de projeção: perpendicular ao eixo z do SRV, posicionado em z = z_{vp}

Transformação de Projeção

- Algumas bibliotecas gráficas permitem que se escolha o ponto de referência de projeção $(x_{prp}, y_{prp}, z_{prp})$



Transformação de Projeção

- Considerando que a projeção do ponto (x, y, z) intercepta o plano de projeção na posição (x_p, y_p, z_{vp}), podemos escrever qualquer ponto ao longo dessa linha de projeção como

$$x' = x + u*(x_{prp} - x)$$
$$y' = y + u*(y_{prp} - y)$$
$$z' = z + u*(z_{prp} - z)$$

$$u \in [0,1]$$

Transformação de Projeção

- No plano de projeção: $z_p = z_{vp}$. Podemos resolver z_p para obter o valor de u nessa posição...

$$u = \frac{z_{vp} - z}{z_{prp} - z}$$

Transformação de Projeção

- Substituindo nas eqs. de x_p e y_p (e w_p), obtemos as coord´s dos pontos projetados

$$x_p = x(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{z_{prp} - z}) + x_{prp}(\frac{z_{vp} - z}{z_{prp} - z})$$
$$y_p = y(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{z_{prp} - z}) + y_{prp}(\frac{z_{vp} - z}{z_{prp} - z})$$

Casos especiais

- Pode-se restringir alguns parâmetros, p. ex.:
- centro de projeção sobre eixo z do SRV:
  - (x_{prp}, y_{prp}, z_{prp}) = (0, 0, z_{prp})

$$x_p = x(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{z_{prp} - z})$$
$$y_p = y(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{z_{prp} - z})$$

Casos especiais

- Pode-se restringir alguns parâmetros... p. ex.:
- centro de projeção na origem do SRV:
  - (x_{prp}, y_{prp}, z_{prp}) = (0, 0, 0)

$$x_p = x(\frac{z_{vp}}{z})$$
$$y_p = y(\frac{z_{vp}}{z})$$

Casos especiais

- Pode-se restringir alguns parâmetros... p. ex.:
- plano de projeção é plano xy do SRV, e centro de projeção sobre eixo z do SRV:
  - (x_{prp}, y_{prp}, z_{prp}) = (0, 0, z_{prp}), e z_{vp}.= 0

$$x_p = x(\frac{z_{prp}}{z_{prp} - z})$$
$$y_p = y(\frac{z_{prp}}{z_{prp} - z})$$

Casos especiais

- Em geral, plano de projeção está entre o centro de projeção e a cena
- ... outras posições são possíveis (o centro de projeção não pode estar no plano de projeção)

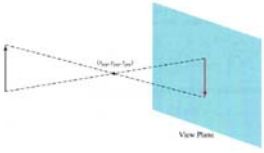


Figura: Os objetos são invertido se o ponto de referência está entre o plano de visão e a cena.

Casos especiais

- Efeitos da perspectiva tb. dependem da distância entre o centro de projeção e o plano de projeção

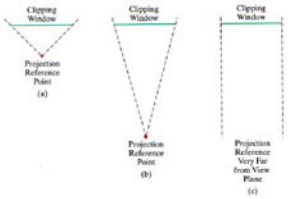


Figura: Se o centro de projeção está próximo ao plano de projeção, objetos mais próximos ao plano aparecerão muito maiores do que os distantes

Matriz de transformação perspectiva

- Não é possível, a partir das eqs. anteriores, definir uma **matriz** de transformação perspectiva
  - denominadores dos coeficientes de *x* e *y* definidos em função de *z*

$$x_p = x(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{z_{prp} - z}) + x_{prp}(\frac{z_{vp} - z}{z_{prp} - z})$$
$$y_p = y(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{z_{prp} - z}) + y_{prp}(\frac{z_{vp} - z}{z_{prp} - z})$$

Matriz de transformação perspectiva

- Pode-se superar essa limitação usando coordenadas homogêneas

$$x_p = \frac{x_h}{h}, \quad y_p = \frac{y_h}{h}$$

- Em que o parâmetro homogêneo é

$$h = z_{prp} - z$$

Matriz de transformação perspectiva

- Os numeradores permanecem os mesmos

$$x_p = x(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{h}) + x_{prp}(\frac{z_{vp} - z}{h})$$
$$y_p = y(\frac{z_{prp} - z_{vp}}{h}) + y_{prp}(\frac{z_{vp} - z}{h})$$

Matriz de transformação perspectiva

- Pode-se definir uma matriz de transformação que projeta uma posição espacial dada em coordenadas homogêneas
- Inicialmente calcula-se as coord´s homogêneas $P_h = (x_h, y_h, z_h, h)$ de um ponto $P = (x, y, z, 1)$ usando a matriz de projeção perspectiva

$$\mathbf{P}_h = \mathbf{M}_{pers} \cdot \mathbf{P}$$

- A seguir coord´s são divididas por *h* para se obter as coord´s projetadas

Transformação de Projeção

- Na forma matricial homogênea

$$\mathbf{M}_{Pers} = \begin{bmatrix} z_{prp} - z_{vp} & 0 & -x_{prp} & x_{prp} z_{prp} \\ 0 & z_{prp} - z_{vp} & -y_{prp} & y_{prp} z_{prp} \\ 0 & 0 & -z_{vp} & z_{vp} z_{prp} \\ 0 & & -1 & z_{prp} \end{bmatrix}$$

Transformação de Projeção

- Observação
  - Valor original da coordenada z (no VCS) deve ser mantido para uso posterior por algoritmos de remoção de superfícies ocultas

Paralela vs. Perspectiva

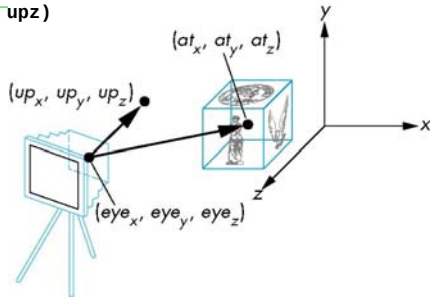
- Projeção perspectiva
  - Tamanho varia inversamente com distância: aparência ´realista´
  - Distâncias e ângulos não são preservados
  - Linhas paralelas não são preservadas
- Projeção paralela
  - Boa para medidas exatas
  - Linhas paralelas são preservadas
  - Ângulos não são preservados
  - Aparência menos realista

No OPENGL

- glOrtho(left, right, bottom, top, near, far);
- glFrustum (left, right, bottom, top, near, far);
- gluPerspective(angle, aspect, near, far);
- gluLookAt(eyex, eyey, eyez, atx, aty, atz, upx, upy, upz);

gluLookAt

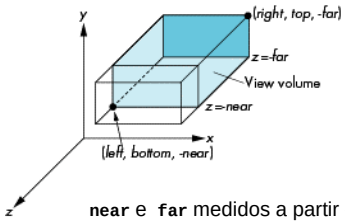
`glLookAt(eyex, eyey, eyez, atx, aty, atz, upx, upy, upz)`



Fonte: E. Angel, Interactive Computer Graphics, 4a. Ed., Addison-Wesley 2005

OpenGL Orthogonal Viewing

`glOrtho(left,right,bottom,top,near,far)`

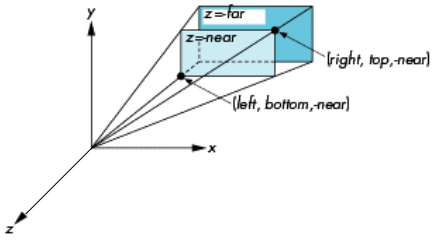


`near` e `far` medidos a partir da câmera

Fonte: E. Angel, Interactive Computer Graphics, 4a. Ed., Addison-Wesley 2005

OpenGL Perspective

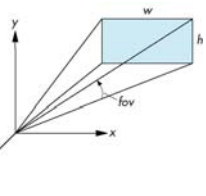
`glFrustum(left,right,bottom,top,near,far)`



Fonte: E. Angel, Interactive Computer Graphics, 4a. Ed., Addison-Wesley 2005

Using Field of View

`gluPerpective(fovy, aspect, near, far)`



`aspect = w/h`

Fonte: E. Angel, Interactive Computer Graphics, 4a. Ed., Addison-Wesley 2005

Bibliografia

- Capítulo 6 da apostila
- Cap. 7 Hearn & Baker
- Cap. 2 Conci e Azevedo
- http://escience.anu.edu.au/lecture/cg/Transformation/index.en.html
- Curso CG da ACM (link na pág. GBDI)
- ...