

**BEZIER4D - AMBIENTE
PARA MODELAGEM, VISUALIZAÇÃO
E ANIMAÇÃO TRIDIMENSIONAL**

*Manuel Menezes de Oliveira Neto
(CPGCC-UFRGS)*

*Rui Manuel Ribeiro de Bastos
(CPGCC-UFRGS)*

Página em branco na versão original impressa.

BEZIER4D - AMBIENTE PARA
MODELAGEM, VISUALIZAÇÃO E ANIMAÇÃO TRIDIMENSIONAL

Manuel Menezes de Oliveira Neto
Rui Manuel Ribeiro de Bastos

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
CPGCC - Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação
Caixa Postal 1501, CEP 90001, Porto Alegre, R.S.

e_mail: menez@cunhan.inf.ufrgs.anrs.br
rui@cunhan.inf.ufrgs.anrs.br

ABSTRACT - This work presents an environment for modeling, visualization and animation of objects described by uniform nonrational bicubic Bézier surfaces.

1. INTRODUÇÃO

A importância da modelagem geométrica tem crescido rapidamente em várias áreas de aplicação, tendo se tornado o principal ingrediente de sistemas CAD/CAM, animação, composição de cenas tridimensionais, geração de hologramas por computador [6], [9].

A modelagem geométrica provê modelos abstratos de objetos, ou processos reais, que são economicamente mais convenientes de serem experimentados e mais facilmente analisados que seus correspondentes reais [6].

Métodos de modelagem geométrica são utilizados para construir descrições matemáticas precisas sobre as formas de objetos reais. Um bom modelo é capaz de fornecer informações preciosas sobre a realidade [5].

Rendering é o termo atribuído ao processo de produção de imagens realísticas, o qual se encontra intimamente relacionado à simulação do comportamento da luz. A característica da luz refletida pela superfície de um objeto depende da composição, direção e geometria das fontes de luz, e da orientação e das propriedades da superfície do objeto [4].

A construção e utilização de modelos geométricos para produção de sequências animadas (animações modeladas) vêm se intensificando bastante. Esta é uma área promissora pelo seu potencial na produção de efeitos especiais para a indústria cinematográfica [4].

2. ESTRUTURA DO SISTEMA

O sistema **BEZIER4D** é composto por três módulos independentes: modelagem (**BEZIER3D**), visualização (**RENDER3D**) e animação (**INTERPOL3D**).

O módulo **BEZIER3D** [2] permite a modelagem de objetos com representação por superfícies a partir da justaposição de *patches* Bézier bicúbicos uniformes não racionais [3].

O módulo de visualização **RENDER3D** provê recursos para a exibição de um conjunto de triângulos utilizando algoritmos para remoção de elementos ocultos e sombreamento (*shading*).

O módulo de animação **INTERPOL3D** permite a interpolação de forma, posição e escala entre dois objetos ao longo do tempo.

3. BASE MATEMÁTICA PARA SUPERFÍCIES BÉZIER BICÚBICAS UNIFORMES NÃO RACIONAIS

Os pontos de uma superfície Bézier bicúbica uniforme não racional são obtidos pela expressão [3], [6], [2]:

$$p(s,t) = \begin{bmatrix} (1-s)^3 & 3s(1-s)^2 & 3s^2(1-s) & s^3 \end{bmatrix} \cdot P \cdot \begin{bmatrix} (1-t)^3 \\ 3t(1-t)^2 \\ 3t^2(1-t) \\ t^3 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

onde:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \\ p_{41} & p_{42} & p_{43} & p_{44} \end{bmatrix} ; \quad s, t \in [0,1]$$

p_{ij} representa as coordenadas (x,y,z) de um ponto no espaço tridimensional. A matriz P (4x4) contém os 16 vértices da malha de controle. Qualquer ponto da superfície gerada é resultado de uma ponderação, através dos parâmetros s e t, de cada um dos 16 vértices. Entretanto, somente p_{11} , p_{14} , p_{41} e p_{44} pertencem à superfície, enquanto os demais apenas participam da ponderação (exceto caso a malha de controle seja plana).

A geração da superfície é feita através de uma discretização dos parâmetros ortogonais s e t em ns e nt segmentos, respectivamente. Calcula-se cada um dos (ns+1)(nt+1)

pontos da superfície Bézier através da expressão (3.1) [2], fazendo s e t variarem de 0 a 1, com passos de $1/ns$ e $1/nt$, respectivamente. A partir destes pontos, uma aproximação da superfície é obtida por meio de sua discretização em $2 \cdot ns \cdot nt$ triângulos.

4. MODELAGEM

O módulo **BEZIER3D** oferece recursos para modelagem baseados na composição de *patches* Bézier bicúbicos (16 vértices de controle). A malha formada por estes vértices aproxima-se bastante da superfície resultante [3], [4], razão pela qual essas superfícies constituem uma ferramenta poderosa para os métodos de modelagem auxiliados por computador.

4.1 Hierarquia do universo

Um universo, no contexto **BEZIER4D**, é uma estrutura recursiva composta de vários objetos, cada um dos quais podendo ser formado por sub-objetos, até que o usuário decida compô-los por meio de malhas (ver figura 1).

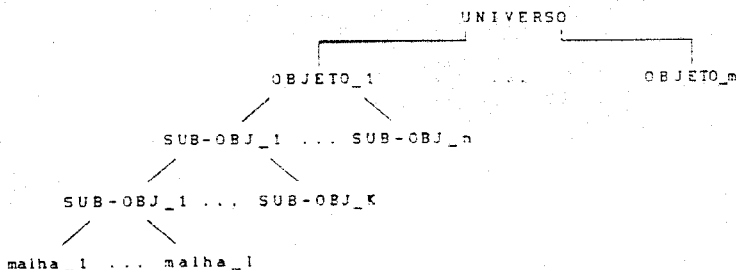


Figura 1 - Hierarquia de um universo **BEZIER4D**.

Cada malha contém, além dos 16 vértices de controle, os seguintes atributos: número de segmentos para discretização em s e t , cor (RGB), constantes de reflexão ambiental [4], difusa e especular, coeficiente n de especularidade [7] e nome de arquivo para mapeamento de textura.

eixo Y do universo, caracteriza-se por uma rotação de 180° na seção do objeto, em torno do plano XZ do universo. Aplica-se à geração de tori e de helicoides.

O módulo de modelagem **BEZIER3D** oferece ainda ao usuário um conjunto de primitivas parametrizáveis (esfera, cilindro, cone, paralelepípedo e disco) que podem ser livremente instanciadas no universo.

A modelagem por composição de patches, garante ao usuário a possibilidade de construir objetos, malha a malha utilizando-se dos recursos descritos na seção 4.4. Durante o processo de composição, pode-se exigir que malhas sejam inseridas observando-se continuidade de posição (C^0) e/ou continuidade de primeira ordem paramétrica (C^1) [3].

4.4 Operações sobre o universo

Durante o procedimento de modelagem, permite-se ao usuário operar sobre as diversas malhas que compõem cada um dos objetos do universo. Objetos a serem operados são selecionados através da alteração de seu *status de modelagem*, o qual pode assumir um dos três estados: **OFF**, **ON** e **USO**. **OFF** designa objeto não operável; **ON**, objetos operáveis; **USO**, objeto corrente (único, no qual podem ser inseridas novas malhas). **USO** constitui um caso particular de **ON**.

O *status de modelagem* associado a um objeto pode ser alterado através de um menu dinâmico contendo a estrutura atual do universo (objetos e respectivos *status*) (ver figura 2).

```
OFF OBJETO_1
OFF ../SUB-OBJ_1
OFF .././SUB-OBJ_1
  ..../...
  ON .././SUB-OBJ_k
  ..../...
OFF ../SUB-OBJ_n
  ....
USO OBJETO_m
```

Figura 2 Menu para alteração de status.

Alterações sobre malhas selecionadas de objetos operáveis (**ON/USO**) podem ser efetuadas a nível de posição (translação, rotação), forma ou atributos. A forma de um conjunto

de malhas pode ser alterada, especificando-se, por apontamento, vértices que poderão ser transladados simultaneamente.

5. VISUALIZAÇÃO

O módulo **RENDER3D** utiliza a câmara sintética de projeção perspectiva para exibição do universo. Há duas opções para remoção de elementos ocultos: o algoritmo de lista de prioridades (*pintor*), e o de linha de varredura (*scan-line z-buffer*) [8]. O sombreado (*shading*) de uma cena pode ser efetuado utilizando os modelos de iluminação constante, *Gouraud* ou *Phong* [7], [4]. Os dois últimos restringem-se ao algoritmo *scan-line z-buffer*.

O *shading* de uma cena é realizado utilizando informações sobre as fontes de luz (posição, intensidade e cor) e a cor e coeficientes de reflexão da superfície a ser iluminada (coeficientes de reflexão ambiente [4], difusa e especular, e o expoente de especularidade [7]).

RENDER3D ameniza o efeito *mach-band* [7], [8], [4] utilizando, para o cálculo da intensidade, a normal à superfície (N_s) e não a normal aos triângulos (N_t) nos quais a superfície é discretizada (ver figura 3). O inconveniente do efeito *mach-band* é totalmente eliminado quando se utiliza o modelo de iluminação de Phong [7].

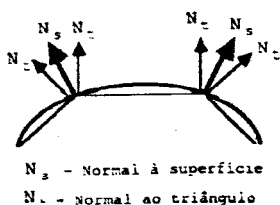


Figura 3 - Normal à superfície Bezier.

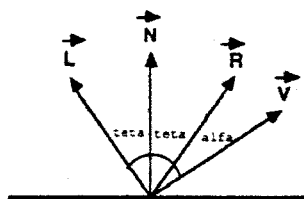


Figura 4 - Notação para iluminação de um ponto.

O cálculo da normal a uma superfície paramétrica é feito utilizando-se o produto vetorial:

$$N = \frac{\frac{\partial p}{\partial s} \times \frac{\partial p}{\partial t}}{\left| \frac{\partial p}{\partial s} \times \frac{\partial p}{\partial t} \right|} ; \text{ onde } N \text{ é a normal ao ponto } p(x,y,z) \text{ dado pela expressão (3.1) e } s \text{ e } t \text{ são os parâmetros do espaço paramétrico.}$$

Para se considerar luzes e superfícies coloridas deve-se escrever uma expressão para o cálculo da intensidade de um pixel para cada componente do modelo de cores. No modelo RGB de cores deve haver uma equação para a componente vermelha (Red) do pixel, outra equação para a componente verde (Green) e outra para a componente azul (Blue). Já que a única diferença entre essas equações é a componente de cor que elas levam em consideração, será escrita apenas uma expressão onde C representará uma das componentes de cor do sistema RGB.

Considerando que a luz ambiente é branca e utilizando a notação da figura 4, as componentes de cor RGB de um dado pixel (C_p), são dadas pela seguinte expressão:

$$C_p = \frac{k_a \cdot I_{amb} \cdot C_s + \left(\text{dif} \cdot C_s \cdot C_l + \text{esp} \cdot C_l \right) \cdot \text{Intens}}{\text{dist}^2}$$

$$\begin{cases} \text{dif} = \text{esp} = 0 & , \text{ se } \vec{L} \cdot \vec{N} \leq 0 \\ \text{dif} = k_d \vec{L} \cdot \vec{N} \\ \text{esp} = k_e (\vec{R} \cdot \vec{V})^n & , \text{ caso contrário} \end{cases}$$

onde: C representa uma das componentes de cor (R, G ou B) com valores no intervalo [0,1]; C_p a cor do pixel; C_s a cor da superfície; C_l a cor da fonte de luz; k_a , k_d e k_e os coeficientes de reflexão ambiental, difusa e especular ($0 \leq k_a, k_d, k_e \leq 1$); n o coeficiente de especularidade; Intens a intensidade da fonte de luz; I_{amb} a intensidade da luz ambiental; dist a distância luz-ponto-observador; \vec{L} o versor da fonte de luz; \vec{N} o versor normal ao ponto; \vec{R} o versor reflexão e \vec{V} o versor do observador.

Nota-se, pela expressão acima, que a cor de um pixel depende diretamente da cor da fonte de luz apenas na especularidade. As componentes de reflexão difusa ou Lambertiana e reflexão ambiental contribuem para a cor desse pixel com a cor da superfície sendo iluminada filtrada pela cor da fonte de luz. Na expressão acima supôs-se que a luz ambiental é de cor branca. Caso se deseje considerar uma iluminação ambiente de outra cor (C_a) devem-se definir suas componentes RGB e substituir na expressão acima $k_a \cdot I_{amb} \cdot C_s$ por $k_a \cdot I_{amb} \cdot C_s \cdot C_a$ que realizará a filtragem da cor da superfície (C_s) pela cor da iluminação ambiental (C_a).

Como recurso adicional à geração de imagens realísticas, **RENDER3D** realiza mapeamento de texturas sobre superfícies Bézier. Neste caso, indica-se qual textura (arquivo) deve ser mapeada sobre que região do espaço paramétrico [10], [4].

6. ANIMAÇÃO

O módulo de animação **INTERPOL3D** provê a geração de seqüências de objetos intermediários para o processo de interpolação de formas entre pares de objetos descritos por superfícies com bordos [5]. Esses objetos são gerados pelo módulo **BEZIER3D** e podem ser compostos por diferentes números de patches. As correspondências entre as diversas malhas de objetos associados são estabelecidas automaticamente.

O sistema garante controle sobre variações de velocidade durante o processo de interpolação. As acelerações são especificadas por meio de um gráfico velocidade x quadros descrito por uma curva Bézier cúbica [3], [6].

Uma descrição detalhada do módulo **INTERPOL3D** pode ser encontrada em [11] neste mesmo evento.

7. CONCLUSÕES

Apresentou-se um ambiente para modelagem, visualização e animação tridimensional baseado em composição de patches Bézier bicúbicos uniformes não racionais utilizando representações por cascas.

O módulo de modelagem permite a geração de objetos através de: *sweeping* rotacional (circular, helicoidal e Möbius), instanciação de primitivas e composição de patches.

O módulo de visualização oferece recursos para geração de imagens realísticas, dispondo, para remoção de elementos ocultos, dos algoritmos de *lista de prioridades* e *scan-line z-buffer*. Associados a estes, pode-se utilizar os modelos de iluminação Constante, Gouraud e PHONG [7] (os dois últimos restritos ao algoritmo *scan-line z-buffer*). Além disso, pode-se realizar mapeamento de texturas.

O módulo de animação provê interpolação de formas entre pares de objetos-chaves, estabelecendo, automaticamente, as

correspondências entre os diversos patches dos elementos associados.

A figura 5 apresenta um peão de xadrez modelado em **BEZIER3D** e exibido por **RENDER3D**.

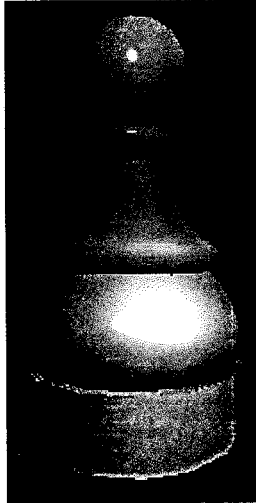


Figura 5 - Objeto gerado por *sweeping* rotacional circular, discretizado em 2048 triângulos e sombreado utilizando Phong.

8. TRABALHOS FUTUROS

Estuda-se a implementação de um *sweeping* translacional que se utilize de diversas seções de corte do objeto a ser modelado. A especificação destas seções será feita através de composições de curvas Bézier cúbicas. Estes cortes serão distribuídos ao longo de um eixo (não necessariamente reto, também definido por composição de curvas Bézier).

Atualmente, está em desenvolvimento um módulo para Geração de Hologramas por Computador (CGH) de objetos tridimensionais [9]. Objetivo da dissertação de mestrado do autor Rui Bastos.

BIBLIOGRAFIA REFERENCIADA

- [1] BAGGIO, A.; ZORZO, A.; ROSA, F.; GIM: Gerador de Interfaces Orientadas a Menus. In: Seminário Interno de Microeletrônica (5.:1989, nov. 17-18: Tramandai). Anais. Porto Alegre, CPGCC da UFRGS, 1989.
- [2] BASTOS, Rui; NASCIMENTO, Marcos; OLIVEIRA NETO, Manuel. BEZIER3D - Sistema para Modelagem e Visualização Tridimensional. Apresentado no WORKSHOP ON GEOMETRIC MODELING, IMPA, 9-11 jan. 1991.
- [3] FARIN, Gerald E., Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design: A Practical Guide, 2nd ed., Academic Press, SanDiego, 1990.
- [4] FOLEY, J.; van DAM, A.; FEINER, S. and HUGHES, J. Computer Graphics principles and practice, 2nd ed., Addison Wesley, New York, 1990.
- [5] MÄNTYLÄ, Martti, An Introduction to Solid Modeling, Computer Science Press, Maryland, 1988.
- [6] MORTENSON, Michael E., Geometric Modeling, John Wiley & Sons, New York, 1985.
- [7] PHONG, Bui Tuong, Illumination for Computer Generated Pictures, Communications of the ACM, vol.18, no. 6, jun. 1975.
- [8] ROGERS, David F., Procedural Elements for Computer Graphics, McGraw-Hill, Singapore, 1985.
- [9] TRICOLES, G., Computer Generated Holograms: an historical review, Applied Optics, vol. 26, no. 20, out. 1987.
- [10] WALTER, Marcelo. A Obtenção de Texturas na Síntese de Imagens Realísticas num Ambiente Limitado. Porto Alegre, CPGCC da UFRGS. Dissertação de mestrado, 1991.
- [11] OLIVEIRA NETO, Manuel M. INTERPOL3D - Sistema de Animação por Interpolação de Formas de Objetos Descritos por Superfícies Bezier. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens (4.: 1991, jul. 14-17: São Paulo). Anais.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos professores Anatólio Laschuk e Carla Freitas e aos colegas Marcos Eduardo Nascimento, Marcelo Walter, João Batista de Oliveira, Alceu Heinke Frigeri e Benhur Stein.