

10 Conclusão

Este trabalho mostra que a utilização de tecnologias hápticas de *hardware* e *software* é de grande importância para os deficientes visuais. O tema abordado neste trabalho, ou seja, o uso de tecnologias assistidas para promover o acesso de deficientes visuais a computadores, apontam para uma causa justa e, até o presente momento, este assunto foi pouco discutido pela comunidade acadêmica.

Este tese apresenta técnicas não-visuais de interação e um modelo de baixo nível de interface assistida capaz de simular virtualmente propriedades perceptuais relacionadas primariamente com o tato humano. Os estudos aqui apresentados estão fundamentados em resultados de pesquisas na área da psicologia de percepção, técnicas de computação gráfica e interface com o usuário e modelos matemáticos aplicados. Este suporte científico tornou possível a especificação e implementação de um protótipo de interface assistida para deficientes visuais. Esta interface não-visual está baseada em características únicas do tato humano, tais como a bidirecionalidade e a ortogonalidade da percepção proporcionada por diferentes sensores táteis, e em mecanismos típicos de percepção utilizado por deficientes visuais, como, por exemplo, construção de modelos mentais baseado na estrutura espacial dos objetos manipulados.

Os testes preliminares com o protótipo de interface assistida mostrou que, mesmo utilizando tecnologias convencionais e de baixo custo, é possível transmitir ao deficiente visual a percepção virtual de propriedades não-visuais relevantes, tais como, noção de geometria, espacialidade e texturas. Estes resultados contribuem para proporcionar ao deficiente visual ferramentas básicas que os permitirão acessar boa parte do conteúdo quase totalmente visual das atuais aplicações utilizando interfaces gráficas.

O conhecimento adquirido no desenvolvimento deste trabalho e a convivência com os deficientes visuais do Instituto Benjamim Constant, profissionais e membros da comunidade, possibilitam que sejam vislumbradas novas aplicações de tecnologias hápticas e reforçam a relevância deste trabalho.

Estes esforços certamente irão promover a inclusão do deficiente visual no processo de informatização de nossa sociedade e reduzirá, portanto, os impactos da exclusão digital que está sendo submetida esta comunidade desde a década de 80, quando começaram a surgir as primeiras interfaces gráficas na história da computação.

10.1 Sugestões de Aperfeiçoamento da Interface Assistida

Nos testes geométricos, foram observados casos isolados onde alguns usuários tiveram dificuldades em percorrer o contorno dos objetos. No entanto, acredita-se que a utilização de forças reativas de atração para a borda foi eficiente para guiar o usuário e as texturas de borda foram importantes para sinalizar o contorno e o interior do objeto. Em todo caso, parece que ficaram faltando na interface mecanismos para identificação rápida e precisa de pontos de referência nos desenhos (Kamel & Landay, 2000; Sjöström, 2002).

Tais mecanismos poderiam ser utilizados para, por exemplo, sinalizar ao usuário que ele percorreu o objeto por inteiro. Vale destacar que forças reativas devem ser utilizadas apenas para guiar o usuário e não para controlá-lo (Christian, 2000). Portanto, pareceu acertada a decisão de manter o foco da interação em um único objeto por vez e só quebrar este vínculo quando o *cursor* se distancia da borda do objeto.

Nos testes espaciais, foi observado que alguns usuários, em situações específicas, não souberam navegar através dos objetos apresentados (círculo e quadrado). Se este problema ocorreu mesmo em uma situação bem simples com apenas dois objetos na cena, certamente as conseqüências serão mais desastrosas em uma cena contendo muitos objetos. Como a tecnologia háptica empregada permite a sensação de tato restrita a um único ponto por vez, a compreensão da organização espacial dos objetos na cena (ou seja, construção de um modelo mental) não é uma tarefa trivial. A simples busca de um objeto pode ser extremamente demorada e cansativa para o usuário, principalmente se o objeto procurado não existir mais.

Portanto, torna-se necessário implementar mecanismos mais efetivos de navegação. Um deles poderia ser o caminhamento automático por todos os objetos da cena: através do uso de forças reativas, o dispositivo conduz o usuário para o

próximo objeto da cena, organizando-os em uma lista encadeada. Um mecanismo complementar seria disponibilizar informações contextuais como, por exemplo, permitir ao usuário adicionar rótulos (ou comentários personalizados de voz) a cada um dos objetos (Kamel & Landay, 2001; Kurze, 1996). Tais rótulos serão apresentados sempre que o usuário visitar o objeto novamente.

Ainda nos testes espaciais, notou-se também que percepção da disposição relativa de objetos não é a mesma em todas as direções. Os resultados mostraram que a percepção de um objeto *à frente* ou *atrás* de outro é mais sujeita a erros quando comparada com a percepção de *à esquerda* ou *à direita*. Neste caso, poderia ser utilizado sons ambientes para reforçar a percepção da localização espacial do *cursor* na cena.

Outra sugestão seria adaptar a forma com que os usuários seguram o *joystick*. Não pareceu ser conveniente segurá-lo com os dedos e manter braço e antebraço suspensos. O ideal seria manipular o dispositivo com apenas dois dedos e manter a mão apoiada em um local fixo. Isto certamente tornaria a manipulação mais precisa e causaria menos fadiga ao usuário. Entretanto, o *design* do *joystick* sugere que ele seja seguro firmemente com a mão envolvendo todo o manipulador. Afinal de contas, o dispositivo foi projetado para ser utilizado em jogos. Estas observações são sustentadas por Sjöström (1999) que comprovam as hipóteses mencionadas acima.

O uso de texturas virtuais também mostrou ser bastante relevante para o trabalho, apesar dos testes terem salientado as limitações do dispositivo háptico neste quesito. Texturas virtuais podem ser utilizadas não apenas para sinalizar fronteiras, mas também para definir e diferenciar o interior de regiões fechadas. Ficou claro que não foi possível para o usuário diferenciar as texturas T1 (*bump*) e T3 (*vibrating*). Por não ter características típicas de uma textura, T3 não deve ser utilizada em implementações futuras. Conforme apresentado no Capítulo 2, a percepção de texturas está associada com sensações vibratórias captadas por sensores cutâneos e não a sensações bruscas de movimento tipicamente provocadas por dispositivos reativos. Portanto, não se pode esperar que este dispositivo seja capaz de representar distintamente mais do que três ou quatro texturas virtuais.

De uma forma geral, a utilização redundante de outros canais sensoriais é sempre desejada em interfaces para deficientes visuais. Sabe-se que, para suprir a

ausência de visão, o deficiente vai utilizar todos os outros canais disponíveis, em especial o tato e a audição. Ficou claro que o uso de sons deveria ter sido mais explorado neste trabalho. A maioria dos usuários percebeu espontaneamente o significado dos sons emitidos pelo protótipo de interface assistida implementado. Eles foram utilizados para, por exemplo, sinalizar a entrada e saída do *cursor* na área de atração de um objeto e a transição entre vértices e arestas nos testes geométricos. No último caso, alguns usuários guiaram-se apenas ou principalmente pelos sons para identificar as formas geométricas. Portanto, como regra geral, deve-se sempre que possível optar por uma interface multimodal, principalmente quando a sensação virtual do tato é restrita a um único ponto por vez. Estas hipóteses são comprovadas por Fraser & Gutwin (2000), Bellik & Burger (1995) e Smith et al. (1996).

Foi observado também que a limitada resolução espacial do *joystick* reativo comprometeu a eficiência da interface, principalmente nos testes com texturas, já que dispositivos baseados em aplicação de forças reativas não são adequados para simulação de texturas virtuais. Além disto, a própria maneira de segurar o dispositivo com as mãos prejudicou ainda mais a percepção de forças reativas e texturas. Isto reforça ainda mais a necessidade de ser desenvolvido um adaptador que permita ao usuário manipular o *joystick* utilizando apenas dois dedos.

Por fim, é necessário ressaltar a importância do treinamento, principalmente quando se trata de deficiente visual. Se os usuários tivessem sido mais bem treinados, obviamente o resultado dos testes seria outro. Entretanto, o objetivo era identificar problemas na interface, por isso, os usuários foram treinados apenas o suficiente para capacitá-los a executar as tarefas. Desta forma, pode-se observar claramente que o desempenho variou muito conforme as habilidades motoras e o perfil de cada usuário, conforme ficou mostrado nos testes de acordo com a categoria, tempo de cegueira e percepção visual

10.2 Contribuições Científicas

No Capítulo 1 foram colocadas de forma resumida as principais contribuições científicas deste trabalho. Neste momento, elas serão apresentadas de maneira mais detalhada. Para isto, vale a pena observar o título desta tese, pois ele reflete em linhas gerais estas contribuições no campo da Computação Gráfica.

Primeiramente, é proposto um modelo de baixo nível de interface assistida para deficientes visuais. Este modelo é original e suas principais características são:

- Busca oferecer ao usuário a percepção mais ampla possíveis, tendo em vista as limitações tecnológicas, de propriedades físicas não-visuais essencialmente baseadas no tato. Desta forma, cegos totais têm pleno acesso à interface. Conforme mostra o Capítulo 1, esta característica não tem sido muito explorada em outros trabalhos;
- Implementa técnicas de interação não-visuais apoiando-se em resultados científicos de psicologia de percepção, ou seja, respeitando as características do sistema tátil humano. Em especial, as técnicas de interação levam em consideração o funcionamento de procedimentos exploratórios para estimular a percepção da forma exata, textura e rigidez de objetos virtuais, conforme mostrado no Capítulo 2;
- Explora a ortogonalidade da percepção dos componentes cutâneo e cinético do tato, combinando a sensação provocada pela aplicação de forças reativas e texturas virtuais, conforme apresentado no Capítulo 6;
- A interface utiliza um mecanismo simples de tratamento de eventos e de interação em um *canvas* gráfico para implementar as técnicas de interação;
- O *rendering* visual dos objetos da interface é implementado de maneira consistente e sincronizada com o *rendering* háptico. Esta característica permite que um vidente possa auxiliar o deficiente visual em todas as tarefas de interação.

Com relação às técnicas não-visuais de interação, a interface implementa aquelas que representam características essenciais do tato humano, ou seja, forma geométrica, disposição espacial e texturas, conforme mostrado no Capítulo 2. As técnicas estão baseadas nas seguintes características principais:

- A geometria e a topologia dos objetos sempre têm representação háptica. Conforme mostrado por Kurze (1996), vértices, arestas e faces são atributos geométricos essenciais que precisam estar presentes em uma imagem para que o reconhecimento tátil seja possível. A topologia também é importante e respeitada em desenhos realizados por deficientes visuais;

- A percepção da forma exata de um objeto está baseada em um modelo híbrido de força reativa e textura;
- A percepção de textura está baseada na simulação de rugosidade de superfícies;
- A percepção de disposição espacial está baseada na adoção de um sistema absoluto de coordenadas para o dispositivo reativo.

Voltando ao título da tese, o modelo de baixo nível de interface proposto neste trabalho está baseado na utilização de um dispositivo reativo e de um modelo matemático aplicado. Esta combinação também é original e se encaixa adequadamente na proposta do trabalho. Conforme mostrado nos Capítulos 5 e 6, as características mais importantes desta associação são:

- A força reativa de atração estimula a percepção da borda dos objetos. Esta força é utilizada para guiar o usuário ao longo da borda e não para controlar o movimento do usuário;
- O cálculo da força reativa é realizado através da transformada de distância do objeto, sendo, portanto, a base para o *rendering* háptico da interface;
- O uso de uma representação implícita da geometria dos objetos, baseada na distância, facilita a interação com a borda, interior e exterior dos objetos. Essencialmente, é como se o usuário estivesse interagindo com as isosuperfícies dos objetos;
- O uso de transformadas de distâncias garante continuidade na aplicação de forças reativas, tornando a interação mais suave;
- O uso de transformadas de distância permite ajustar, mediante o mecanismo de extensão de arestas, a aplicação de forças reativas de acordo com a precisão do dispositivo.

10.3 Trabalhos Futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se citar, entre outros:

- Avaliação de outros dispositivos hápticos, especialmente *PHANToM*, *TangibleMouse* e *SmartFinger*. O *PHANToM*, apesar de bastante caro, é o único dispositivo comercial de precisão e atualmente o mais utilizado em pesquisas sobre interfaces hápticas. O *TangibleMouse* e *SmartFinger*,

conforme mencionado no Capítulo 3, utiliza outro tipo de *feedback* háptico, baseado em vibrações e não em forças reativas. Espera-se que estes dispositivos sejam muito mais eficientes na representação de texturas virtuais;

- Realização de testes mais específicos com o *joystick* reativo utilizado neste trabalho. Em especial, é necessário avaliar melhor os limites da resolução espacial do dispositivo. Apesar dos testes terem comprovado esta limitação, não foi possível identificar o nível de precisão do *joystick* na representação de forma, disposição espacial e texturas virtuais. Não se sabe, por exemplo, como seria o desempenho da interface, caso a complexidade e a quantidade de formas geométricas fosse maior do que os casos simples estudados nos testes com os usuários;
- Adaptação de diversas aplicações existentes desenvolvidas para a comunidade vidente, em especial, programas para criação e edição de desenhos, acesso a páginas da *web* (*browsers*), programas de entretenimento (jogos) e ensino para adultos e crianças etc;
- Desenvolvimento de aplicações específicas para deficientes visuais, em especial, programas para visualização e acesso háptico a imagens e mapas geográficos.

Com relação a programas de visualização háptica de imagens, pode-se pensar na utilização de técnicas de processamento digital de imagens e resultados da área de visão computacional. Essencialmente, uma imagem *raster* representando uma cena do mundo real deve ser convertida para um formato que possa ser eficientemente percebida através do tato. Ou seja, as características perceptuais relevantes presentes na imagem original, tais como vértices, arestas, faces e texturas, devem ser isoladas e representadas na imagem convertida.

Para que isto seja possível, é necessário reduzir ao máximo a complexidade da imagem e descartar todas as características perceptuais acessadas somente pela visão. A Figura 10.1 ilustra aproximadamente este processo. A partir da imagem inicial ((Figura 10.1a), seria retirada a crominância, ficando apenas com a luminância da imagem (Figura 10.1b). A seguir, poderia ser aplicado um filtro para “borrar” a imagem com o objetivo de reduzir a quantidade de detalhes (Figura 10.1c). Por último, poderia ser aplicado um filtro para detecção de arestas

com o objetivo de isolar o componente de alta frequência da imagem, ressaltando, assim, as características perceptíveis através do tato (Figura 10.1d). Deste modo, a imagem poderia ser visualizada hápticamente utilizando técnicas de manipulação semelhantes às apresentadas nesta tese.

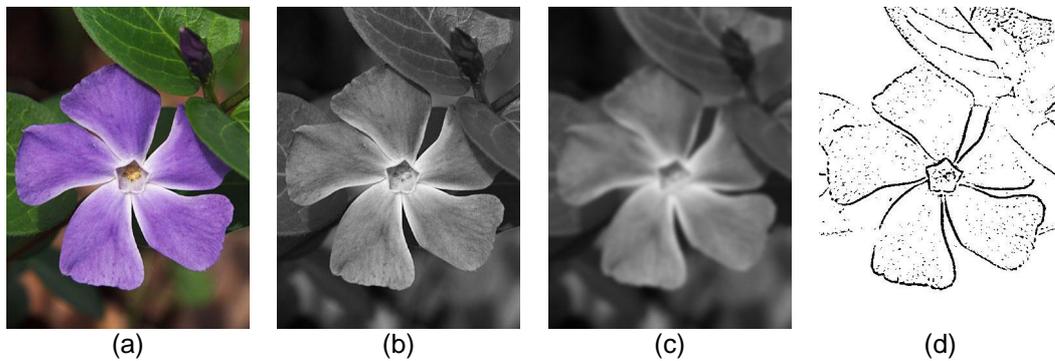


Figura 10.1: Preparação de uma imagem para visualização háptica

Com relação aos programas de acesso a mapas geográficos, este tipo de aplicação seria bastante útil para a localização do deficiente visual em um determinado local, como, por exemplo, uma vizinhança com ruas, cruzamentos, sinais, passarelas, locais de travessia, comércio etc. Tal aplicação substituiria com vantagens o uso de mapas táteis, como o mostrado na Figura 10.2. Muitas vezes a baixa resolução e o tamanho de tais mapas fazem com que sua utilização não seja tão eficiente.

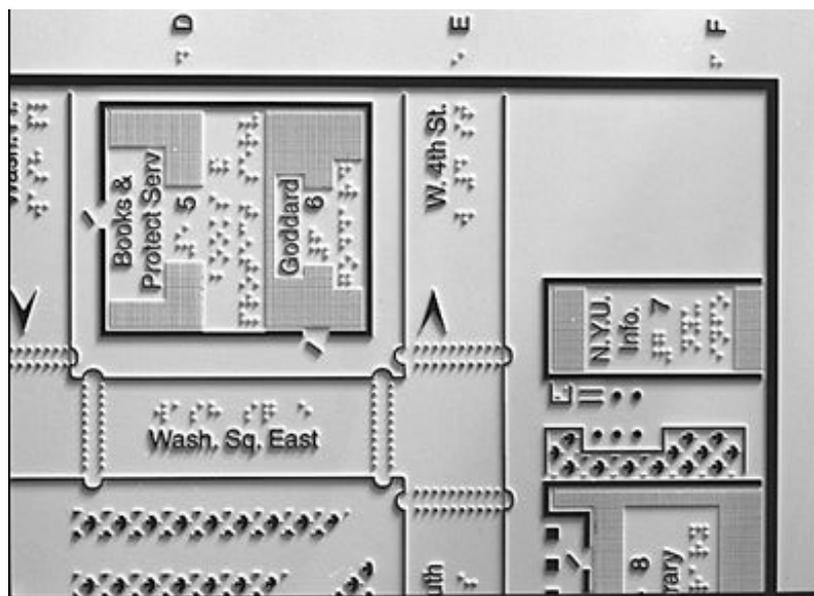


Figura 10.2: Exemplo de mapa tátil (Click & Go Interactive)

Um sistema computacional com interface assistida utilizando um dispositivo reativo pode ser muito interessante neste caso. Através da força, o dispositivo guia o usuário. Através de texturas, apresenta informações adicionais sobre sua posição. Outros recursos complementares, tais como voz sintética e demais *feedbacks* sonoros, também podem ser utilizados. Além disso, pode-se ainda representar as curvas do mapa em multi-resolução, conforme o trabalho de Pai & Reissel (1997).

Poderia ser pensado também instalar quiosques eletrônicos em locais públicos, tais como grandes *shoppings*, com este sistema. Neste caso, o usuário poderia utilizar um dispositivo háptico no dedo com *feedback* tátil (tal como o *SmartFinger*) e apontar na própria tela do computador (que seria utilizada também como dispositivo de entrada) a direção que deseja seguir.

Por fim, com relação a adaptação de programas de acesso à *web*, poderia-se pensar em uma forma para permitir um deficiente ter noção de espacialidade em documentos da *web*. Os sistemas atuais de acesso à *web* são fundamentalmente baseados em programas de leitura de tela. Ao acessar uma página, o deficiente visual não tem a mínima idéia de seu tamanho ou de sua estruturada (quantas seções? quantas colunas?). Esta informação poderia ser disponibilizada através de uma interface assistida utilizando um dispositivo reativo.

Além disto, estruturando-se melhor o conteúdo da página, o acesso será muito mais eficiente. Nos sistemas atuais, o deficiente visual geralmente precisa ouvir todo o seu conteúdo, pois ele é apresentado seqüencialmente, para descobrir que a página não contém a informação desejada. Para uma solução mais eficiente, pode-se utilizar o paradigma de interfaces multi-escalares (ou *zooming user interfaces*, ZUI's), conforme mostrado em Hightower et al. (1998). A informação é estruturada em vários níveis de resolução, sendo apresentado apenas um nível de cada vez. Dessa forma, encontrar a informação desejada torna-se muito mais fácil e rápido.