

Desenvolvimento de um Modelador de Sólidos Multirepresentacional com Núcleo B-Rep e Técnicas de Descrição por Varredura e Semi-espacos

ANA LIDDY CENNI DE CASTRO MAGALHÃES¹
 ANTONIO CASTELO FILHO¹
 CARLOS NEVES LENZ CESAR¹
 MARCELO FERREIRA SIQUEIRA¹
 MARIA CRISTINA FERREIRA DE OLIVEIRA¹

¹ICMSC - Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos
 Departamento de Ciências da Computação e Estatística
 Caixa Postal 665
 13560-970 São Carlos, SP, Brasil
 castelo@icmsc.sc.usp.br, ferreira@icmsc.sc.usp.br

Abstract. This paper describes (SM)², a multirepresentational solid modeling system based on three types of solid description: primitive instancing, rotational/translational sweeping and half-spaces. Once created, models are converted to a Boundary Representation which is kept as the main internal data structure, thus ensuring consistency amongst representations. The system is to be used as a testbed for further research on modeling and visualization algorithms in Computer Graphics, as well as in algorithms and applications in Computer-Aided Design.

1. Introdução

Este trabalho descreve o (SM)² - Sistema de Modelagem de Sólidos Multirepresentacional, um modelador de sólidos que está sendo desenvolvido pelo grupo de Computação Gráfica e Processamento de Imagens do ICMSC-USP. O objetivo é fornecer ao grupo uma ferramenta que possa ser utilizada para fins didáticos e de pesquisa em tópicos como modelagem tridimensional, visualização de objetos e CAD - *Computer-Aided Design*. Em seu estágio atual de desenvolvimento, o sistema permite que objetos sejam descritos pelos usuários por meio de operações de varredura ("*sweeping*") rotacional e translacional, ou por semi-espacos. Estas representações de sólidos são posteriormente convertidas para uma estrutura B-Rep ("*Boundary Representation*"), utilizada pelo modelador como a principal forma de representação interna para acesso por algoritmos de visualização e aplicativos.

As principais características do modelador serão apresentadas, com destaque para alguns recursos interessantes que podem ser úteis a outros modeladores. O trabalho está organizado da seguinte maneira: a seção 2 apresenta a estrutura geral do modelador; a seção 3 descreve o núcleo B-Rep; a seção 4 descreve os módulos de modelagem: por instanciamento de primitivas, por varredura e por semi-espacos. A seção 5 apresenta o módulo de visualização de objetos, e, finalmente, a seção 6 faz algumas considerações finais e discute desenvolvimentos futuros.

2. Estrutura do modelador

Em linhas gerais, o (SM)² possui cinco módulos principais, como ilustrado na figura 1. Estes módulos estão sendo desenvolvidos de forma independente, ainda que funcionalmente interligados. O Núcleo é responsável pela manutenção, gerenciamento e acesso a representações internas. O **Modelador** é responsável pelas operações que atuam sobre a representação interna, gerando objetos e cenas e respondendo a questões geométricas e topológicas. O **Visualizador** permite apresentar detalhes da cena conforme o interesse do usuário. A **Interface** cuida da interação com o usuário. Dando suporte a estes módulos está o **Gerenciador de Arquivos**.

3. Núcleo

A representação interna principal utiliza uma variação da estrutura semi-aresta ("*halfedge*") proposta por [Mäntyla (1988)]. Nesta representação, o sólido é descrito por uma estrutura hierárquica composta pelos elementos primitivos **sólido**, **casca** ("*shell*"), **face**, **ciclo** ("*loop*"), **aresta**, **semi-aresta** e **vértice**. Atua sobre esta estrutura de dados um conjunto de Operadores de Euler, baseados nos operadores descritos em [Mäntyla (1988)], porém estendidos de forma a gerenciar a inclusão do elemento casca.

A estrutura atual suporta apenas objetos poliedrais (faces planas), de forma que objetos com faces curvas são aproximados. Pretende-se futuramente estender a representação B-Rep para descrever objetos com faces

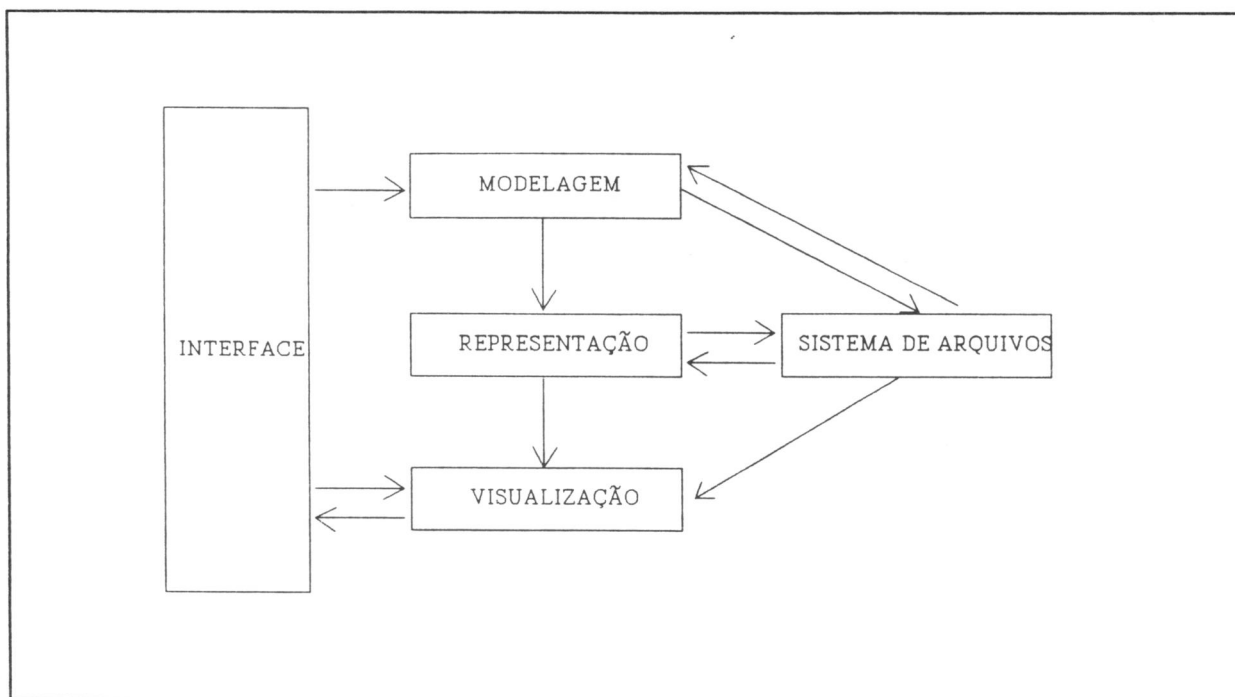


Figura 1: estrutura modular do (SM)².

curvas de forma exata.

4. Recursos para modelagem

A definição inicial de objetos sólidos pode ocorrer de três formas, implementadas em três sub-módulos distintos: através do instanciamento de primitivas, de operações de varredura translacional ou rotacional, ou por semi-espacos definidos por funções implícitas. Está prevista a inclusão de modelagem sólida construtiva e a incorporação de superfícies paramétricas, como *B-Splines* [Bartels et al. (1987)].

Uma característica desses módulos é a possibilidade de gerar objetos sólidos já com alguma complexidade, diminuindo a necessidade de operações complexas de edição, como as operações booleanas [Mäntyla (1988)], [Hoffmann (1989)], que são computacionalmente caras e complexas quando aplicadas sobre sólidos B-Rep.

Durante o processo de geração de cada sólido, é armazenada a forma original de definição, para que outros procedimentos possam tirar proveito destas informações. Como exemplo, o cálculo do volume de um sólido é feito muito mais facilmente a partir dos parâmetros da primitiva do que de sua representação B-Rep. Também é mantida a sequência dos operadores de Euler utilizados, para que seja possível desfazer alguma operação indesejada ("undo").

4.1 Definição através de instanciamento de primitivas

Esse sub-módulo oferece um conjunto de primitivas sólidas concisas e compactas, cujo tamanho, formato,

posição e orientação são determinados por um pequeno conjunto de parâmetros, fornecidos conforme disponibilidade dos dados pelo usuário. Visando aumentar o poder descritivo, as primitivas podem ser definidas em diversas resoluções, de forma reta ou oblíqua, podendo ainda serem maciças, ocas ou vazadas. O quadro 1 apresenta a relação das primitivas disponíveis apontando as formas de definição implementadas.

Primitiva	Forma		Preenchimento		
	Reta	Oblíqua	Maciço	Oco	Vazado
Bloco					
Cubo	X		X	X	X
Ortoedro	X	X	X	X	X
Romboedro	X	X	X	X	X
Trapezóide	X	X	X	X	X
Paralelepípedo	X	X	X	X	X
Prisma					
Regular inscrito	X	X	X	X	X
Regular circunscrito	X	X	X	X	X
Qualquer	X	X	X	X	X
Pirâmide (e tronco)					
Regular inscrita	X	X	X	X	X
Regular circunscrita	X	X	X	X	X
Qualquer	X	X	X	X	X
Cilindro					
Convencional	X	X	X	X	X
Elíptico	X	X	X	X	X
Cone (e tronco)					
Convencional	X	X	X	X	X
Elíptico	X	X	X	X	X
Esfera			X	X	
Toro					
Convencional			X	X	
Elíptico			X	X	

Quadro 1: conjunto de primitivas do (SM)².

4.2 Definição por varredura

Além dos métodos básicos de varredura translacional simples e rotacional de polígono aberto e fechado, esse sub-módulo oferece as seguintes variações: translacional cônica, translacional com torção e rotacional helicoidal [Casacurta (1990)]. Nas operações de varredura, um sólido é definido através de uma face planar fechada e uma trajetória não coplanar à face. Desta forma, o resultado de qualquer varredura é sempre um sólido bem definido, limitado e com volume. Para a definição da face geradora, utilizam-se os conceitos da Geometria Planar Construtiva, dispondo de primitivas como triângulos, quadriláteros, polígonos, círculos e elipses, combinados através de operações booleanas regularizadas (união, intersecção e diferença). Podem-se ainda utilizar poli-linhas, arcos e curvas *B-Spline* planares aproximadas unidas entre si para a definição de sólido por varredura rotacional aberta. Pretende-se implementar também a varredura genérica, na qual a face geradora percorre uma trajetória qualquer, podendo realizar transformações no polígono gerador à medida em que percorre a trajetória.

4.3 Definição por semi-espacos

Nesse módulo, uma representação implícita é gerada para cada sólido descrito através de semi-espacos e definido

através de equações implícitas. Tal representação é convertida para a estrutura B-Rep utilizada pelo núcleo do modelador, de forma a garantir a consistência interna. O procedimento de conversão é semelhante aos algoritmos de avaliação de fronteira ("*boundary evaluation*") utilizados em modeladores CSG-B-Rep [Requicha-Voelcker (1985)], [Persiano et al. (1991)]. A conversão baseia-se em um método que constrói uma aproximação poligonal para o bordo do modelo, gerando então uma representação B-Rep para o bordo aproximado. Estas técnicas estão fundamentadas em trabalhos anteriores sobre poligonalização de superfícies definidas implicitamente [Allgower-Gnutzmann (1987)], [Bloomenthal (1988)], [Miranda-Tavares (1989)], [Castelo (1992)]. Mais informações sobre a implementação desse módulo podem ser obtidas em [Siqueira (1994)].

5. Visualização

O visualizador que está sendo implementado é baseado no algoritmo de remoção de superfícies ocultas "Scan-line" descrito em [Foley (1990)]. Algumas otimizações foram incorporadas ao algoritmo, de forma a acelerá-lo tirando proveito de propriedades de sólidos B-Rep poliedrais, como a vizinhança de faces (e consequente compartilhamento de arestas) e a orientação de faces, que indica algumas faces que não são visíveis ao observador [Cesar-DeOliveira (1994)].

O cálculo da iluminação das partes visíveis dos sólidos utiliza um modelo de iluminação descrito em [Rogers (1985)]. Este modelo emprega uma função de iluminação com três termos, referentes às contribuições ambiental, difusa e especular para a iluminação. Diferentes técnicas de "shading" [Rogers (1985)], [Foley (1990)] poderão ser utilizadas na visualização, estando o "Flat shading" operacional, e "Gouraud shading" e "Phong shading" em desenvolvimento. Estas permitem suavizar a aparência dos sólidos poliedrais, mostrando-os como se fossem constituídos de superfícies contínuas e não facetadas. O visualizador também permitirá gerar efeitos visuais como sombras e transparência, com várias fontes de luz pontuais e/ou direcionais.

6. Considerações finais

O (SM)² é um modelador que integra diferentes formas de representação de sólidos. Os módulos de modelagem por instanciamento primitivo e por semi-espacos estão operacionais, e o módulo de modelagem por varredura encontra-se em fase final de implementação e testes, assim como o visualizador. Pretende-se futuramente acrescentar ao (SM)² um módulo de modelagem por B-splines.

O módulo de interface atualmente disponível é provisório. Uma versão definitiva deverá ser direcionada ao conjunto de aplicações para as quais deseja-se utilizar o modelador. Uma possível aplicação seria a visualização de objetos no ensino de geometria, o que requer, por exemplo, operações de seccionamento e cálculo de áreas e volumes.

Também está prevista a inclusão de operações de edição de sólidos, como operações de modificação local e global, e também a extensão da estrutura de representação interna para descrever de forma exata objetos com faces curvas. Estas extensões têm por objetivo habilitar o uso do modelador como ferramenta de apoio a pesquisas em algoritmos e aplicações na área de CAD.

Referências

- E. Allgower, S. Gnuzmann, An algorithm for piecewise-linear approximation of implicit defined two-dimensional surfaces, SIAM J. Numerical Analysis **24**(2) (1987) 452-469.
- R. Bartels, J. Beatty, B. Barsky, An introduction to splines for use in computer graphics and geometric modeling, Morgan-Kaufmann, 1987.
- J. Bloomenthal, Polygonization of implicit surfaces, Computer Aided Geometric Design **5** (1988) 341-355.
- A. Casacurta, Sweeping - Representação de sólidos rígidos, Jornada EPUSP-IEEE em Computação Visual, USP, São Paulo, 1990.
- A. Castelo F^o, Aproximações adaptativas de variedades implícitas com aplicações à modelagem implícita e EAD's, tese de doutorado, DM-PUC(RJ), 1992.
- C.N.L. Cesar, M.C.F. De Oliveira, Uma versão rápida do algoritmo scan-line para rendering de sólidos, comunicação submetida ao VII SIBIGRAPI, 1994.
- J.D. Foley et al., Computer graphics principles and practice, 2^a ed., Addison-Wesley, 1990.
- C.M. Hoffmann, Geometric and solid modeling - An introduction, Morgan-Kaufmann, 1989.
- M. Mäntylä, An introduction to solid modeling, Computer Science Press, 1988.
- J. Miranda, G. Tavares, Métodos simpliciais em computação gráfica, 17^o Colóquio Brasileiro de Matemática, IMPA, Rio de Janeiro, 1989.
- D.F. Rogers, Procedural elements for computer graphics, McGraw-Hill, 1985.
- A.A.G. Requicha, H.B. Voelcker, Boolean operations in solid modeling: boundary evaluation and merging algorithms, Proc. IEEE **73**(1) (1985) 30-44.
- R. Persiano et al., Boundary evaluation of CSG solids by simplicial subdivision, COMPUGRAPHICS'91, Portugal, 220-229.
- M.F. Siqueira, A. Castelo F^o, Modelagem por semi-espacos para um modelador de sólidos com núcleo B-Rep, artigo submetido ao VII SIBIGRAPI, 1994.