

VirtusCADE, um Sistema para o Design Virtual de Produtos

VirtusCADE, a system for virtual design of products

Prof. Dr. Fábio Gonçalves Teixeira

Grupo Virtual Design, PgDesign – Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS
Depto. de Design e Expressão Gráfica da UFRGS
fabio.teixeira@ufrgs.br

Prof. Sérgio Leandro dos Santos

Grupo Virtual Design, PgDesign – Programa de Pós-Graduação em Design da UFRGS
Depto. de Design e Expressão Gráfica da UFRGS
sergio.santos@ufrgs.br

Abstract. *The knowledge of latest technology that allows the development of competitive products in reduced times is crucial to guarantee a sustainable growth of the national industry. This work presents the development of a computational system for the Virtual Design of products, the VirtusCADE, which is a CAD/CAE interactive software (Computer Aided Design/Computer Aided Engineering). The VirtusCADE includes 3D geometric modeling of surfaces and solids and mesh generation. The system uses the parametric modeling of surfaces, including algorithms for determination of intersection between surfaces and for triangular mesh generation in trimmed parametric surfaces. The graphical interface is interactive and allows the direct real time manipulation of objects (lines, surfaces and solids) in 3D using the OpenGL technology. The system prioritizes the usability, implementing several graphic tools that facilitate the manipulation in 3D. The VirtusCADE contemplates the structural simulation through the Finite Element Method. The code architecture is based on oriented object programming, which allows great scaling capability for the implementation of new tools. This project has great applicability in numerical simulation of physical phenomena, such structural analysis of buildings, vehicles parts, with impact in the industries of civil construction, metal-mechanics, aerospace, naval and automotive.*

Keywords: *Virtual Design, Geometric modeling, Finite elements.*

Introdução

O design industrial moderno não pode mais prescindir das técnicas de simulação computacional, seja para a concepção, representação e simulação de componentes e produtos. As indústrias automotiva, naval, aeroespacial e metal-mecânica são exemplos dos setores que utilizam a simulação computacional em todas as etapas do projeto. Dentre os diversos tipos, a simulação estrutural assume importância fundamental, pois os aspectos estruturais estão diretamente relacionados com a viabilidade, com a segurança e com a durabilidade do produto. Simulações estruturais, normalmente, são feitas com códigos computacionais baseados no Método dos Elementos Finitos (Zienkiewicz e Taylor, 2005), os quais utilizam modelos virtuais com os dados geométricos da peça, as propriedades físicas dos materiais empregados e as condições de vínculo e cargas às quais a peça está submetida.

Os softwares comerciais possuem alto custo de licença e manutenção e, na grande maioria dos casos, possuem arquitetura fechada, o que dificulta ou inviabiliza o seu uso para a pesquisa científica onde seja necessária a geração ou publicação de dados não disponíveis no pacote de software. Certos pacotes permitem algum tipo de customização, porém não disponibilizam acesso ao seu núcleo para que alterações realmente importantes sejam feitas.

É neste contexto que se insere este trabalho. O VirtusCADE é um sistema computacional para o desenvolvimento virtual de produtos, o qual foi elaborado a partir do software de simulação T-CADE (Teixeira, 2003). O VirtusCADE é um sistema interativo com características de manipulação direta de objetos, com capacidade de criação de objetos a partir de superfícies paramétricas e operações complexas Booleanas a partir da interseção geométrica de objetos.

Representação paramétrica de curvas e superfícies

As representações paramétricas constituem uma forma robusta para a representação computacional de objetos geométricos como curvas e superfícies. O uso de representações paramétricas é uma importante ferramenta na modelagem geométrica tridimensional para a análise de problemas de projeto de Engenharia, aliando precisão geométrica, com possibilidades praticamente infinitas de geometrias, a uma grande simplicidade de implementação e manipulação computacional.

O VirtusCADE utilize representações de superfícies paramétricas de domínios quadriláteros que são utilizadas na geração de modelos geométricos para análise ou simulação de problemas de projeto de Engenharia. As superfícies implementadas são dos seguintes tipos: Planas, Bilineares, Regradas, Revolução, Coons, Loft e Sweep. Estas superfícies sempre utilizam linhas paramétricas em sua definição e também para a definição de linhas de recorte. Desta forma, a modelagem inicia pela a criação das linhas que irão dar origem a uma superfície. Por exemplo, para a geração de uma superfície de revolução é necessário ter criado primeiro a linha de forma e o eixo.

Interseção de superfícies

A determinação de interseções entre superfícies consiste em um dos temas mais importantes da computação gráfica. Vários são os exemplos de aplicações onde é necessário determinar as linhas de interseção entre duas superfícies, podendo-se destacar: modelagem geométrica para a geração de malhas de Elementos Finitos em cascas e sólidos, representação B-Rep a partir de CSG, determinação de silhuetas de superfícies, operações Booleanas, construção de superfícies de concordância entre duas superfícies, determinação de

caminhos de ferramentas (CAM), detecção de interferências e colisões. Todas estas aplicações estão presentes em maior ou menor grau em sistemas para projeto e simulação de Engenharia (CAD/CAE). As técnicas de determinação de interseção têm especial importância no design de produtos, pois permitem a modelagem de geometrias complexas a partir do recorte das superfícies pelas linhas de interseção.

O método de interseção proposto (Teixeira e Creus, 2008) e implementado no VirtusCADE utiliza subdivisão adaptativa em função da curvatura local das superfícies e é baseado no princípio divide-and-conquer (Houghton et al., 1985). As superfícies são subdivididas em etapas sucessivas até que não existam trechos com curvatura superior a um determinado limite. Desta forma, é possível reduzir o problema de interseção, localmente, ao caso de interseção entre dois planos. A grande vantagem deste método é a total independência de tipo e forma das superfícies, assim como da forma e complexidade das linhas de interseção. Estes fatores são importantes para garantir a robustez e generalidade do método, características fundamentais em CAGD (Computer Aided Geometric Design). O processo de interseção é feito em quatro etapas: Subdivisão adaptativa, Interseção entre os trechos, refinamento dos resultados e parametrização das linhas de interseção. As linhas de interseção são determinadas com alto grau de precisão, com erro máximo de 10-12 relativo à dimensão máxima envolvida. As linhas de interseção resultantes são mapeadas sobre o espaço paramétrico de cada superfície e podem ser utilizadas para a criação de recortes e subdomínios para a geração de malhas (Figura 1).

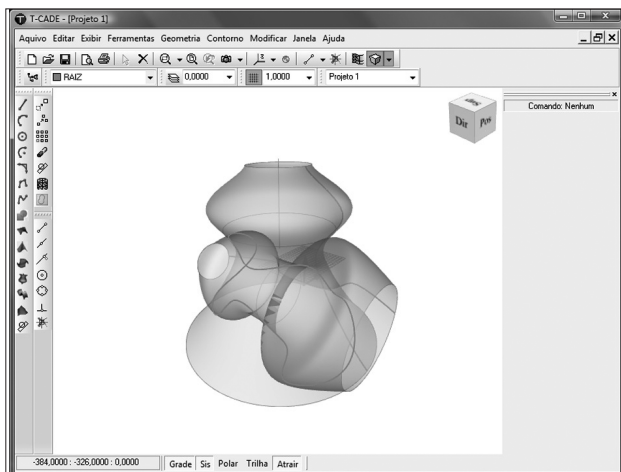


Figura 1. Exemplo de interseção entre duas superfícies.

Geração de malha

O algoritmo proposto neste trabalho é do tipo Frontal (advancing front) e utiliza uma malha de fundo (background mesh), construída através de subdivisões recursivas, para regular o tamanho dos elementos em função da curvatura local das diferentes regiões da superfície (Teixeira e Creus, 2003). A escolha de um método tipo Frontal é devida, principalmente, à característica deste tipo de método de permitir a construção de malhas em domínios com contornos arbitrários, como os que ocorrem após a determinação das linhas de interseção entre duas superfícies.

O algoritmo utiliza tolerâncias angulares aplicadas aos vetores normais das curvas e da superfície, de modo a levar em conta as curvaturas locais, tanto na discretização do contorno, como na geração da malha de fundo.

O algoritmo possui a capacidade de criar malhas de qualidade em domínios recordados, com furos e linhas internas. As malhas geradas são sensíveis às curvaturas das superfícies e dos

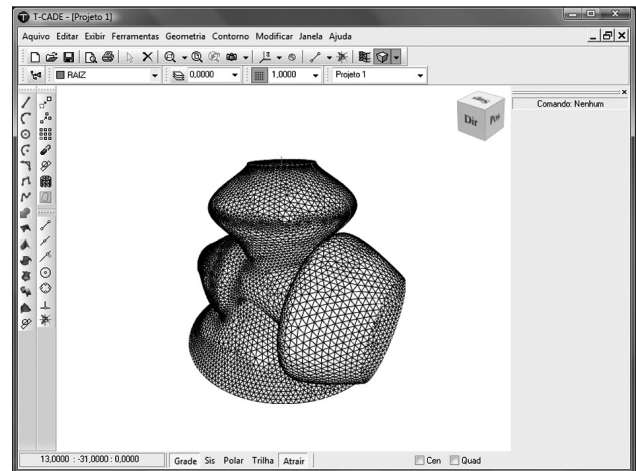


Figura 2. Exemplo de geração de malha em superfícies recortadas.

contornos dos subdomínios. É possível gerar malhas em mais de um subdomínio em cada superfície, o que aumenta o potencial de geração do programa. A qualidade de todas as malhas apresentadas nos exemplos é excelente, com α médio $\geq 0,95$ em todos os casos (Figura 2).

Atribuição de propriedades, vínculos e cargas

A atribuição de materiais, propriedades, vínculos e cargas é feita diretamente sobre o modelo geométrico baseado em superfícies paramétricas. Assim, no momento da geração da malha, os elementos herdam os atributos da superfície de origem. As propriedades podem ser os materiais com suas constantes físicas e propriedades geométricas, como espessura ou a seção de um elemento de barra. As propriedades referentes a materiais e geometrias são encapsuladas em uma propriedade abstrata que divide os objetos (superfícies) em categorias e recebe o nome de Classe de Objetos. Assim, superfícies pertencentes à mesma Classe têm as mesmas propriedades. Superfícies pertencentes a classes distintas têm diferentes propriedades. As classes servem, além de organizar a atribuição de propriedades, para organizar os modelos de forma hierárquica, uma vez que podem haver classes derivadas em um número praticamente ilimitado de níveis.

A atribuição de vínculos e cargas segue um procedimento semelhante ao adotado na atribuição de classes de propriedades. Em uma primeira etapa, é necessário definir categorias de vínculos e cargas. Depois, é possível atribuir estas categorias diretamente a superfícies, linhas e pontos de superfícies. Quando a malha é gerada, os nós e elementos pertencentes a regiões com vínculos e cargas herdam estes atributos da superfície sobre a qual foram gerados.

Características da interface gráfica

O VirtusCADE utiliza uma interface 3D baseada em OpenGL de forma a proporcionar alto desempenho com qualidade de renderização em tempo real. Com isto, fica garantida uma taxa média de 40 FPS (frames por segundo) em computadores com placa gráfica dedicada.

Foram implementadas diversas ferramentas de apoio ao desenho e a modelagem interativa, incluindo feedback em tempo real e ferramentas de apoio geométrico, além de ferramentas que privilegiam a usabilidade.

Uma importante ferramenta criada é o QuadMenu (Figura 3), o

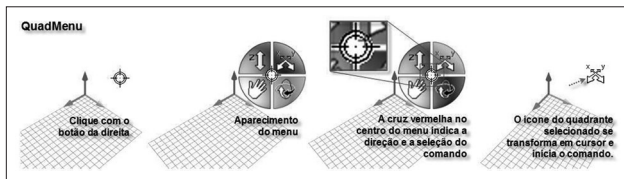


Figura 3. QuadMenu: O comando de movimentação de camera é acionado em um único movimento.

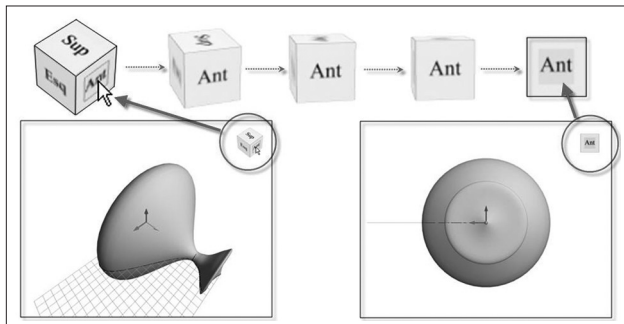


Figura 4. ViewCube: Clicando sobre a face Anterior do cubo, tanto o cubo quanto a cena se ajustam a nova vista em 3D.

qual realiza o controle de câmera a partir dos movimentos de apontador do cursor sobre um menu circular, onde os comandos são dispostos em quadrantes, facilitando a seleção dos comandos e sua memorização. Seu funcionamento é baseado na interação gestual do mouse (Zeleznik e Forsberg, 1999), mas com um diferencial: a seleção se dá, não através de gestos pré-definidos, mas da direção do movimento e distância percorrida pelo cursor.

A câmera também pode ser controlada a partir de uma versão do ViewCube (Khan et al., 2008), esta ferramenta permite a mudança de vistas pré-estabelecidas de maneira simples e intuitiva evitando a desorientação comum em ambientes abstratos 3D (Figura 4). A partir de um cubo no canto superior direito da tela, com o nome das vistas nas faces, o usuário tem o controle e a indicação da orientação da cena. Quando usado como controlador da posição de visada, clicando sobre as faces, arestas ou cantos do cubo, tanto o cubo quanto a cena mudam sua orientação ajustando-se a vista correspondente. Quando a cena é modificada por outros métodos de movimentação de câmera, o cubo se ajusta para indicar a nova orientação. A transição entre as mudanças de vistas é feito de modo animado de maneira a suavizar a mudança e evitar a desorientação do usuário causada por mudanças bruscas da cena.

Considerações finais

O VirtusCADE é um sistema para o design virtual de produtos que inclui uma modelador e gerador de malhas com capacidade de gerar modelos complexos a partir de recortes de superfícies paramétricas com diversas geometrias. O programa permite gerar dados para análise por códigos de elementos finitos diretamente sobre a geometria, independente da malha. O programa foi desenvolvido como uma plataforma para a pesquisa e desenvolvimento tanto na área de modelagem geométrica, como para o desenvolvimento de códigos de análise e pós-processamento.

Nas próximas etapas, será implementada a integração da estrutura de dados do VirtusCADE com o sistema on-line Virtus, uma ferramenta ainda em desenvolvimento para o desenvolvimento de produtos que inclui todas as etapas do processo.

Referências

- Houghton, E.G.; Emnett, R.F.; Factor J.D. and Sabharwal, C.L.: 1985, Implementation of a divide-and-conquer method for intersection of parametric surfaces, *Computer Aided Geometric Design*, V. 2 pp. 173–183.
- Khan, A; Fitzmaurice, G.; Matejka, J.; Mordatch, I. E Kurtenbach, G. ViewCube: 2008, A 3D Orientation Indicator and Controller. SIGGRAPH. New York: ACM PP. 17-25.
- Lee, C.K. and Hobbs, R.E.: 1999, Automatic adaptive finite element mesh generation over arbitrary two-dimensional domain using advancing front technique, *Computer & Structures*, V. 71, pp. 9–34.
- Miranda, A.C.O. and Martha, L.F.: 2002, Mesh generation on high-curvature surfaces based on background quadtree structure. In: Proceedings of 11th International Meshing Roundtable, Sandia National Laboratories, pp. 333–342.
- Teixeira, F.G.: 2003, Modelamento Paramétrico e Geração de Malha em Superfícies para Aplicações em Engenharia, Tese de Doutorado, PROMEC/ UFRGS, Porto Alegre.
- Teixeira, F.G. e Creus, G.J.: 2003, Geração Automática de Malha sobre Recortes de Superfícies Paramétricas com Grande Curvatura, *Mecânica Computacional*, v. XXII, p. 2305-2319.
- Teixeira, F.G. e Creus, G.J.: 2008, A Robust Algorithm to Determine Surface/Surface Intersection in Both Parametric Spaces, *Mecânica Computacional*, v. XXVII, p. 3093-3115.
- Zeleznik, R. e Forsberg, A.: 1999, UniCam—2D gestural camera controls for 3D environments. SIGGRAPH. New York: ACM. p169-173.
- Zienkiewicz, O.C. and Taylor, R.L.: 2005, *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics*, Sixth edition, Elsevier, New York.