

Cognição e Percepção 3D em Modeladores de Sólidos

BRUNO FEIJÓ
ROLF FISCHER

ICAD - Laboratório de CAD Inteligente
Departamento de Informática, PUC-Rio, SCT/PR
Rua Marquês de São Vicente, 225
22453 Rio de Janeiro, RJ, Brasil
bruno@icad.puc-rio.br

Abstract. This paper establishes the principles for the development of solid modellers based on cognition and 3D perception. These principles are presented through a prototype called GeneSys.

Introdução

Percepção é o processo pelo qual estímulos físicos são recebidos e reconhecidos pela mente humana. Cognição é o processo de aquisição, organização, recuperação e entendimento da informação. Um dos pontos fundamentais na busca por uma nova geração de sistemas de CAD, chamados de Sistemas de CAD Inteligente (ICAD), é a questão de *design* e sua relação com estes processos mentais.

Apesar da maturidade da área de modelagem de sólidos [Mortenson (1985), Mäntyla (1988), Chiyokura (1988), Hoffmann (1989)], existe uma carência de pesquisa quanto à natureza cognitiva e de percepção do processo de modelagem. Este artigo apresenta princípios desta natureza que foram utilizados no desenvolvimento do modelador de sólidos GeneSys [Fischer (1991)]. Estes princípios estabelecem conceitos inovadores que questionam a maioria dos modeladores disponíveis.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Primeiro, alguns dos conceitos teóricos de *design* são apresentados. Depois, segue-se uma descrição sumária dos esquemas de representação do GeneSys. Finalmente, são apresentados os novos conceitos de modelagem baseados em cognição e percepção.

A natureza cognitiva do Design

Goel e Pirolli (1989) identificaram três tipos de invariantes no processo de *design*: os invariantes do ambiente de tarefas de *design* (inv_j), os invariantes do sistema de processamento de informação (p_j) e os invariantes do espaço de problemas que são "impostos" ou "abilitados" pelos invariantes inv_j e p_j .

Feijó (1992) e Bento (1992) propõem, com base no trabalho de Goel e Pirolli (1989), uma definição de *design* e um modelo recursivo do processo de *design*

chamado Modelo SAE. Este modelo baseia-se em oito propriedades, chamadas de **características do Espaço de Problema de Design (DPS)**, que representam as necessidades cognitivas do projetista e devem ser satisfeitas por qualquer sistema de CAD:

- $c1$ =Estruturação Extensiva do Problema (i.e. processo extensivo de busca por informações que faltam);
- $c2$ =Modelagem Extensiva de Desempenho;
- $c3$ =Regras Personalizadas de Parada;
- $c4$ =Avaliação em 3 Contextos (local, corrente e futuro);
- $c5$ =Tomando, Registrando e Propagando Decisões;
- $c6$ =Decomposição da Solução;
- $c7$ =Hierarquias de Abstração (i.e. níveis de detalhe);
- $c8$ =Uso de Sistemas de Símbolos.

O modelo recursivo SAE considera o paradigma de resolução de problemas (*problem solving*), conforme é descrito na seção abaixo.

Entidades, estados e história de design

Design foi primeiro identificado com resolução de problemas (*problem solving*) em Simon (1969). De acordo com sua proposta, um espaço de estados representa todos os possíveis estados do problema (i.e.: todas as possíveis descrições do problema) que precisam ser considerados quando uma solução é tentada.

No paradigma de resolução de problemas, *design* é um processo de busca adaptativa motivado por objetivos (*goals*).

Objetivos (*goals*) podem ser decompostos em termos de **estruturas** (físicas ou conceituais - representadas por um conjunto de atributos) ou **especificações funcionais** (i.e. descrições das funções a serem realizadas pelas estruturas). A questão da decomposição (*estrutura vs. função*) coloca um dilema em termos de representação de conhecimento de *design*, isto é: a base de dados precisaria de uma

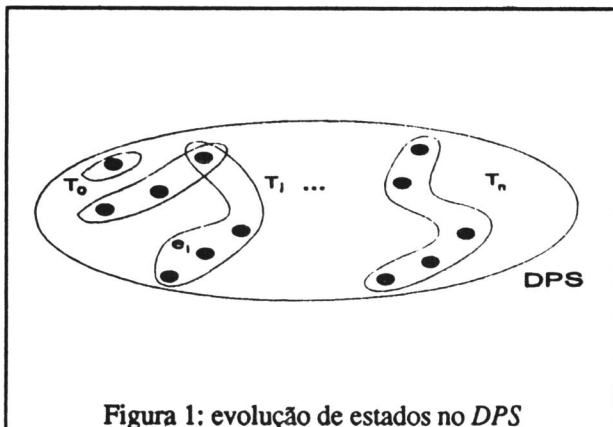


Figura 1: evolução de estados no DPS

organização diferente para cada caso de decomposição. No modelo SAE este dilema é atenuado.

No modelo SAE, os objetivos (*goals*) são representados por entidades de *design* que, por estarem dentro do paradigma de resolução de problemas (*problem solving*), capturam ambas as noções de estrutura e função:

Def. Entidade de design e_j é um par $e_j(F,A)$ onde F denota um conjunto de especificações funcionais e A denota um conjunto de atributos.

Uma entidade de *design* pode representar um objetivo (*goal*), um sub-objetivo (*subgoal*) ou uma solução parcial.

Um estado é definido como se segue:

Def. Um Estado T_i é um conjunto de entidades de *design* e_j .

Neste contexto, *design* é um processo evolucionário que começa com um conjunto de especificações de entrada, T_0 , gera uma idéia central e a refina (por decomposição, geração e transformação) com o intuito de chegar à descrição do artefato T_n , i.e.:

$$T_0 \rightarrow T_1 \rightarrow \dots \rightarrow T_n$$

A Figura 1 ilustra esta evolução de estados.

Os conceitos de história e espaço são apresentados como se segue:

Def. Uma História de Design H é uma sequência de estados $\langle T_0, T_1, \dots, T_n \rangle$ onde T_0 é a especificação de entrada e T_n é a especificação do artefato.

Def. O Espaço de Problema de Design DPS é o conjunto de todas as histórias de *design*.

Pode-se entrar no espaço de problemas de *design*, perder o rumo e nunca chegar a uma história com uma especificação apropriada do artefato. Neste particular, restrições (*constraints*) são necessárias para se navegar

no espaço de problemas. Além do mais, deve-se usar as características do DPS (c_i) para explicar movimentos no espaço de problemas e suportar a evolução dos estados T_i .

Esquemas de Representação no GeneSys

GeneSys é um modelador de sólidos híbrido no sentido de que integra uma *BRep* estendida com um esquema de representação CSG modificada. O ponto de partida para o desenvolvimento do GeneSys foi o trabalho notável de Chiyokura (1988). No GeneSys, o domínio de representação da *BRep* é limitado a sólidos *manifold*. Os operadores booleanos usados pela representação CSG no sistema GeneSys são operadores booleanos regularizados [Requicha e Voelcker (1985)]. A estrutura de dados utilizada pela representação *BRep* estendida é a estrutura *winged-edge* [Baumgart (1975)].

O esquema *BRep* no GeneSys (Figuras 2 e 3) é estendido porque: (1) a hierarquia convencional é integrada dentro do Espaço de Problema de *Design* (DPS) através dos objetos *World*, *Objects* e *Solids*; (2) geometria e atributos gerais são separados da topologia. Neste esquema, um mundo (*world*) pode conter vários objetos (*objects*) e cada objeto pode conter vários sólidos (*solids*).

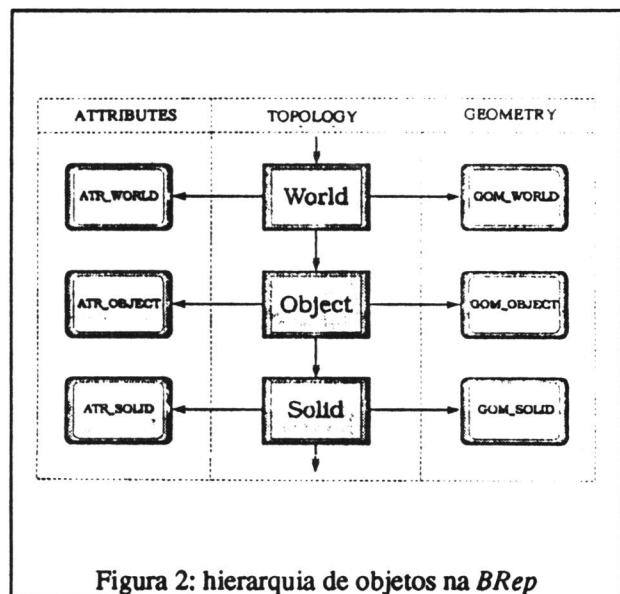


Figura 2: hierarquia de objetos na BRep

Na representação CSG do GeneSys, as seguintes modificações foram consideradas: (1) a representação é integrada dentro do DPS através das mesmas entidades

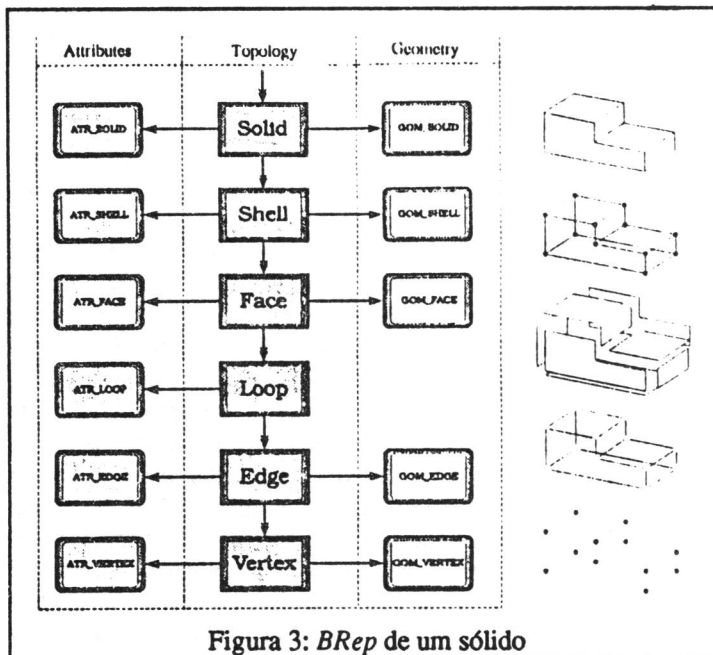


Figura 3: BRep de um sólido

World, Objects e Solids da BRep estendida; (2) a representação inclui nós unários para permitir operações locais (e.g. a extrusão de uma face); (3) tanto as operações globais como as locais são implementadas em termos de um conjunto comum de operadores básicos baseados em operadores de Euler; (4) primitivas são representadas por instâncias da BRep estendida; (5) a árvore binária é exibida de maneira inversa como mostra a Figura 4.

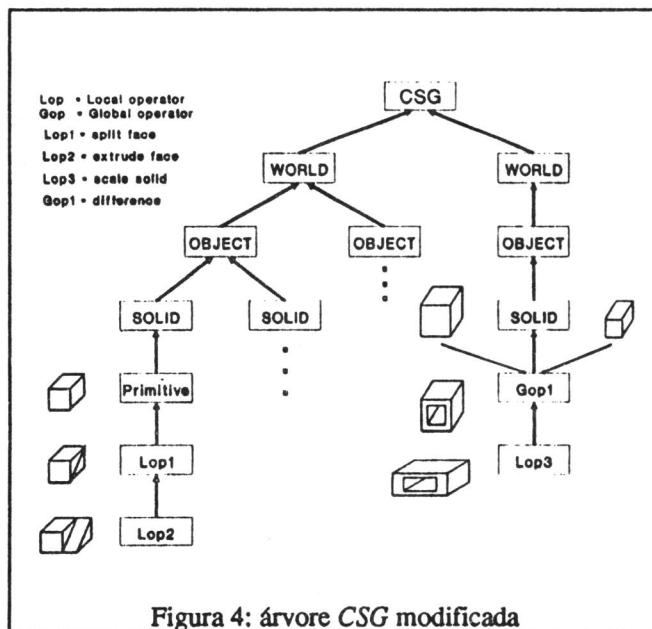


Figura 4: árvore CSG modificada

Cognição e modelagem

Do ponto de vista de cognição, o processo de modelagem de sólidos deve ser inserido no espaço de problemas de *design* (DPS). Neste contexto, cada estágio de modelagem deve ser uma entidade de *design* e_j e o sólido final deve ser o último estado da história de *design* H . Além do mais, projetistas devem navegar no DPS sem problemas de consistência topológica. O sistema Geneys foi desenvolvido para superar este desafio.

No GeneSys, o esquema de representação CSG modificada representa a história do *design* dentro de um espaço de problemas de *design*. Os nós da árvore CSG são entidades de *design* com compartimentos (*slots*) para atributos físicos, geometria e especificações funcionais. Além do mais, existe uma semântica associada com a árvore, como mostra a Figura 5.

As características c_i do DPS podem ser facilmente satisfeitas no esquema híbrido de representação do GeneSys. Primeiro, as necessidades por decomposição e hierarquia de abstração ($c6$ e $c7$) são satisfeitas pela estrutura *World-Object-Solid*.

Segundo, o ato de fazer, registrar e propagar decisões ($c5$) é inerente ao método de trabalhar com a árvore. Neste particular, o usuário pode abandonar uma versão particular do sólido, subir na árvore, fazer um desvio e continuar com novas operações (Figura 6). Além do mais, o usuário pode voltar para qualquer estágio anterior de modelagem. Este procedimento é baseado na reversibilidade dos operadores de Euler que garante a consistência topológica em qualquer operação de *undo* e *redo*.

Terceiro, as tarefas de avaliação podem ser facilmente exercidas nos 3 contextos ($c4$). O contexto local refere-se ao modo usual de modelagem. O contexto corrente refere-se ao trabalho cooperativo entre os vários mundos (*Words*), por exemplo: um projetista modelando um eixo no *world-1* pode chamar a caixa de transmissão que está sendo modelada no *world-2* para avaliar se as dimensões do eixo estão adequadas. A avaliação em um contexto futuro pode ser exercida pela criação de um mundo (*world*) temporário onde se faz um esboço do artifato completo.

Quarto, as outras características c_i podem ser satisfeitas por outras visões que são ortogonais à visão padrão definida pela semântica da CSG

modificada (Figura 7).

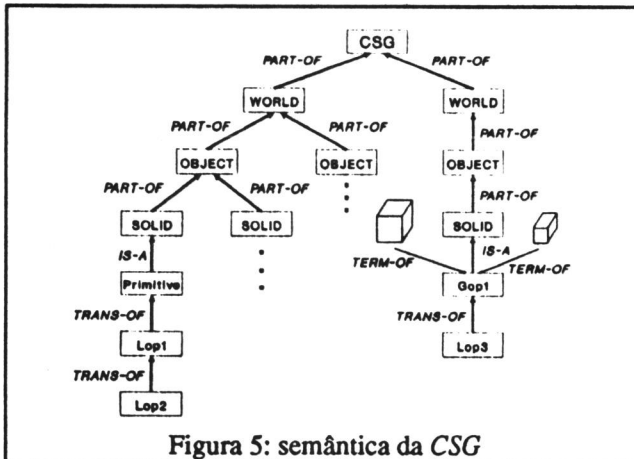


Figura 5: semântica da CSG

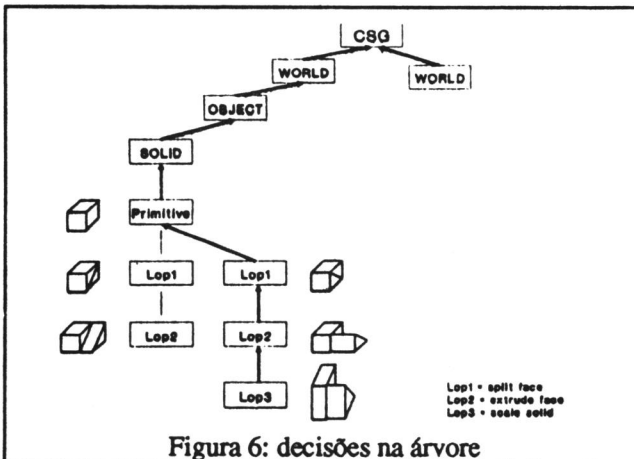


Figura 6: decisões na árvore

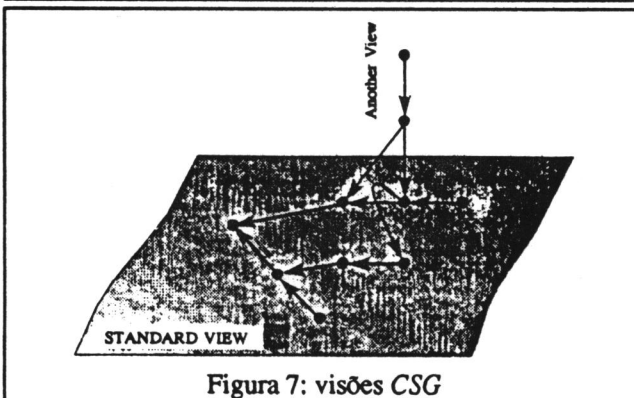


Figura 7: visões CSG

A integração do processo de modelagem no espaço de problemas de *design* é facilitada pela natureza híbrida do sistema GeneSys. De fato, a maior parte do tempo os projetistas constroem sólidos através de transformações diretas, como um artesão, ao invés de fazer uma sequência complexa de operações de

diferença, união e interseção.

Percepção 3D e modelagem

Tradicionalmente, usuários de sistemas de modelagem de sólidos trabalham com projeções ortogonais e usam vistas 3D como elementos auxiliares de referência. Estes sistemas de computador imitam muito bem a maneira como projetistas trabalham com papel. Entretanto, proclama-se neste artigo que tal tentativa de imitar atividades na *media* convencional é um mal-entendido dos objetivos da interação homem-máquina e propõe-se um novo conceito de modelagem de sólidos na *media* eletrônica. Nesta nova *media*, o usuário deve ter a ilusão de trabalhar em um espaço 3D no qual ele/a segura o sólido com as mãos enquanto o altera com ferramentas apropriadas, tal qual um artesão em um mundo virtual. A idéia é reverter a situação tradicional para um novo paradigma, chamado *modelagem em perspectiva*: o usuário trabalha diretamente na vista em perspectiva e usa as projeções padrões como elementos auxiliares de referência. Existem dois problemas neste tipo de tratamento: (1) a grande dificuldade que as pessoas têm em manipular objetos 3D sobre uma tela 2D, e (2) a relutância que projetistas têm em abandonar o desenho técnico tradicional. A solução para estes problemas é encorajar os projetistas a desenvolver novas habilidades em um ambiente que satisfaz suas necessidades de percepção e cognição. No que diz respeito à percepção 3D, a solução é um conjunto de facilidades que intensificam a percepção 3D do usuário.

As principais facilidades do GeneSys que tornam possível a modelagem em perspectiva são as seguintes:

1. Dynamic Manipulation;
2. Grid Planes;
3. Light Sources;
4. Quick Shadowing;
5. Locator;
6. Dynamic Digitizing Plane;
7. Silhouette Projections;
8. Dynamic Views;
9. Shadowing Projections;
10. Solidness Perception;
11. Snap;
12. Two-window system.

Estas facilidades do Genesys (algumas apresentadas na Figura 8) são descritas a seguir.

GeneSys imita a ação (virtual) de passar as mãos através da tela e manipular os sólidos. Por exemplo, o

usuário pode rodar um sólido e depois trazê-lo para perto de si, em tempo real. No sistema GeneSys, esta facilidade é chamada de *Dynamic Manipulation*.

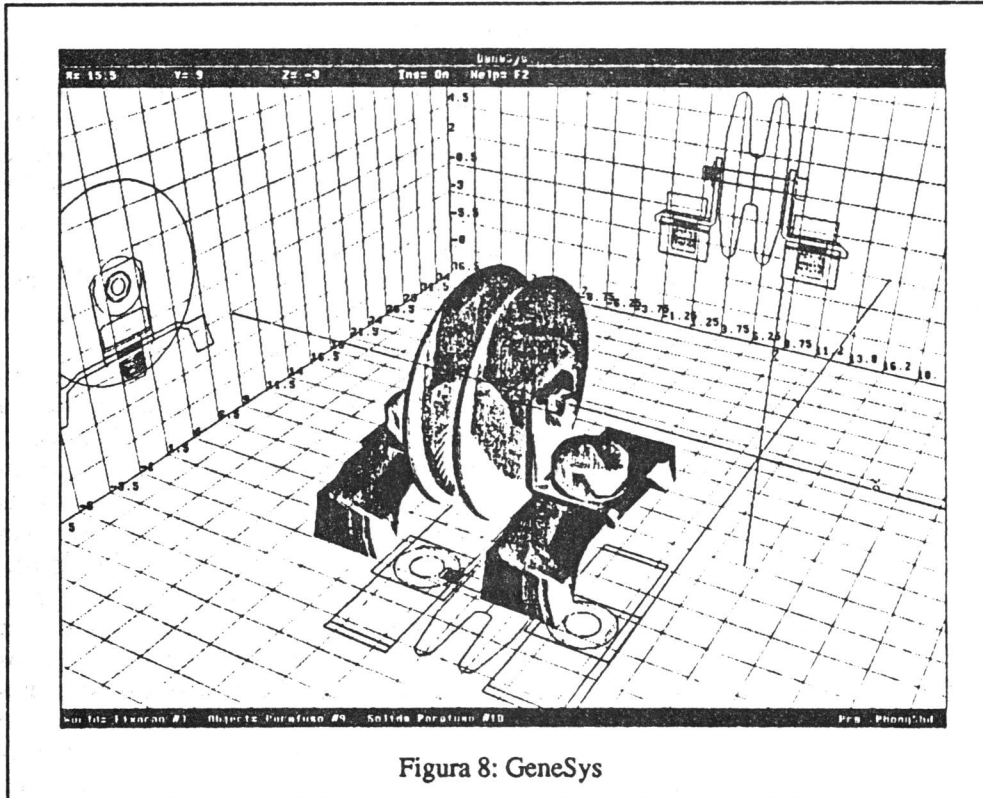


Figura 8: GeneSys

Os sólidos não são modelados contra um fundo colorido e sem dimensão como na maioria dos outros sistemas. No GeneSys, os sólidos são colocados em um espaço virtual, chamado *Virtual Workshop*, que é definido por *Grid Planes* e um conjunto de *Light Sources*. Os planos de *grid* (*grid planes*) são visíveis de acordo com a posição do usuário. Um resultado interessante do projeto GeneSys foi a constatação de que a satisfação cognitiva e perceptiva crescem quando os mundos (*Worlds*) são colocados próximos ao chão. Portanto, os sólidos são colocados a 1/3 da distância entre os planos de *grid* referentes ao chão e ao teto da oficina virtual. O grau de realismo da oficina virtual é intensificado pelo conjunto de fontes de luz que podem ser ligadas/desligadas pelo usuário a qualquer momento. Na oficina virtual, também existe uma opção que produz sombras sobre os planos de *grid*, através do uso de um algoritmo chamado de *Quick Shadowing*.

O usuário movimentar-se dentro da oficina virtual usando o *Locator* - um sistema de 3 eixos que terminam nos planos de *grid*. Na maioria dos sistemas

de modelagem de sólidos, o usuário é convidado a fixar planos de digitalização para que possa interagir com o espaço 3D. No GeneSys, o uso do *locator* não está

vinculado à determinação de planos específicos de projeção. O sistema adota, automaticamente, o maior plano de projeção para movimentos 2D (o plano do *mouse*) enquanto que a profundidade é associada à direção ortogonal a este plano. No GeneSys, esta facilidade é chamada de *Dynamic Digitizing Plane*. Esta facilidade implementa a idéia de um artesão segurando um sólido com suas mãos e trabalhando no plano que está voltado para ele/a. Este artesão pode rodar o sólido a fim de trabalhar sobre outro plano a qualquer

instante. Existem alguns planos predefinidos que correspondem às vistas padrões (e.g. a vista de topo) definidas pelas vistas dinâmicas (descritas abaixo). Também torna-se possível a seleção de um plano de digitalização que contem uma face específica de um sólido.

Os sólidos são projetados sobre os planos de *grid* com a finalidade de intensificar a habilidade do usuário de localizar-se dentro da oficina virtual. Estas projeções, que são apenas silhuetas dos sólidos (*Silhouette Projections*), suportam o novo paradigma de modelagem em perspectiva. Do ponto de vista de cognição/percepção não há ganho real em se ter projeções completas. Do ponto de vista computacional, as silhuetas são atualizadas de uma maneira mais rápida do que as completas. Além do mais, não há a necessidade por uma projeção completa nos planos de *grid*. Neste particular, GeneSys provê o usuário com *Dynamic Views* que automaticamente roda os objetos no espaço de maneira a produzir qualquer vista padrão. Portanto, não há necessidade por 3 janelas (uma para cada vista padrão) ao redor de uma quarta janela

exibindo o modelo em perspectiva.

Um outro tipo de projeção, chamado de *Shadowing Projection*, é uma sombra criada por uma fonte de luz ortogonal ao plano de *grid*. Este tipo de projeção preenche a área de projeção da silhueta e funciona como um fundo contrastante que resolve ambiguidades na representação *wire frame*.

Solidness Perception é uma outra facilidade poderosa do GeneSys para intensificar a percepção 3D. Esta facilidade previne o usuário de entrar dentro dos sólidos. Qualquer tentativa neste sentido ilumina a face de colisão e produz um ruído. O usuário tem a sensação de se mover ao redor de objetos sólidos. Mesmo quando esta facilidade está inativa, a face de colisão sempre se ilumina quando o *locator* passa através dela. Esta última particularidade, chamada de *Intersection Feeling*, têm-se revelado como um auxílio essencial para a navegação na oficina virtual. A face de colisão é, na realidade, a face da envoltória do sólido (*bounding box*). A interseção com a face do sólido é descartada porque o custo computacional tornaria o teste de interseção impraticável em tempo real (e, conseqüentemente, comprometeria a sensação de solidez).

Snap, uma facilidade bastante comum em modelagem de sólidos, atrai o *locator* para a entidade topológica mais próxima que é selecionada pelo *Menu de Snap* (solid, faces, edges, ...). A maioria dos sistemas de modelagem de sólidos provê apenas *snapping* 2D. O *snap* representa o mecanismo para manipulação física dentro do espaço virtual. Portanto, este recurso é intrinsecamente tridimensional e deve estar presente na maioria das tarefas de modelagem. A última entidade "snapped" permanece selecionada para uso futuro. Do ponto de vista cognitivo, esta última característica minimiza a carga de memória de curta duração (*short-term memory*).

Apenas duas janelas são exigidas para se trabalhar com o GeneSys: a janela do espaço virtual 3D (*virtual workshop*) e a janela do espaço de problemas de *design* (chamada *history*). Um número excessivo de janelas causa uma sobrecarga nos processos de cognição/percepção e provoca fadiga. A questão sobre o número de janelas tem sido discutida algures em outras aplicações [Akscyn et al. (1988), p.829].

Avaliando a interação homem-máquina

O seguinte critério foi utilizado para avaliar a qualidade da interação homem-máquina do GeneSys através de testes de percepção:

1. Tempo de Aprendizado (*Learning Time*);
2. Tempo de Revocação (*Recall Time*);
3. Carga de Memória;
4. Susceptibilidade à fadiga.

Tempo de Aprendizado é o tempo que o usuário gasta para alcançar um nível inicial de proficiência. Tempo de Revocação é o tempo que o usuário gasta para ganhar novamente competência após um período sem usar o sistema. Carga de Memória avalia os dois tipos de memória: curta duração (*short-term memory*) e longa duração (*long-term memory*). Estes tipos de memória estão relacionados com a quantidade de tempo necessária para manter as informações relacionadas a uma tarefa particular.

Dez estudantes de engenharia (chamados *subjects* na literatura de ciência cognitiva), sem experiência alguma em modelagem de sólidos, foram submetidos a uma seção de 10 minutos de treinamento seguida de um teste de percepção 3D. Uma semana mais tarde, alguns destes estudantes foram convidados a modelar um objeto simples (a fim de avaliar o tempo de revocação).

O teste de percepção 3D consistiu em mover o *locator* de um local específico para outro local bem determinado entre dois sólidos, sem passar através dos objetos. Foi também pedida uma parada sobre o centro de uma específica face.

No teste realizado, todas as facilidades especiais do GeneSys pareceram intensificar a capacidade de percepção 3D dos sujeitos (*subjects*). As facilidades mais importantes (em ordem decrescente) foram as seguintes: *Dynamic Manipulation*, *Locator*, *Solidness Perception*, *Grid Planes* e *Silhouette Projections*.

O tempo de aprendizado, o tempo de revocação e a carga de memória mostraram-se baixos. Acredita-se que a carga de memória de curta duração foi baixa por causa de dois motivos: o pequeno número de passos e *sub-menus*; e a regularidade dos padrões apresentados ao usuário. A questão de fadiga foi difícil de ser avaliada e concluiu-se que um teste mais específico deveria ser projetado.

Conclusão

Princípios cognitivos e de percepção 3D modificam o conceito de arquitetura e interação em modeladores de sólidos. A idéia básica é fazer o usuário se projetar em dois espaços inerentes ao seu aparato mental: o espaço de problemas de *design* (*DPS*) e o espaço virtual 3D.

Esta abordagem é também o caminho correto e prudente para ingressar na questão de realismo virtual. Não estão claros os benefícios desta nova área para

tarefas contínuas e pesadas de modelagem em sistemas de CAD. Acredita-se que há problemas sérios de fadiga em sessões longas e/ou de frequente consultas a outras *medias* e pessoas.

O conceito de modelagem em perspectiva rompe com a prática de imitar a tecnologia passada e representa a transição de modelagem de sólidos para a *media* eletrônica.

O protótipo GeneSys comprova a validade dos novos conceitos apresentados neste trabalho. Atualmente, este protótipo está sendo estendido para incorporar entidades de *design* baseadas em uma representação híbrida com orientação a objetos e lógica de primeira ordem.

Agradecimentos

Os autores agradecem o CNPq pelas bolsas de pesquisa, o Conselho Britânico pelo programa internacional de cooperação, o CMEST (Instituto Superior Técnico de Lisboa) pelo apoio acadêmico e o Expert Systems Laboratory (Imperial College) onde o primeiro autor é *Visiting Lecturer*. Os autores também agradecem a equipe do TeCGraf/ICAD, em especial Peter Hohl. Ficam também os agradecimentos aos alunos do ICAD responsáveis pela continuidade do projeto GeneSys, em especial Mônica Ferreira da Costa, Ediberto Straus, Daniel Mazzuca e Antônio João Prates.

Referências

- Akscyn,R.M., McCracken,D.L. and Yoder,E.A.,1988. KMS: a distributed hypermedia system for managing knowledge in organizations, *Comm. ACM*, 31(7), July 88, pp.820-835.
- Baumgart,B.G.,1975. A polyhedron representation for computer vision, in: *Proc. AFIPS Conf.*, v.44,pp.589-596.
- Bento,J.,1992. Intelligent CAD in Structural Steel: a Cognitive Approach, PhD Thesis, Expert Systems Laboratory, imperial College, UK.
- Chiyokura,H.,1988. Solid Modeling with DESIGNBASE - Theory and Implementation, Wesley Publ.Co..
- Fischer,R.,1991. GeneSys: Hybrid System for Solid Modelling, MSc. Thesis, Intelligent CAD Laboratory, Computing Department, PUC-Rio, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. [In Portuguese].
- Feijó,B.,1992. Perception and cognition in intelligent CAD systems, In Tasso,C.and Arantes e Oliveira,E., Expert Systems for Engineering, *Lectures of the Advanced School*, CISM - Udine, Italy, Springer Verlag, (to appear).
- Feijó,B. and Bento,J.,1991. A cognitive approach to design, CMEST Report, AI5/91, IST, Lisbon, Portugal.
- Goel,V. and Pirolli,P.,1989. Motivating the Notion of Generic Design within Information-Processing Theory: the Design Problem Space,*AI Magazine*, Winter 90,pp.19-36.
- Hoffmann,C.M.,1989. Geometric & Solid Modeling: an Introduction, Morgan Kaufmann, San Mateo, California,USA.
- Mäntylä,M.,1988. An Introduction to Solid Modeling, Computer Science Press.
- Mortenson,M.,1985. Geometric Modeling, Wiley, New York, NY,USA,1985.
- Requicha,A.G. and Voelcker,H.B.,1985. Boolean operations in solid modeling: boundary evaluation and merging algorithms, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 73(1),pp.30-44.
- Simon,H.A.,1969. The Sciences of the Artificial, MIT Press, Massachusetts,USA.