

CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA DE AUXÍLIO AO PROJETO
DE FORJADOS POR COMPUTADOR

Maria Teresa Souza Ripoll
Anat6lio Laschuk
Dpto. de Engenharia El6trica, UFRGS
P6s-Gradua76o em Ci6ncia da Computa76o, UFRGS
Av. Osvaldo Aranha esq. Sarmento Leite s/n
CEP 90210 Porto Alegre RS

RESUMO - Este artigo aborda a concep76o de um sistema de aux6lio a projeto de pe7as forjadas. O sistema apresenta dois esquemas de representa76o, sendo a prim6ria por geometria s6lida construtiva (constructive solid geometry) e a secund6ria por superf6cies (boundary representation).

1. INTRODU76O

A concep76o de um sistema de aux6lio a projeto de pe7as forjadas teve por objetivo a obten76o de experi6ncia na 6rea de desenvolvimento de sistemas computacionais dedicados 6 forjaria.

O forjamento 6 um processo de conforma76o mec6nica no qual s6o usadas duas ferramentas concorrentes, que t6m por finalidade dar uma determinada forma 6 pe7a por meio de prensagem. Veja a figura 1.

Durante o forjamento, o volume do material 6 constante havendo apenas uma redistribui76o do mesmo.

O projeto de pe7as forjadas baseia-se em regras bem conhecidas e, sobretudo, no

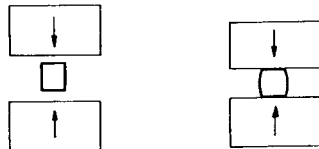


Figura 1. Conforma76o mec6nica com duas ferramentas concorrentes: forjamento

bom senso e experiência do projetista. São necessários anos para se formar um bom projetista e o nível dos projetos de uma empresa depende da experiência deles.

Um sistema computacional, quando adequado e bem utilizado, pode oferecer as seguintes vantagens:

- permitir que projetistas menos experientes não incorram em determinados erros;
- auxiliar os projetistas mais experientes a empregar soluções diferentes das usuais;
- permitir a diminuição do tempo de projeto;
- permitir a montagem de uma biblioteca de projetos;

Como o controle sobre o volume e a localização do baricentro dos forjados são de grande importância, o cálculo de propriedades de massa é extremamente relevante para esta aplicação.

Entre outras, o sistema poderia oferecer operações:

- a) sobre o sólido: seccionamento, determinação do volume e do baricentro;
- b) sobre uma seção do sólido: determinação do baricentro, da área, do perímetro e do momento de inércia;
- c) sobre várias seções: determinação da linha baricêntrica da peça a partir dos baricentros de diversas seções.

Almejou-se a concepção de um sistema adaptado à realidade regional, que pudesse ser implementado em um computador de pequeno porte e sobre o qual se tivesse domínio tecnológico.

2. GEOMETRIA SÓLIDA CONSTRUTIVA

Uma das dificuldades que foram contornadas na proposição deste sistema consistiu na definição de como o projetista mecânico iria descrever a peça forjada.

A partir das características dos esquemas de representação não-ambíguos mais difundidos e de uma análise das particularida-

des da aplicação, determinou-se que o esquema de representação mais adequado é por geometria sólida construtiva (GSC) /RIP 87/.

Geometria sólida construtiva é um esquema de representação para modelagem de objetos sólidos baseado na composição de primitivas. Os operadores convencionais de conjuntos - \cup (união),

\cap (interseção), $-$ (diferença) e C (complemento) - são candidatos para modelar sólidos por meio de operações combinadas. A maior parte deles, entretanto, é inadequada porque destrói a regularidade, violando o princípio de que o domínio dos sólidos modelados seja fechado sob os operadores combinacionais escolhidos /RIP 87/. A regularidade da combinação é assegurada se forem usados operadores regularizados sobre conjuntos /REQ 82/: \cap^* (interseção regularizada), \cup^* (união regularizada), $-^*$ (diferença regularizada) e C^* (complemento regularizado). Para um exemplo bidimensional veja a figura 2.

Para preservar a compacticidade deve-se excluir o complemento, uma vez que o conjunto resultante seria não limitado.

Chegou-se, portanto, a um sistema de modelagem para sólidos que consiste em primitivas compactas (conjuntos regulares limitados em E3), movimentos rígidos e operações booleanas regularizadas de união (\cup^*), interseção (\cap^*) e diferença ($-^*$).

Nesta aplicação, representações GSC são árvores binárias, onde os nodos não terminais são operações de combinação e os terminais representam as primitivas e transformações sobre as mesmas. Ver a figura 3.

O paradigma "dividir-e-conquistar" é uma abordagem na-

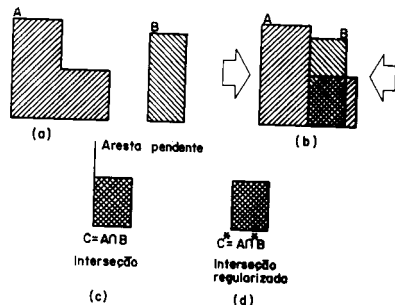


Figura 2. Intersecção de conjuntos e intersecção regularizada

tural para computar o valor de uma função f em um conjunto regular S representado construtivamente. Quando S não é primitiva, o problema de computar $f(S)$ é convertido em dois outros problemas mais simples de avaliação de f , seguidos de um passo de "associação". Quando S é uma primitiva, uma função primitiva de avaliação (prim- f) é usada [TIL 80/ /REQ 82/]. Ver a figura 4.

A função de classificação de inclusão de um conjunto (set membership classification) provê um suporte unificador sobre o qual vários problemas importantes em geometria computacional podem ser estudados [TIL 80/]. Essa função, $CI[,]$, opera sobre um par de conjuntos: um conjunto referência S e um candidato X . Intuitivamente,

$CI[X,S]$ particiona X nos subconjuntos $X_{in}S$, $X_{on}S$ e $X_{out}S$, correspondendo às porções do candidato que recaem, respectivamente, no interior, na superfície e no complemento do conjunto referência [TIL80/].

Para um conjunto de referência S representado construtivamente, chega-se ao seguinte algoritmo geral para computar $CI[X,S]$:

$CI[X,S] = SE (S \text{ é uma primitiva})$

ENTÃO prim- $CI(X,S)$

SENÃO combine($CI[X, \text{arv-esq}(S)]$, $CI[X, \text{arv-dir}(S)]$, nodo(S))

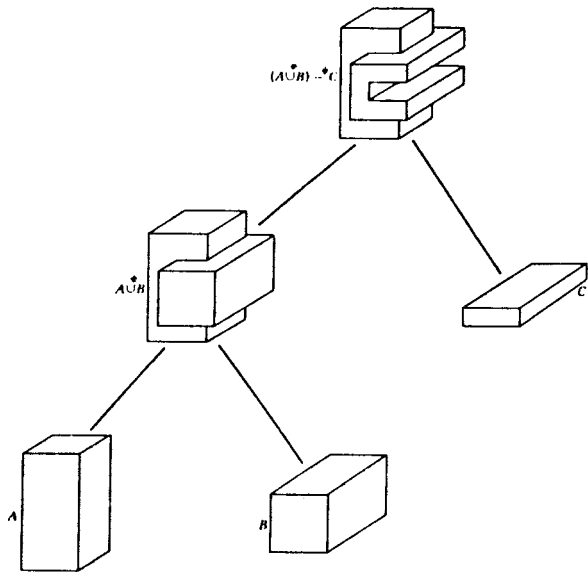


Figura 3. Árvore binária para $S = (A \cup B) - *C$

O desenvolvimento do algoritmo para uso em um domínio específico implica no planejamento dos procedimentos de classificação de primitivas, "prim-CI", e de associação, "combine".

3. DETERMINAÇÃO DE PROPRIEDADES DE MASSA

O método natural de calcular propriedades de massa de modelos representados por GSC - utilizando o paradigma "dividir-e-conquistar" - não é computacionalmente atrativo /LEE 82/. Algoritmos de cálculo de propriedades de massa para essa representação

$$S = A <OP> B$$



$f(S) = SE(S \text{ é uma primitiva}) \text{ ENTÃO } prim-f(S)$
 $SENÃO \text{ combine } (f(A), f(B), <OP>)$
 $<OP> \text{ é uma operação regularizada } n^+, U^+ \text{ ou } -^*$

Figura 4. Paradigma "dividir-e-conquistar"

podem ser desenvolvidos pela combinação de técnicas de conversão de representações com métodos associados naturalmente a esquemas de representação. Por exemplo:

a) representações GSC podem ser convertidas em decomposições quase-disjuntas de células e as propriedades de massa calculadas como o somatório das propriedades das células;

b) representações GSC podem ser convertidas em representações por superfícies por um avaliador de superfícies (boundary evaluator), e as propriedades serem calculadas pelo uso de integração direta ou do teorema do divergente.

Resta a questão: o que é melhor para computar propriedades de massa? Usar algoritmos aproximados com representação GSC ou algoritmos de integração com representação por superfícies?

Para responder é importante dispor das informações abaixo para os esquemas de representação GSC e por superfícies:

a) as características de erro e as complexidades para os algoritmos de propriedades de massa;

b) o compromisso entre o custo de conversão de representações e o cálculo de propriedades de massa.

Considere-se que os sólidos primitivos estejam na representação por superfícies e sejam compostos por faces triangulares planas. O sólido resultante também seria composto por faces triangulares planas (triangularizar-se-ia as que durante a combinação resultassem não triangulares). O cálculo das propriedades de massa do sólido final neste caso seria simples, podendo ser usado um método como o descrito em /LIE 84/.

No entanto, a geração da representação por superfícies envolve uma série de algoritmos, constituindo praticamente um subsistema: o avaliador de superfícies (boundary evaluator).

A favor da representação por superfícies pode-se colocar que a mesma contém dados úteis que não se encontram disponíveis diretamente na representação GSC e que podem ser aplicados a muitos outros usos além dos tencionados originalmente. Além disso, o domínio sobre os métodos e técnicas para gerar a representação por superfícies é de grande importância para o desenvolvimento de sistemas de modelagem modernos.

Optou-se pelos seguintes sólidos primitivos: cubo, esfera, cilindro e cone, convexos e compostos por faces triangulares planas. Optou-se também pela geração da representação por superfícies, sobre a qual serão computadas propriedades de massa pelo método de integração direta /LIE 84/. Essa representação é gerada, a partir da GSC, pelo avaliador de superfícies.

4. AVALIADOR DE SUPERFÍCIES

Suponha um modelo descrito como $D = (A \cup^* B) -^* C$. Essa expressão definindo D não informa nada de quantitativo sobre o sólido criado, apenas especifica a combinação dos sólidos primitivos constituintes. Pode-se ter todas as informações geométricas e topológicas sobre A, B e C, mas tudo que se sabe sobre D é como construí-lo. Se se desejar saber mais sobre D, tem-se que

avaliar o modelo: computar interseções, determinando os novos vértices e arestas, e analisar a conectividade desses elementos, para determinar as características topológicas do modelo.

A avaliação de superfícies se baseia no conceito de classificação de inclusão. Resumidamente, cada face de cada ocorrência de sólido primitivo, na definição de um sólido composto, é classificada para determinar o subconjunto da mesma que pertence à superfície do sólido. O avaliador de superfícies determina onde as faces são truncadas além de criar e/ou destruir arestas e vértices. Onde os elementos da superfície coincidem, o avaliador os funde em um único elemento. Veja a figura 5.

Ao executar a avaliação superficial de um sólido composto, as faces das ocorrências de sólidos primitivos podem ser modificadas ou removidas, mas novas faces não podem ser criadas.

Logo, a classificação das faces das ocorrências de sólidos primitivos origina todas as faces do sólido resultante /RIP 87/.

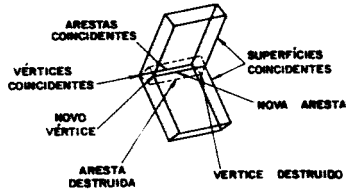


Figura 5. Determinação dos elementos da superfície de um sólido

No entanto, enquanto que a classificação de inclusão de faces na árvore GSC não é um procedimento simples, a classificação de inclusão de arestas o é. Porém, não basta que se classifique todas as arestas das ocorrências de sólidos primitivos para que se obtenha, de forma geral, todas as arestas do sólido resultante, conforme pode ser visto na figura 6 /RIP 87/.

Para que se possa trabalhar com classificação de inclusão de arestas e se obtenha todas as arestas do sólido resultante, tem-se que montar um superconjunto de arestas do sólido, denominado conjunto de arestas-tentativa /RIP 87/.

O procedimento de montagem deste conjunto de arestas-tentativa é simples. Elas ou são arestas de ocorrências dos sólidos primitivos ou resultam da interseção de faces destes. Apenas estas arestas têm potencial de pertencerem ao sólido resultante.

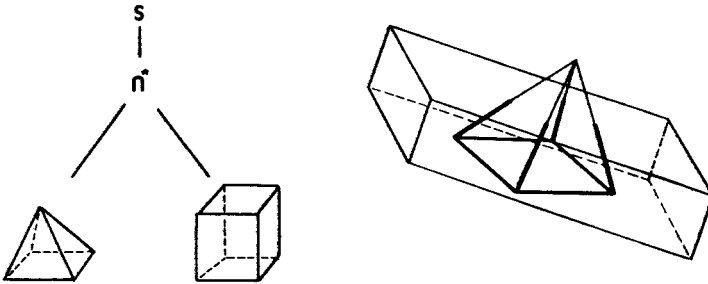


Figura 6. (a) descrição de um sólido resultante
(b) classificação das arestas dos sólidos primitivos

Para que uma aresta-tentativa seja classificada em relação a um sólido composto, inicialmente, ela é classificada em relação a cada ocorrência de sólido primitivo (classificação de inclusão de segmento de reta em sólido primitivo) e, a seguir, classificada em relação à árvore GSC que o descreve (classificação de inclusão de segmento de reta em sólido construtivo).

Na classificação de inclusão de segmento de reta em ocorrência de sólido primitivo, procurou-se evitar de testar a aresta-tentativa em relação a todas as faces da ocorrência. Para isso, desenvolveu-se um procedimento que determina subconjuntos de faces que garantidamente não têm potencial de interceptá-la.

O enfoque principal do trabalho de concepção do sistema se centrou no avaliador de superfícies e, por falta de espaço aqui, os seus detalhes podem ser vistos em /RIP 87/.

5. MÓDULOS DO SISTEMA

O sistema é composto de diversos módulos, que podem ser de dois tipos: estruturas de dados e algoritmos. Na figura 7 encontra-se um esboço dos principais módulos

Abaixo, dá-se detalhes dos módulos de estruturas de dados:

a) sólidos primitivos:

cubo, cilindro, cone e esfera; convexos; compostos por faces triangulares;

b) árvore GSC: movimen-

tos rígidos e ampliação diretamente nos nodos terminais; \cap^* , \cup^* ou $-^*$ nos nodos não terminais;

c) sólido resultante

na representação por superfícies: conexo; faces triangulares planas; tem superfície bem formada;

d) polígono não-convexo:

decomposto em polígonos simples.

Abaixo, são dados de-

talhes sobre os módulos

dos algoritmos:

a) de visualização: sobre os sólidos primitivos; gera a imagem do sólido resultante; opera sobre a representação por superfícies ou sobre a estrutura GSC; são conhecidos e difundidos;

b) avaliador de superfícies: afetam a estrutura de dados dos sólidos primitivos, pois dependendo da eficiência desejada as informações suplementares diferem;

c) cálculo de volume: uso de um método de integração direta sobre a representação por superfícies /LIE 84/;

d) seccionamento: executável sobre ambas as representações;

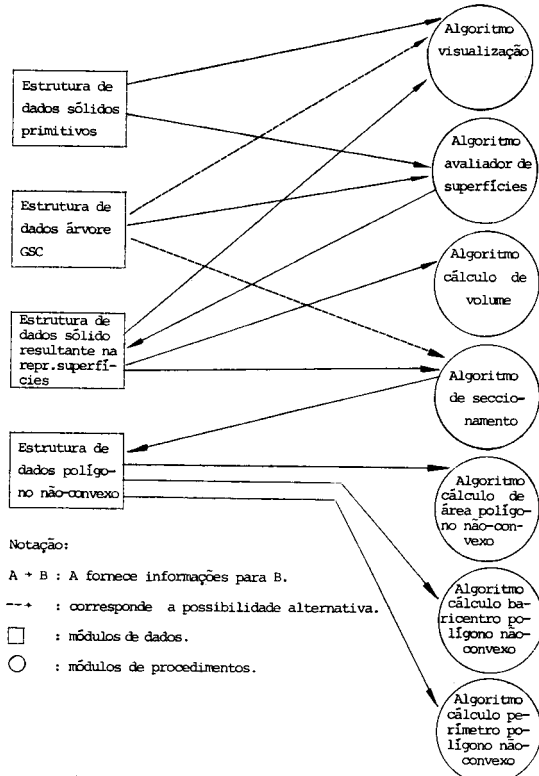


Figura 7. Módulos do sistema

e) cálculos de área - baricentro e perímetro de polígono não-convexo: algoritmos simples e com bom material já divulgado.

6. CONCLUSAO

A inclusão do toro entre os primitivos aumentaria a abrangência geométrica, mas implicaria no desenvolvimento de novos algoritmos e adaptação de alguns dos já existentes.

Nesta aplicação se optou por gerar superfícies com faces triangulares e planas. Uma possível expansão do sistema consiste na inclusão de outros semi-espacos. Isto implica na aproximação poliédrica de superfícies curvas e na análise dos casos especiais e dos tipos de interseções que ocorrem como, por exemplo, na interseção de superfícies quádricas.

BIBLIOGRAFIA

/LEE 82/ LEE, Y. T. & REQUICHA, A. A. G. Algorithms for computing the volume and other integral properties of solids. I - known methods and open issues. Communications of the ACM, New York, 25(9): 635-41, Sept. 1982.

/LIE 84/ LIEN, S. & KAJIYA, J. T. A symbolic method for calculating the integral properties of arbitrary nonconvex polyhedra. IEEE Computer Graphics and Applications, Los Alamos, 4(10): 35-41, Oct. 1984.

/REQ 82/ REQUICHA, A. A. G. & VOELCKER, H. B. Constructive solid geometry. Rochester, Univ. of Rochester, 1982. (TM-25).

/RIP 87/ RIPOLL, M. T. S. Análise de um Avaliador de Superfícies de Forjados representados por Geometria Sólida Construtiva. Dissertação de Mestrado. CPGCC-UFRGS, Porto Alegre, 1987.

/TIL 80/ TILOVE, R. B. Set membership classification: a unified approach to geometric intersection problems. IEEE Transactions on Computer, New York, ~~c=~~29(10): 874-83, Oct. 1980.