

MECANISMOS DE RACIOCÍNIO NA MANIPULAÇÃO DE MODELOS BASEADOS EM CARACTERÍSTICAS DE FORMA

Rafael Bidarra e José Carlos Teixeira

Grupo de Métodos e Sistemas Gráficos
Departamento de Matemática, Universidade de Coimbra
Largo D. Dinis - Apartado 3008
3000 COIMBRA - PORTUGAL
Tel: (+351) 39 - 28097
Fax: (+351) 39 - 32568
E-mail: rafa@ciuc2.uc.pt

Resumo

A modelação baseada em características tem adquirido uma importância crescente no desenvolvimento de sistemas CAD, devido ao seu poder expressivo dos aspectos morfológicos contidos na intenção do projectista. O problema da integridade dum modelo baseado em características agrava-se quando a especificação de formas mais complexas requer a sobreposição ou interacção de várias características. Nesta comunicação são abordados alguns problemas relativos à validação destas características no decorrer de operações de manipulação que estabelecem ou eliminam tais interacções. É apresentado um enquadramento semântico baseado na expressão semântica do comportamento pretendido para cada classe de características, a fim de estabelecer condições de validade que se suportem um grau arbitrário de interacções. Exemplificam-se alguns mecanismos de raciocínio para realizar a validação automática de características, realçando a sua fácil integração com uma representação celular adequada para captar a morfologia local de um modelo baseado em características de forma.

1. Introdução

A modelação baseada em características de forma (*form features*) apresenta-se como um elemento muito promissor a integrar na próxima geração de sistemas CAD/CAM, ao proporcionar uma elevação efectiva do nível de abstracção no projecto e manipulação de modelos de produtos.

Nos últimos anos têm sido apresentados alguns protótipos de modeladores sólidos que apresentam uma interface cujo vocabulário e funcionalidade são baseados, em parte, em características de forma [Miner 85] [Lubi *et al.* 86] [Chung *et al.* 88] [Cutkosky *et al.* 88] [Shah e Rogers 88]. Este progresso foi, em grande medida, potenciado pelos avanços consideráveis que têm sido atingidos, quer ao nível conceptual, na investigação fundamental sobre o conteúdo e significado das características de forma [Pratt 88] [Shah 91b], quer ao nível da modelação, no desenvolvimento de novos esquemas capazes de representar convenientemente esse conteúdo, e.g. [Gossard *et al.* 88] [Roy e Liu 88] [Rossignac e O'Connor 90] [Bruzzone e De Floriani 91] [Falcidieno *et al.* 91] [Gomes *et al.* 92]. Deste modo, a criação de modelos pela simples inserção de características de forma, com uma topologia pré-definida e uma geometria parametrizada, não oferece já dificuldades de relevo; requiere-se apenas, para isso, uma especificação rígida dos métodos de inserção, de modo a assegurar a validade de cada característica inserida. Um exemplo dum modelo deste tipo é apresentado na Figura 1, mostrando como cada característica se encontra completamente disjunta das restantes.

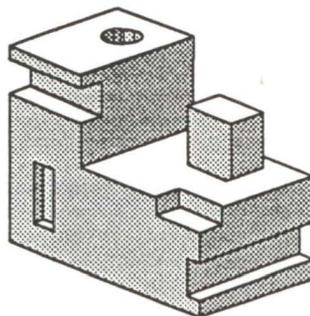


Figura 1. Modelo com características disjuntas

Estes modelos são, contudo, de utilidade reduzida, tornando-se indispensável expandir o espaço de modelação para incluir todo um conjunto de objectos sólidos reais que contêm formas mais complexas, correspondentes a uma dada funcionalidade directamente desejada pelo projectista para uma determinada parte do modelo. Essas formas podem ser modeladas por meio de várias características que se sobrepõem, originando modelos que apresentam fenómenos de *interacção entre características* (*feature interactions*) [Pratt 87]. A criação e manipulação de tais modelos constitui um dos problemas mais delicados da actual investigação em modelação baseada em características de forma, conforme salientado em [Dixon *et al.* 90].

O elevado número de graus de liberdade existente na sobreposição espacial de várias características de diferentes classes apresenta problemas combinatórios consideráveis, que inviabilizam uma discriminação exaustiva das situações possíveis. Torna-se, portanto, conveniente desenvolver mecanismos mais poderosos que, mediante uma elevação do nível de abstracção, permitam detectar tais situações, gerindo o comportamento semântico de cada uma das características do modelo envolvidas em interacções e aferindo a sua validade.

Nesta comunicação são apresentados alguns destes mecanismos, desenvolvidos em torno de um enquadramento semântico que possibilita o tratamento de interacções genéricas entre características de forma. Para isso, é descrita primeiro a classe de interacções que se pretende aqui abordar (secção 2), introduzindo-se, em seguida, os componentes fundamentais do referido enquadramento semântico, dando particular realce à sua capacidade para especificar as condições de validade de cada classe de características (secção 3). Após uma breve referência ao esquema de representação celular empregue, destinado a captar tanto a morfologia local de um modelo baseado em características de forma como as interacções entre estas (secção 4), são discutidos dois exemplos de mecanismos de manipulação de características, mostrando como a descrição semântica obtida ao nível das características permite aferir a validade destas quando envolvidas em interacções (secção 5).

2. Interações Topológicas entre Características de Forma

Qualquer classe de características de forma, aditivas ou subtrativas, especifica sempre uma configuração básica por defeito para as suas instâncias, denominada *forma canónica* (ou de não-interacção) [Pratt 87]. Nesta, toda a região do espaço associada à característica representa o volume do material a remover ou a adicionar ao modelo, e designa-se como *volume associado à característica*. Conforme salientado na introdução, a funcionalidade pretendida pelo projectista para um dado modelo requer frequentemente a criação de uma forma mais complexa por combinação e sobreposição de várias características de forma. Para isso, as operações que criam, inserem e modificam as características de forma num modelo devem conduzir a situações de interacção com outras já existentes. As interações entre características podem ocorrer de dois modos: *interacção volumétrica* e *interacção de fronteira*. Em qualquer dos casos, possuem sempre associado um *domínio de interacção*, que representa a região do espaço (qualquer que seja a sua dimensionalidade) em que os volumes associados a cada característica se intersectam. Um estudo detalhado das diversas classes de interações entre características de forma pode ser encontrado em [Bidarra & Teixeira 92].

Como resultado das interações, podem, por vezes, ocorrer efeitos indirectos e/ou imprevisíveis, eventualmente destrutivos da morfologia local do modelo ou, pelo menos, modificadores da interpretação semântica da intenção do projectista. Mais frequentes, contudo, são, sem dúvida, aquelas interações que, preservam a validade de cada característica volumétrica envolvida, bem com os seus parâmetros geométricos; estas interações designam-se por *interacções topológicas*. Na presente comunicação são abordadas as interações deste tipo, sob o ponto de vista da validade das características envolvidas e da expressão semântica da intenção do projectista.

3. Descrição Semântica das Características de Forma

Embora não se tenha alcançado ainda uma definição abrangente para as características de forma, é cada vez mais pacífico que estas têm um carácter aglutinador da morfologia local de um modelo. Acima da particular configuração da topologia ou da geometria deste, uma característica de forma permite efectuar localmente uma conveniente abstracção da morfologia, com um conjunto de propriedades definidas e traduzindo um determinado comportamento previsível. Por outro lado, tem-se constatado também que um dos grandes atractivos dos modeladores basedados em características de forma se encontra no maior nivelamento que proporcionam com o vocabulário usualmente empregue nas fases de projecto e análise de objectos sólidos, nos quais se associa já a certas formas genéricas uma determinada semântica tecnológica [Shah 91a]. Torna-se, portanto, conveniente precisar o conteúdo semântico das características de forma, como condição para captar de um modo completo a morfologia local de um modelo sólido e, assim, interpretar correctamente a intenção do projectista.

No âmbito do trabalho de investigação que aqui se apresenta, foi efectuada a seguinte classificação dos componentes semânticos duma característica de forma, que vão desde os aspectos geométricos até à expressão da sua validade semântica.

3.1. Parâmetros Relativos à Geometria

Estes parâmetros traduzem quantitativamente as propriedades geométricas globais do volume associado a uma característica de forma, sendo por isso designados como *intrínsecas*. Como exemplos, podem-se referir a largura de um SLOT ou a profundidade de um POCKET. Tais parâmetros exprimem sempre alguma propriedade da característica com interesse e aplicação de carácter tecnológico; podem assumir valores directamente especificados pelo projectista ou ser obtidos por meio de alguma função que os relacione com outros (eventualmente de outras

características). É conveniente distingui-los dos *parâmetros geométricos extrínsecos*, os quais permitem descrever o posicionamento e a orientação de uma característica relativamente a outras características presentes no modelo.

Tanto os parâmetros intrínsecos como os extrínsecos constituem uma plataforma natural para o encapsulamento de referências a entidades de outras características por meio de *restrições geométricas* (geometric design constraints) [Rossignac 86] [Mäntylä 89] [Suzuki et al. 90]. Alguns destes parâmetros são inferidos indirectamente no processo de inserção da característica no modelo, pela análise das entidades topológicas e geométricas deste que são referenciadas; está neste caso o comprimento de um furo passante, que é inferido a partir da distância entre as faces do modelo onde vai ser inserido. Relações deste tipo, por corresponderem ao comportamento desejado para uma dada classe de características, são automaticamente retidas como *restrições geométricas implícitas*, garantindo que toda a modificação nos parâmetros geométricos é automaticamente propagada às características relevantes.

3.2. Entidades de Definição

A morfologia local de um modelo captada por cada classe de características de forma aparece associada não só à natureza volumétrica e ao carácter aditivo ou substractivo destas, mas também à topologia desse volume e, particularmente, às características da superfície fronteira deste, designada por *fronteira associada à característica*.

Por um lado, interessa distinguir na fronteira associada a uma característica volumétrica aquelas entidades topológicas que pertencem à superfície fronteira do modelo daquelas que não pertencem; as primeiras consideram-se como tendo um *estado positivo*, enquanto que as segundas possuem o *estado negativo*. Por outro lado, importa identificar e classificar funcionalmente os subconjuntos da fronteira associada segundo a sua relevância semântica específica em cada classe de características de forma. Com este fim introduz-se o conceito de *entidade de definição*.

Definição: uma entidade de definição é uma colecção de entidades topológicas da fronteira associada a uma característica que desempenham um papel específico no comportamento desejado para a morfologia local da característica na sua forma canónica. Como exemplo, apresenta-se na Figura 2 um SLOT rectangular com a indicação das suas várias entidades de definição.

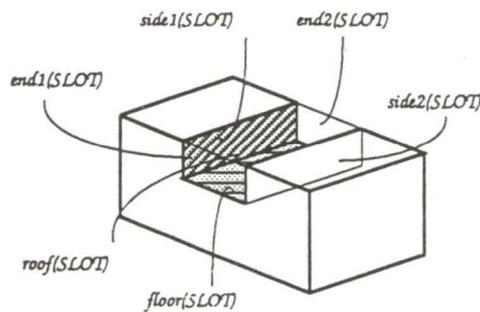


Figura 2. Exemplo de entidades de definição de um SLOT

Características de diferentes classes, mesmo que possuindo volumes congruentes, como as da Figura 3.(a), podem, assim, ser distinguidas pelas várias combinações de estados que possuem as suas entidades de definição, conforme ilustrado na Figura 3.(b).

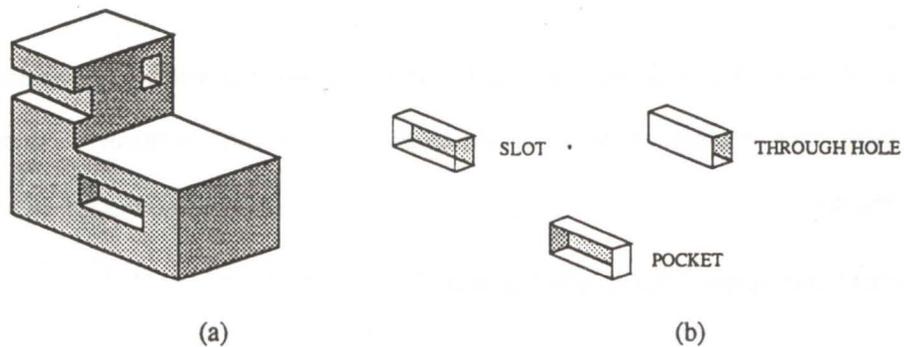


Figura 3. Distinção das características de forma pelas suas entidades de definição

A abstracção das entidades de definição tem a vantagem de traduzir sempre o comportamento de uma dada característica em termos das entidades topológicas da sua fronteira, mesmo quando ela está envolvida em interacções com outras; nestes casos, uma entidade de definição tem alguns elementos com o estado positivo e outros com o estado negativo. No exemplo da Figura 4, pode observar-se como a entidade de definição floor(SLOT2) é composta de 3 elementos da fronteira associada: duas faces com estado positivo e uma com estado negativo. Mais formalmente, podemos exprimir esta partição baseada no estado introduzindo, com este exemplo, o conceito de sub-entidade de definição:

$$\text{floor}(\text{SLOT2}) = \text{floor}^+(\text{SLOT2}) \cup \text{floor}^-(\text{SLOT2})$$

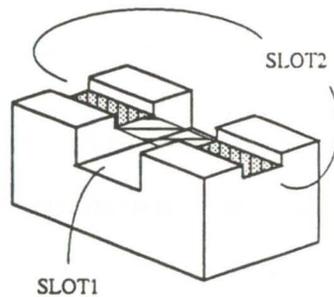


Figura 4. Partição de uma entidade de definição devida a uma interacção topológica

Note-se que esta partição de uma entidade de definição por estados não impõe qualquer tipo de restrições particulares internas, quanto à adjacência entre os elementos positivos ou entre os elementos negativos.

3.3. Restrições Semânticas e Condições de Validade

A validade de uma característica de forma pode agora ser especificada em termos do estado das suas entidades de definição. Como ficou exemplificado anteriormente, a ocorrência de

interacções envolve habitualmente o rearranjo de alguma entidade de definição ao nível das sub-entidades. É, portanto, conveniente garantir que, mesmo então, cada característica envolvida preserva a sua validade. Com este objectivo, torna-se necessário estabelecer, para cada classe de característica de forma, um conjunto de restrições - aqui chamadas *restrições semânticas* -, que determinam e garantem o comportamento desejado para as respectivas instâncias.

As restrições semânticas são definidas sobre a cardinalidade das sub-entidades de definição (e, eventualmente, sobre as adjacências entre os elementos destas). Por exemplo, é razoável que uma característica da classe POCKET tenha com restrição roof^- (POCKET) $\neq \emptyset$, enquanto que um SLOT imponha, por exemplo, floor^+ (SLOT) $\neq \emptyset$.

As condições de validade são definidas por composição de restrições semânticas, formando uma expressão lógica que relaciona várias proposições atómicas. A flexibilidade deste tipo de associação lógica, aliada à simplicidade dos correspondentes mecanismos de satisfação e verificação, tornam possível a especificação dos mais variados comportamentos para cada classe de característica. Por hierarquização e herança, podem-se definir outras classes de características de forma, desde as mais flexíveis (menos restringidas) às mais complexas e rígidas.

4. Representação de Características de Forma

A representação de características de forma tem sido objecto de recente trabalho de investigação, do qual têm surgido diversos esquemas, conforme foi já referido na introdução. Para garantir a completude morfológica dos modelos baseados em características de forma, foi desenvolvido um esquema de representação denominado A-Crep, baseado em complexos celulares adaptativos [Gomes 92]. Um complexo celular adaptativo é uma colecção de subcomplexos celulares generalizados, cada um dos quais é marcado como P (positivo) ou N (negativo).

Esta representação constitui uma plataforma adequada não só para estruturar a topologia e a geometria de um modelo sólido, mas também para captar a morfologia expressa por meio de

características de forma e mesmo o domínio de interacção entre cada par de características. Isto é conseguido atribuindo a cada característica um subcomplexo celular que representa o volume associado à característica. Sempre que duas características interactuam, os respectivos subcomplexos são sujeitos a uma decomposição, como será exemplificado na secção seguinte. Deste modo, consegue-se obter, também a este nível, uma representação consistente, quer para a morfologia local expressa por cada característica, quer para o domínio de interacção entre cada par de características [Gomes e Teixeira 93].

5. Mecanismos de Raciocínio em Operações de Manipulação de Características

Nesta secção são apresentados dois estudos exemplificativos de mecanismos de manipulação de características. Em primeiro lugar, analisa-se a operação de inserção de uma característica no modelo com geração de interacções topológicas e, em seguida, é estudado o problema mais complexo da remoção de uma característica em interacção topológica.

5.1. Inserção de uma característica de forma no modelo

Entre as diversas operações de manipulação de modelos baseados em características de forma, a inserção de uma nova característica ocupa um lugar de destaque, por se tratar de uma operação directamente construtiva que, usando um vocabulário conforme às expectativas do projectista, permite a criação do modelo de um modo incremental.

A fase de inserção de uma característica de forma no modelo constitui, por um lado, o momento mais adequado para o estabelecimento das *restrições geométricas* que se pretende envolvam a nova característica. Deste modo, consegue-se uma maior sintonia entre o modelador e o projectista, facilitando a especificação da sua intenção mediante diversos tipos de associações entre as entidades da característica e as do modelo (paralelismo, proporções

dimensionais, relações posicionais, etc). Naturalmente que estas restrições poderão, depois, ser consultadas, alteradas ou eliminadas, no decorrer da edição geométrica de uma qualquer característica de forma, para o que se requer do sistema de modelação um mecanismo de controlo de restrições que recalcule e propague ao modelo os correspondentes parâmetros da sua geometria.

Internamente, o processo mais importante originado pela inserção de uma característica de forma (e também o mais pesado computacionalmente), consiste na instanciação actualizada das suas entidades de definição, requisito indispensável para aferir a validade da característica nas condições especificadas pelo projectista. Na primeira fase deste processo são efectuados testes de interferência entre a nova característica e cada uma das restantes características do modelo; quando o teste tem resultado positivo, é assinalada uma interacção entre ambas. Em seguida, e ao nível da representação, é lançado um processo de decomposição celular mútua sobre os subcomplexos de cada par de características que foram registadas como estando em interacção; o objectivo é conseguir que os subcomplexos de cada par de características em interacção fiquem de tal modo decompostos que todas as células resultantes ou pertencem aos dois subcomplexos (formando o domínio da interacção em questão) ou pertencem apenas a um deles (células de não-interacção). O algoritmo de decomposição celular (que será descrito oportunamente num outro artigo) é guiado, ao nível das características, pela interpretação semântica das interacções, opção que permite uma razoável optimização computacional, quer em testes de interferência quer na execução de operações booleanas.

Na Figura 5.(a) apresenta-se um exemplo da inserção de um POCKET num modelo com várias características, originando uma interacção topológica: o teste de interferência apenas vai ter sucesso contra SLOT2 e BLOCK, pelo que, na situação final, a decomposição celular alçada é a que se mostra em (b).

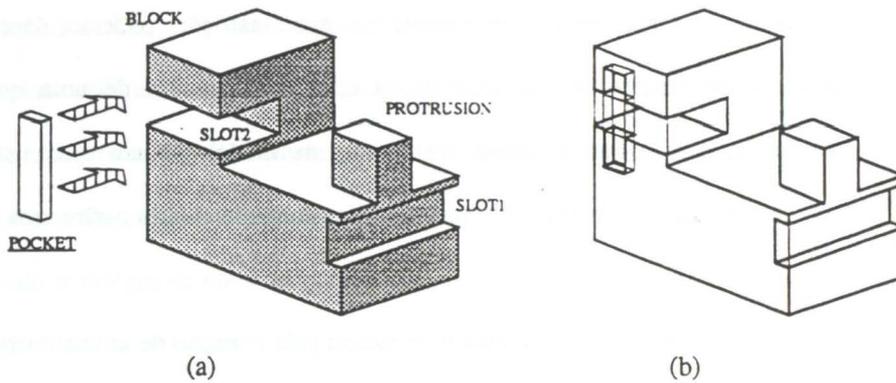


Figura 5. Inserção de uma característica originando uma interacção topológica

Uma vez efectuada a decomposição celular da nova característica, o conteúdo de cada uma das suas entidades de definição fica automaticamente restabelecido. Para isso, a própria característica dispõe de métodos para a auto-actualização das suas entidades de definição, os quais são activados quer quando uma face do seu subcomplexo é decomposta, quer quando ela muda de estado. Este mecanismo é de crucial importância, pois permite a cada característica detectar imediatamente a ocorrência de uma tentativa de violação a uma condição de validade; neste caso, a situação é assinalada, sendo possível apresentar a correspondente explicação do fenómeno que a originou.

Um exemplo ilustrativo deste mecanismo é apresentado na Fig 6. O THROUGH HOLE de (a) tem, naturalmente, entre as suas condições de validade a restrição de que ambas as extremidades do furo sejam acessíveis, i.e.,

$$\text{end1}^-(\text{THROUGH HOLE}) \neq \emptyset \text{ e}$$

$$\text{end2}^-(\text{THROUGH HOLE}) \neq \emptyset$$

Contudo, a inserção da protusão, em (b), vai obstruir um dos topos do furo, levando a que uma das entidades de definição $\text{end}^-(\text{THROUGH HOLE})$ passe a ser vazia. Em consequência, a

característica THROUGH HOLE detecta automaticamente a operação invalidante e assinala a ocorrência de uma interacção geradora de uma característica inválida.

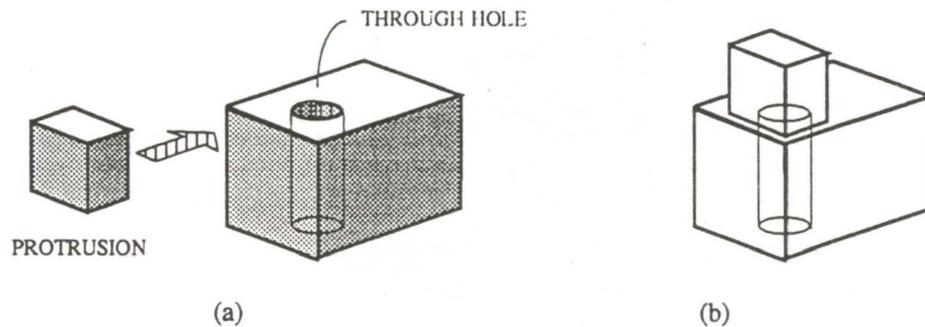


Figura 6. Inserção de uma característica com violação de uma condição de validade

Em tais situações, e se não receber instruções em contrário, o sistema poderá permitir que sejam mantidas no modelo características inválidas, desde que as considere e retenha como tal, e providencie para que, posteriormente, lhe sejam levantadas as circunstâncias invalidantes [Rossignac 90].

Por defeito, e sempre que não seja assinalado nenhum outro tipo de interacção, a inserção de uma característica de forma gera, pelo menos, uma interacção topológica; é o caso do THROUGH HOLE no modelo da Figura 6.(a), cujo grau de interacção é, portanto, igual a 1. Mais problemática de tratar, mas nem por isso menos frequente, é a situação das características com grau de interacção igual ou superior a 2, denominadas *interacções múltiplas* [Bidarra e Teixeira 93]. Uma característica de forma em interacção múltipla possui múltiplos domínios de interacção, não necessariamente disjuntos: um por cada interacção em que está envolvida. A topologia da característica depois de inserida no modelo é, em última análise, imposta pelo estado, dimensionalidade e adjacências de cada um dos seus domínios de interacção. Por este motivo, uma característica de forma pode apresentar uma topologia muito diversa da original

(topologia canónica), por vezes mesmo desconexa, e ser, no entanto, considerada válida. Um modelo como o da Figura 7 contém diversas características em interacção múltipla.

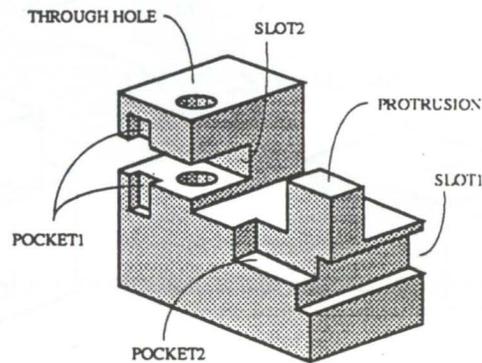


Figura 7. Exemplos de características com topologia não canónica

Uma vez que a classificação exaustiva e *a priori* de todas as situações possíveis de interacções múltiplas é inviabilizada por sérias questões combinatórias, a solução aqui proposta permite dotar o sistema de modelação da capacidade de analisar em tempo real a validade de cada característica adoptando o conveniente nível de abstracção. A especificação das condições de validade por meio de restrições semânticas sobre as entidades de definição de uma característica de forma proporcionam um poderoso enquadramento semântico propício a essa análise.

5.2. Eliminação de uma característica de forma

A inserção de uma característica no modelo com o estabelecimento das correspondentes interacções topológicas, conforme se mostrou anteriormente, levou à partição das suas entidades de definição e, no nível da representação celular, à decomposição dos respectivos subcomplexos. É de esperar, portanto, que a eliminação de uma característica do modelo comporte o processo inverso. Com efeito, na remoção de uma característica, este processo é efectuado nesses dois níveis: por um lado, ao nível da representação celular, é levado a cabo um processo de fusão nos subcomplexos de cada uma das características que interactuam com a característica a remover;

por outro, ao nível das características, dá-se o correspondente reagrupamento interno nas entidades de definição das restantes características.

O mecanismo de fusão celular é dirigido pela interpretação semântica da característica a ser removida, efectuada ao nível das características, e pode ser ilustrado pelo seguinte exemplo: dado o modelo da Figura 8, pretende-se remover a característica subtractiva SLOT, que está em interacção com duas outras características, POCKET e BLOCK: (a). Conforme se mostra em (b), o subcomplexo do SLOT possui duas células: juntas elas constituem o domínio de interacção com o BLOCK, enquanto que a mais pequena representa o domínio de interacção com o POCKET. Cada célula possui sempre informação sobre a sua ascendência (i.e., a que subcomplexos pertence).

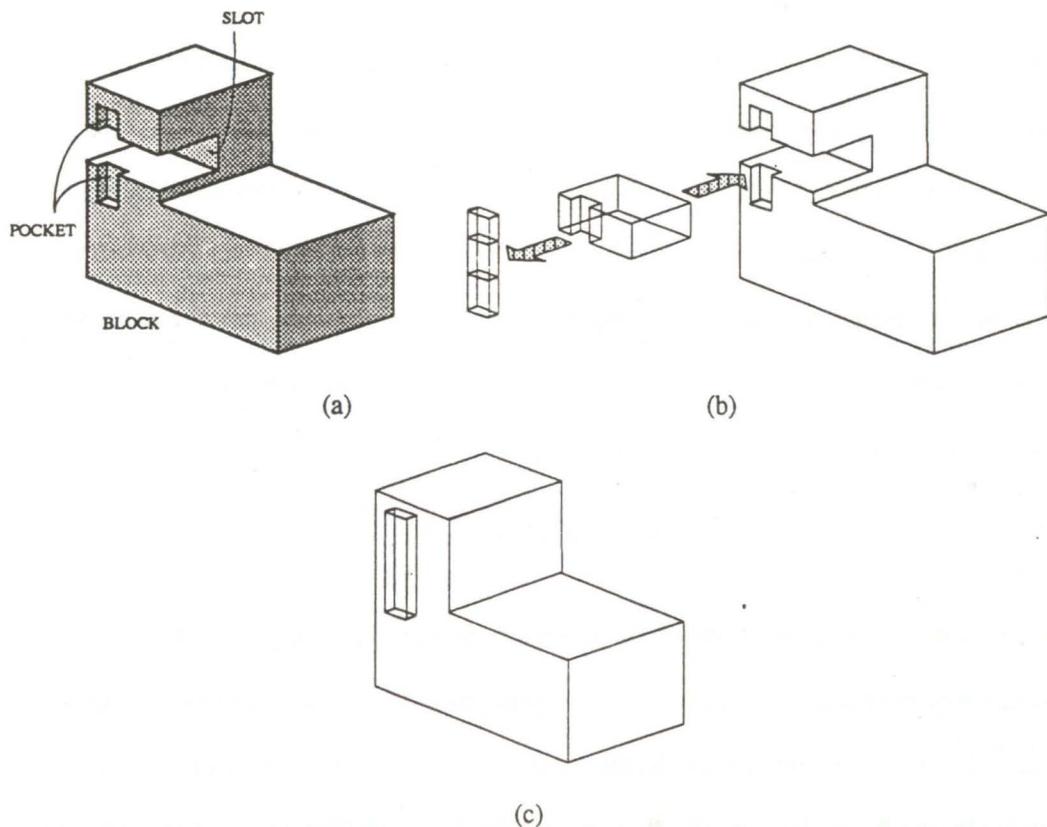


Figura 8. Remoção de uma característica em interacção

Deste modo, o primeiro passo consiste na cedência, por parte do SLOT, das células de cada um dos seus domínios de interacção, deixando estas de integrar o seu subcomplexo, i.e., passando a ter como ascendente(s) o(s) subcomplexo(s) da(s) outra(s) característica(s); deste modo, as células do SLOT são 'distribuídas' pelos outros subcomplexos: Figura 8.(b). Na fase seguinte, é realizada a fusão propriamente dita: cada um destes subcomplexos é levado a fundir todo o par de células adjacentes que possuam a mesma ascendência; dá-se, assim, a inversão da decomposição, pela absorção das células que ela gerou, garantindo-se que nenhuma das restantes características conservará alguma decomposição excusada no seu subcomplexo celular: Figura 8.(c).

Este processo realça a importância de uma estreita comunicação entre o nível das características e o nível da representação: a operação de remoção de uma característica é propagada ao seu subcomplexo, depois de identificados os subcomplexos das restantes características em interacção com ela; a fusão celular operada nestes assinala automaticamente ao nível superior as alterações em termos das entidades de definição das características respectivas; finalmente, a reformulação das restrições geométricas em que a característica removida estava envolvida podem, por sua vez, propagar um rearranjo na geometria dos subcomplexos de algumas características por elas afectadas.

6. Conclusões

A manipulação de modelos sólidos com formas moderadamente elaboradas requer de um modelador baseado em características de forma a capacidade de suportar e resolver uma grande variedade de interacções entre características. Estas levantam problemas como a preservação da interpretação semântica das características em interacção, a validade de características com topologia não canónica ou a propagação de restrições geométricas entre características em interacção, os quais foram aqui abordados.

Foi apresentado um enquadramento semântico, baseado no conceito de entidade de definição, destinado à interpretação dinâmica das características de forma, o qual permite aliar o poder expressivo das características à flexibilização do seu comportamento em fenómenos de interacção.

Propôs-se um mecanismo de validação de características baseado na composição lógica de restrições semânticas e exemplificou-se a sua aplicação em operações de inserção e remoção de características. Os mecanismos de raciocínio ilustrados mostram a grande utilidade da integração deste esquema com uma representação adequada, que facilita a propagação daquelas operações. A extensão destes mecanismos a outras operações de manipulação e a especificação de uma biblioteca de características primitivas estão entre os próximos objectivos do presente trabalho.

7. Referências

- [Bidarra e Teixeira 92] Bidarra, R., e Teixeira, J.: Intelligent Form Feature Interaction Management in a Cellular Modeling Scheme. Artigo submetido, Departamento de Matemática, Universidade de Coimbra, Outubro 1992.
- [Bidarra e Teixeira 93] Bidarra, R., e Teixeira, J.: Reasoning Mechanisms for Edition and Validation of Feature-Based Solid Models. Artigo submetido, Departamento de Matemática, Universidade de Coimbra, Janeiro 1993.
- [Bruzzone e De Floriani 91] Bruzzone, E. e De Floriani, L.: Representing a Modular Boundary Model Through a Cellular Decomposition. *Eurographics Workshop on Computer Graphics and Mathematics*, Genova, Italy, Outubro 1991.
- [Chung *et al.* 88] Chung, J., Cook, R., Patel, D., e Simmons, M.: Feature-Based Geometry Construction for Geometric Reasoning. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, USA, Julho/Agosto 1988.
- [Cutkosky *et al.* 88] Cutkosky, M., Tenenbaum, J., e Miller, D.: Features in Process based Design. *Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference*, São Francisco, USA, Julho/Agosto 1988.

- [Dixon *et al.* 90] Dixon, J.R., Libardi, E.C., Nielsen, E.H.: Unresolved Research Issues in Development of Design-with-Features Systems, In *Geometric Modelling for Product Engineering*, Proceedings of the 1988 IFIP/NSF Workshop on Geometric Modelling, Rensselaerville, NY, September 18-22, 1988, Wozny, M., Turner, J., and Preiss, K. (Eds.), North-Holland, The Netherlands, 1990.
- [Falcidieno *et al.* 91] Falcidieno, B., Giannini, F., Porzia, C., Spagnuolo, M.: Configurable Representations in Feature-based Modelling. in EUROGRAPHICS '91, Post, F., and Barth, W. (Eds.), Elsevier Science Publishers, B.V., North-Holland, 1991.
- [Gomes 92] Gomes, A.: Modelos Algébricos de Sólidos e Morfologia. 'Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica', Departamento de Matemática, Universidade de Coimbra, 1992.
- [Gomes e Teixeira 93] Gomes, A. e Teixeira, J.: The Representation of Form Features Through a Bilevel Cellular Solid Model. Artigo submetido, Departamento de Matemática, Universidade de Coimbra, Janeiro 1993.
- [Gomes *et al.* 92] Gomes, A., Bidarra, R., e Teixeira, J.: A Cellular Approach for Feature-Based Modelling. In *Workshop on Graphics Modelling & Visualization in Science and Technology*, Darmstadt, Abril, 1992 Göbel, M. and Teixeira, J. (Eds.), Springer-Verlag (to be published)
- [Gossard *et al.* 88] Gossard, D., Zuffante, R., Sakurai, H.: Representing Dimensions, Tolerances, and Features in MCAE Systems. *IEEE Computer Graphics & Applications*, vol.8, no.3, 1988.
- [Lubi *et al.* 86] Luby, S.C., Dixon, J.R., Simmons, M.K.: Designing With Features: Creating and Using a Features Database for Evaluation of Manufacturability in Castings. Proceedings of ASME Computers in Engineering Conference, Chicago, IL, 1986.
- [Mäntylä 89] Mäntylä, M.: Feature Editing by Constraint Satisfaction, IBM Technical Report for Modeling Science Project, Virtual Prototyping, T. J. Watson Research Center, NY, 1989.
- [Miner 85] Miner, R.: A Method for the Representation and Manipulation of Geometric Features in a Solid Model. MS Thesis, Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, USA, Maio 1985.
- [Pratt 87] Pratt, M.: Recent Research in Form Features. In *Advanced Topics in Solid Modelling*, ACM Siggraph 87, Course #26, Anaheim, CA, Julho 1987.
- [Pratt 88] Pratt, M.: Synthesis of An Optimal Approach to Form feature Modelling. In *Proceedings of the 1988 ASME International Computers in Engineering Conference and Exhibition*, vol.1, The American Society of Mechanical Engineers, New York, pp.263-274, 1988.
- [Rossignac 86] Rossignac, J.: Constraints in Constructive Solid Geometry. In Proceedings of Workshop on Interactive 3D Graphics, Durham, N.C., 1986.
- [Rossignac 90] Rossignac, J.: Issues On Feature-Based Editing and Interrogation of Solid Models. *Computers & Graphics*, vol.14, no.2, pp.149-172, 1990.

- [Rossignac e O'Connor 90] Rossignac, J. e O'Connor, M.: SGC: A Dimension-Independent Model for Pointsets with Internal Structures and Incomplete Boundaries. In *Geometric Modelling for Product Engineering*, Proceedings of the 1988 IFIP/NSF Workshop on Geometric Modelling, Rensselaerville, NY, September 18-22, 1988, Wozny, M., Turner, J., and Preiss, K. (Eds.), North-Holland, The Netherlands, pp.145-180, 1990.
- [Shah 91a] Shah, J.: Assessment of Features Technology. *Computer Aided Design*, vol.23, no.5, 1991.
- [Shah 91b] Shah, J.: Conceptual Development of Form Features and Feature Modellers. *Research in Engineering Design*, vol.2, pp.93-108, 1991.
- [Shah e Rogers 88] Shah, J. e Rogers, M.: Expert Form Feature Modelling Shell. *Computer Aided Design*, vol.20, no.9, 1988.
- [Suzuki *et al.* 90] Suzuki, H., Ando, H., e Kimura, F.: Geometric Constraints and Reasoning For Geometrical CAD Systems. *Computers & Graphics*, vol.14, no.2, pp.211-224, 1990.