

**Romero Tori
Claudio Kirner
Robson Siscoutto**
Editores

Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada

Apostila do
Pré-Simpósio
VIII Symposium on Virtual Reality
Belém – PA, 02 de Maio de 2006

Apresentação

Os profissionais, pesquisadores, educadores e estudantes com atuação e interesse na área de Realidade Virtual (RV), e mais recentemente Realidade Aumentada (RA), vêm crescendo em número e qualidade. Prova disso é o número crescente de participantes a cada nova edição do Symposium on Virtual Reality (SVR), no qual tem-se presenciado aumento constante na qualidade e quantidade dos artigos submetidos. Além disso, percebe-se o surgimento contínuo de novos cursos, empresas e grupos de pesquisa em tecnologia de RV e RA e suas aplicações.

Somos uma comunidade jovem, multidisciplinar, criativa, aberta a idéias e desafios, a qual atrai e acolhe novos talentos, sejam eles estudantes ou profissionais migrando de outras áreas. Foi pensando nesses novos e bem-vindos participantes do SVR que criamos o Pré-Simpósio (PS), apresentado pela primeira vez em São Paulo junto ao SVR 2004. O sucesso da iniciativa fez com que a Comissão Especial de Realidade Virtual da SBC, responsável pela organização e promoção do SVR, incluísse de forma definitiva o PS na programação de atividades do evento.

O principal objetivo do PS é oferecer um curso rápido e abrangente sobre os principais conceitos e tecnologias das áreas de RV e RA, de tal forma a estabelecer um repertório básico que ajude o participante a melhor aproveitar tudo o que será exibido e discutido ao longo dos três dias de atividades principais do SVR.

Criado, desenvolvido e apresentado por professores e pesquisadores seniores da comunidade de RV e RA, o Pré-Simpósio oferece aos participantes, além das 8 horas-aula, material complementar na forma de um texto abrangente que cobre os principais conceitos e tecnologias da área, incluindo um glossário, cujo conteúdo vai muito além do que é apresentado ao vivo. No SVR 2004 o PS deu origem ao livro **“Realidade Virtual: Conceitos e Tecnologia”**. Esse livro, já esgotado, tem sido usado como referência em cursos técnicos e superiores, não só da área de computação e informática, mas também de design, comunicação e artes.

Para o SVR 2006 procedemos a uma reestruturação e revisão da publicação do Pré-Simpósio do SVR 2004, com a revisão e ampliação de capítulos e criação de novos. Esse trabalho deu origem a esta apostila digital, denominada **“Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada”**, que está publicada no CD dos Anais do SVR 2006. Futuramente pretendemos transformar esta apostila em um novo livro que, esperamos, venha contribuir para a disseminação e consolidação da Realidade Virtual nos meios acadêmicos e profissionais.

Portanto é com grande prazer que apresentamos este resultado do trabalho de 56 autores da comunidade brasileira de RV e um autor internacional, que não mediram esforços para produzir este texto didático e de qualidade. Desejamos que este o ajude a ingressar nesse fascinante mundo, para não só aproveitá-lo como também contribuir para sua evolução (quem sabe você não estará escrevendo um dos capítulos desta publicação no futuro?).

Seja bem-vindo e tenha uma boa “viagem”.

Romero Tori¹, Cláudio Kirner² e Robson Siscoutto³

EDITORES

¹ tori@acm.org

² ckirner@unimep.br

³ robson.siscoutto@poli.usp.br

Sumário

Apresentação

Romero Tori, Claudio Kirner e Robson Siscoutto - editores

Parte 1: Introdução e Conceituação

1. *Fundamentos de Realidade Virtual*

Romero Tori e Claudio Kirner

2. *Fundamentos de Realidade Aumentada*

Claudio Kirner e Romero Tori

3. *Dispositivos para Sistemas de Realidade Virtual*

Liliane dos Santos Machado e Alexandre Cardoso

4. *Sistemas Avançados de Realidade Virtual*

Luciano Pereira Soares, Marcio Calixto Cabral e Marcelo Knorich Zuffo

Parte 2: Ambientes Virtuais

5. *Ambientes Virtuais Distribuídos e Compartilhados*

Luciene Cristina Rinaldi Rodrigues, Mario Massakuni Kubo, Ildeberto Aparecido Rodello, Antonio Carlos Sementille, Romero Tori e José Remo Ferreira Brega

6. *Humanos Virtuais e Avatares*

Fábio Alexandre Caravieri Modesto, José Remo Ferreira Brega, Marcelo de Brito Garcia, Bianchi Seriqui Meiguins, Antônio Carlos Sementille, Ildeberto Aparecido Rodello e Rosevaldo Dias de Souza Junior

7. *Modelagem e Programação de Ambientes Virtuais Interativos*

Nivaldi Calonego Júnior, Marcelo de Brito Garcia, Bianchi Serique Meiguins, Antonio Valerio Netto e Patricia S. H. Cateriano

8. *Processo de Desenvolvimento de Sistemas de Realidade Virtual*

Rodolfo Pinto da Luz e Teresa Gonçalves Kirner

Parte 3: Interação

9. *Interação com Realidade Virtual e Aumentada*

Nacha Costa Bastos, Verônica Teichrieb e Judith Kelner

10. *Interação em Ambientes Virtuais Imersivos*

Márcio Serolli Pinho e Irla Bocianoski Rebelo

11. *Interfaces Não-Convencionais*

Claudio Pinhanez

12. *Jogos Eletrônicos e Realidade Virtual*

Roberto Cezar Bianchini, João Luiz Bernardes Junior, Marcos Cuzziol, Eduardo Costa Jacober, Ricardo Nakamura e Romero Tori

Parte 4: Fundamentação

13. *Estereoscopia*

Robson Augusto Siscoutto, Flávio Szenberg, Romero Tori, Alberto Barbosa Raposo, Waldemar Celes e Marcelo Gattass

14. *Modelagem 3D*

Maria Alice Grigas Varella Ferreira e Sérgio Roberto Matiello Pellegrino

Parte 5: Aspectos de Comunicação e Artes

15. *A Representação do Corpo Humano nos Ambientes Virtuais*

Roger Tavares

16. *Contar Imersivo: Proposições para a Narração em Realidade Virtual*

Vicente Gosciola

17. *Estratégias de Imersão: O Corpo como Interface*

Daniela Kutschat Hanns

Parte 6: Exemplos de Aplicações

18. *A Realidade Aumentada para Educação de Portadores de Necessidades Especiais*

Tania Rossi Garbin, Carlos Alberto Dainese e Cláudio Kirner

19. *A Realidade Virtual na Biblioteconomia*

Tereza G. Kirner, Andréa Toti Matos e Plácida L. V. A. da Costa Santos

20. *A Realidade Virtual na Educação e Treinamento*

Alexandre Cardoso e Edgard Lamounier Júnior

21. *A Realidade Virtual na Indústria de Exploração e Produção de Petróleo*

Enio Emanuel Ramos Russo, Alberto Barbosa Raposo, Terrence Fernando e Marcelo Gattass

22. *Realidade Virtual na Visualização de Informação*

Bianchi Serique Meiguins, Aruanda Simões Gonçalves, Marcelo de Brito Garcia e Paulo Igor Alves Godinho

23. *A Realidade Virtual nas Neurociências*

Rosa Maria E. Moreira da Costa

24. *A Realidade Virtual no Geoprocessamento*

Carlos Alberto Dainese e Bianca Maria Pedrosa

25. *Aplicações de Ambientes Virtuais Colaborativos*

Mario Massakuni Kubo, Bianchi Serique Meiguins, Marcelo de Brito Garcia, Luiz Affonso Guedes de Oliveira e Romero Tori

26. *Realidade Virtual Aplicada ao Tratamento de Fobias*

Antonio Valério Netto

27. *Realidade Virtual nas Artes: Projeto OP_ERA*

Daniela Kutschat Hanns e Rejane Caetano Augusto Cantoni

28. *Realidade Virtual para Apoio a Procedimentos em Medicina*

Liliane dos Santos Machado e Ronei Marcos de Moraes

29. *Uso de Realidade Virtual na Vida Artificial*

*Luciene Cristina Rinaldi Rodrigues,
Gilda Aparecida de Assis e Marcio Lobo Netto*

Marcos Antonio Cavalcieri,

Parte 7: Glossário

Edgard Lamounier Junior (Organizador)

Parte 8: Autores

Robson Augusto Siscoutto (Organizador)



PARTE 1

INTRODUÇÃO E CONCEITUAÇÃO

Capítulo

1

Fundamentos de Realidade Virtual

Romero Tori e Claudio Kirner

Abstract

This chapter discuss some of the main virtual reality concepts, showing definitions, characteristics, interfaces and interactions. It is also presented an overview on environments, resources, devices and applications of virtual reality as a basis for next chapters readings.

Resumo

Este capítulo discute os principais conceitos de realidade virtual, mostrando suas definições, caracterizações, interfaces e interações. Além disso é apresentada uma visão geral de ambientes, recursos, dispositivos e aplicações de realidade virtual, que servirá como base para a leitura dos capítulos subsequentes.

1.1. Introdução

Representações da realidade ou da imaginação sempre fizeram parte da vida do ser humano permitindo-o expressar-se ao longo do tempo, desde desenhos primitivos, figuras e pinturas até o cinema, passando por jogos, teatro, ópera, ilusionismo e outras expressões artísticas. O uso do computador potencializou e convergiu tais formas de expressão, viabilizando a multimídia, que envolve textos, imagens, sons, vídeos e animações, e mais recentemente a hipermídia, que permite a navegação não linear e interativa por conteúdos multimídia. Ao mesmo tempo, os vídeo-games ganharam um espaço extraordinário, explorando a interação. Não demorou para que todas essas tecnologias convergissem e, rompendo a barreira da tela do monitor, passassem a gerar ambientes tridimensionais interativos em tempo real, através da realidade virtual.

Apesar de haver uma forte tendência na simulação do real nas aplicações de realidade virtual, a realização do imaginário é também de fundamental importância, em função das dificuldades de se comunicar conceitos e idéias inexistentes e de seu potencial de inovação.. Até alguns anos atrás, a única maneira de se retratar o imaginário era descrevê-lo verbalmente ou, quando possível, desenhá-lo ou representá-lo de maneira restrita como desenhos, esculturas, maquetes, animações ou filmes, com muitas limitações, seja de custo, de produção ou de interação.

Com o advento da realidade virtual e o avanço dos recursos computacionais, a representação interativa e imersiva do imaginário, bem como a reprodução do real, tornaram-se mais fáceis de serem obtidas. Foram disponibilizadas interfaces mais intuitivas e rompidos os limites existentes, como a barreira da tela do monitor, permitindo-se a atuação do usuário no espaço tridimensional. As pessoas, em vez de atuar sobre representações da aplicação como menus e botões, agora podem ativar aplicações computacionais, executando ações diretamente sobre elementos tridimensionais conhecidos como: abrir porta, acionar alavanca, puxar gaveta, girar botão, etc.

Além disso, no ambiente virtual, os sentidos e as capacidades das pessoas podem ser ampliados em intensidade, no tempo e no espaço. É possível ver, ouvir, sentir, acionar e viajar muito além das capacidades humanas como: muito longe; muito perto; muito forte; muito fraco; muito rápido ou muito lento. Pode-se, assim, ser tão grande (a nível das

galáxias) ou tão pequeno (a nível das estruturas atômicas) quanto se queira, viajando a velocidades muito superiores a da luz e aplicando forças descomunais. Ao mesmo tempo, pode-se ampliar a medida do tempo, para que as pessoas possam observar ocorrências muito rápidas em frações de segundos, implementando o conceito de câmera lenta, ou reduzir a medida do tempo, acelerando-o, para observar ocorrências e fenômenos muito lentos, que poderiam demorar séculos. Para isto, são utilizadas técnicas de modelagem tridimensional na elaboração dos objetos e montagem do cenário virtual, por onde o usuário poderá navegar.

Usando-se recursos de programação, é possível a associação de comportamentos e reações aos objetos virtuais, de forma a se permitir a interação do usuário com o ambiente virtual. No entanto, para interagir com o ambiente virtual, o usuário precisa utilizar algum aparato tecnológico como uma luva, um mouse 3D, ou algum outro dispositivo de apoio. Esses dispositivos deverão gerar algum elemento virtual, correspondendo ao cursor dirigido pelo mouse em ambientes 2D, capaz de movimentar-se no mundo virtual, sob controle do usuário, visando exercer ações sobre os objetos virtuais. A luva, por exemplo, pode gerar uma mão virtual capaz de tocar nos objetos virtuais e movimentá-los dentro do cenário. Comandos complementares podem ser emitidos por sinais ou gestos das mãos, pelo teclado ou mouse e por comandos de voz, se o sistema dispuser desse recurso. Para ver o ambiente virtual, o usuário pode usar o monitor do computador, capacetes de visualização ou sistemas de projeção.

A necessidade de se fazer uso de aparatos tecnológicos para a interação do usuário com o ambiente virtual provoca restrições, tanto pelo aspecto econômico e tecnológico, quanto pelo desconforto, mas permite ao usuário fazer coisas que antes eram impossíveis ou inviáveis.

Assim, a realidade virtual permite ao usuário retratar e interagir com situações imaginárias, como os cenários de ficção, envolvendo objetos virtuais estáticos e em movimento. Permite também reproduzir com fidelidade ambientes da vida real como a casa

virtual, a universidade virtual, o banco virtual, a cidade virtual, etc, de forma que o usuário possa entrar nesses ambientes e interagir com seus recursos de forma natural, usando as mãos com o auxílio de aparatos tecnológicos, como a luva, e eventualmente gestos ou comandos de voz. Com isso, o usuário pode visitar salas de aula e laboratórios de universidades virtuais, interagir com professores e colegas e realizar experimentos científicos; pode entrar no banco virtual e manusear o terminal de atendimento virtual, de forma semelhante ao que se faz com o equipamento real, ou mesmo conversar com o gerente, representado no ambiente por um humanóide virtual (avatar).

Nas seções seguintes, serão apresentados um breve histórico, os conceitos e os aspectos mais importantes de realidade virtual.

1.2. Breve Histórico da Realidade Virtual

Coube a um cineasta, na década de 1950, a concepção do primeiro dispositivo que propiciava a imersão dos sentidos do usuário em um mundo virtual tridimensional, a um engenheiro, na década de 1960, a construção do primeiro capacete de realidade virtual e a um profissional misto de artista e cientista da computação, na década de 1980, a proposta do termo que veio a consolidar-se como denominação da área tema deste livro. Como se vê, apesar de ser relacionada com tecnologia computacional de ponta, o que é verdade, a Realidade Virtual (RV) não é uma área de pesquisa tão recente quanto possa parecer, nem restrita a profissionais da computação. De fato, a RV trabalha na ponta do desenvolvimento científico e tecnológico, buscando sempre interfaces interativas mais próximas aos sentidos humanos. Contudo, o que hoje é considerado RV pode vir a ser a interface padrão do computador do futuro, e realidade virtual passar a ser a denominação de alguma nova tecnologia, que neste momento está sendo concebida nos laboratórios de pesquisa. Hoje, diversas outras áreas de pesquisa e desenvolvimento também se apropriam e se beneficiam dos avanços da tecnologia de RV, como os jogos de computador, as interfaces homem-máquina e as artes.

O termo Realidade Virtual (RV) foi cunhado no final da década de 1980 por Jaron Lanier [Biocca, 1995], artista e cientista da computação que conseguiu convergir dois conceitos antagônicos em um novo e vibrante conceito, capaz de captar a essência dessa tecnologia: a busca pela fusão do real com o virtual. No entanto, foi muito antes da denominação definitiva que surgiram as primeiras propostas e os primeiros resultados que alicerçaram a Realidade Virtual. Na década de 1960, logo após criar o Sketchpad (Fig. 1.1), sistema com o qual fincou as bases do que hoje conhecemos como computação gráfica, Ivan Sutherland passou a trabalhar no que chamou de “Ultimate Display” [Packer, 2001] e produziu, no final da década de 1960, o primeiro capacete de realidade virtual (Fig. 1.2), precursor de uma série de pesquisas e desenvolvimentos que hoje possibilitam aplicações como aquelas descritas na Parte 6 deste livro.



<http://www.sun.com/960710/feature3/sketchpad.html>

Figura 1.1. Ivan Sutherland e seu projeto Sketchpad, no MIT, em 1963



<http://www.sun.com/960710/feature3/ivan.html>

Figura 1.2. Head-mounted display desenvolvido por Ivan Sutherland.

Em um de seus experimentos mais interessantes [Sun, 2004], Sutherland demonstrou a possibilidade da imersão e da telepresença ao acoplar um head-mounted display a duas câmeras, posicionadas na lage de um edifício, cujos movimentos eram diretamente controlados pelos da cabeça do observador usando o capacete no interior do edifício (Fig. 1.3). As sensações, reações e movimentos do observador remoto, e até mesmo o pânico ao olhar para baixo a partir do ponto de vista das câmeras foram similares aos que o observador teria, se efetivamente, estivesse no topo do edifício.

Ainda, antes das citadas pesquisas do engenheiro Ivan Sutherland, na década de 1950, o cineasta Morton Heilig, considerado como o primeiro a propor e criar sistemas imersivos, já imaginava o “cinema do futuro” [Packer 2001], chegando a produzir um equipamento denominado SENSORAMA (Fig. 1.4).

No Sensorama, o usuário era submetido a diversas sensações, movimentos, sons, odores, vento e visão estereoscópica (veja Capítulo 13), que causavam uma experiência de imersão até então inimaginável. Heilig não conseguiu transformar sua invenção em sucesso comercial, mas certamente semeou as idéias que levaram ao desenvolvimento do que hoje conhecemos como Realidade Virtual.



<http://www.sun.com/960710/feature3/ivan.html>

Figura 1.3. Experimento de tele-presença realizado por Ivan Sutherland em 1966.



<http://www.telepresence.org/sensorama/index.html>

Figura 1.4. Cartaz de divulgação do Sensorama.

1.3. Caracterização de Realidade Virtual

1.3.1. Definição de Realidade Virtual

A Realidade Virtual (RV) é, antes de tudo, uma “interface avançada do usuário” para acessar aplicações executadas no computador, tendo como características a visualização de, e movimentação em, ambientes tridimensionais em tempo real e a interação com elementos desse ambiente. Além da visualização em si a

experiência do usuário de RV pode ser enriquecida pela estimulação dos demais sentidos como tato e audição.

A modelagem dos ambientes virtuais, usando linguagens como VRML (Virtual Reality Modeling Language) e sua sucessora, X3D [Walsh, 2001] [Web3d, 2004], e outras linguagens e ferramentas de autoria específicas, permite que o usuário visualize ambientes, manipule objetos e outros elementos do cenário virtual, além de se movimentar dentro do espaço tridimensional. Alguns objetos virtuais podem ser animados e possuem comportamentos autônomos ou disparados por eventos. A geração de imagens, pelo computador, a partir de determinados pontos de vista fixos ou variáveis, permite a visualização do mundo virtual pelo usuário.

Assim, no contexto da realidade virtual, o ambiente tridimensional é gerado pelo computador, a partir da descrição do usuário, podendo ser visualizado de qualquer posição de sua escolha.

A interação do usuário com o ambiente virtual é um dos aspectos importantes da interface e está relacionada com a capacidade do computador detectar as ações do usuário e reagir instantaneamente, modificando aspectos da aplicação. A possibilidade de o usuário interagir com um ambiente virtual tridimensional realista em tempo-real, vendo as cenas serem alteradas como resposta aos seus comandos, característica dominante nos vídeo-games atuais, torna a interação mais rica e natural propiciando maior engajamento e eficiência.

Nos ambientes virtuais, a interação mais simples consiste na navegação, que ocorre quando o usuário se movimenta no espaço tridimensional, usando algum dispositivo, como o mouse 3D, ou gestos detectados por algum dispositivo de captura, tendo como resposta a visualização de novos pontos de vista do cenário. Nesse caso, não há mudanças no ambiente virtual, somente um passeio exploratório. Interações, propriamente ditas, com alterações no ambiente virtual ocorrem quando o usuário entra no espaço virtual das aplicações e visualiza, explora, manipula e aciona ou altera os objetos virtuais, usando

seus sentidos, particularmente os movimentos tridimensionais de translação e rotação naturais do corpo humano.

A grande vantagem desse tipo de interface está no fato de as habilidades e conhecimento intuitivos do usuário poderem ser utilizados para a manipulação dos objetos virtuais. Para suportar esse tipo de interação, o usuário pode usar dispositivos não convencionais, como capacete de visualização ou luvas, o próprio corpo, como gestos e comandos de voz, ou até mesmo dispositivos convencionais como mouse, teclado e monitor de vídeo. O importante é que haja por parte do usuário a impressão de estar atuando dentro do ambiente virtual, apontando, pegando, manipulando e executando outras ações sobre os objetos virtuais, em tempo-real, ou seja, dentro de limites de tempo bem definidos, ou com atrasos que não lhe causem desconforto.

Normalmente, os atrasos admissíveis para que o ser humano tenha a sensação de interação em tempo-real estão em torno de 100 milissegundos, tanto para a visão, quanto para as reações de tato, força e audição. Isto impõe um compromisso do sistema (processadores, software, dispositivos, complexidade do ambiente virtual, tipo de interação, etc) em funcionar com taxas mínimas de 10 quadros por segundo na renderização das imagens (sendo desejado algo em torno de 20 quadros por segundo para suportar melhor as cenas animadas) e de 100 milissegundos de atraso nas reações aos comandos do usuário. Assim, a complexidade do mundo virtual, os dispositivos usados, o software e a configuração do sistema devem ser ajustados para funcionar com as taxas mínimas de renderização e reação.

Existem muitas definições de realidade virtual, envolvendo aspectos gerais ou conceitos tecnológicos [Burdea, 1994], [Vince, 1995, 2004], [Kirner, 1996], [Sherman, 2003]. Uma definição, considerando as discussões apresentadas até agora e que será adotada neste livro, é:

Realidade virtual

é uma interface avançada para aplicações computacionais, que permite ao usuário a movimentação (navegação) e interação em tempo real, em um ambiente tridimensional, podendo fazer uso de dispositivos multisensoriais, para atuação ou feedback.

1.3.2. Multimídia e Realidade Virtual

Mesmo com o avanço da realidade virtual, a multimídia continua sendo intensivamente utilizada, constituindo-se em uma tecnologia importante para o desenvolvimento de aplicações computacionais.

Multimídia pode ser definida como a integração, controlada por computador, de textos gráficos, imagens, vídeo, animações, áudio e outras mídias, que possam representar, armazenar, transmitir e processar informações de forma digital [Marshall, 2001].

Embora a multimídia seja potente e simples de usar, ela limita a visualização à tela do computador (2D), que pode melhorar o uso do espaço, através de múltiplas janelas sobrepostas ou espalhadas. As plataformas computacionais multimídia precisam de processamentos específicos executados em placas de vídeo e de som, além de canais internos e externos com alta capacidade de transmissão.

Apesar de a realidade virtual também usar múltiplas mídias, seu maior interesse está na interação do usuário com o ambiente tridimensional e na geração das imagens em tempo real. Para isto, a principal característica da plataforma computacional, apropriada para aplicações de realidade virtual, é a capacidade de processamento gráfico voltada para a renderização de modelos tridimensionais em tempo real, complementada com dispositivos não convencionais de interação.

Uma comparação entre multimídia e Realidade Virtual pode ser sintetizada da seguinte maneira:

- *Multimídia trabalha com imagens capturadas ou pré-processadas; prioriza a qualidade das imagens; exige alta capacidade*

de transmissão; usa técnicas de compressão de dados; atua no espaço 2D; e funciona com dispositivos convencionais.

- *Realidade virtual trabalha com imagens calculadas em tempo real; prioriza a interação com o usuário; exige alta capacidade de processamento; usa técnicas e recursos de renderização de modelos tridimensionais e funciona com dispositivos especiais.*

Assim como na multimídia, a realidade virtual necessita que o usuário seja transportado para o domínio da aplicação (ambiente virtual), exigindo adaptação e treinamento.

1.3.3. Tipos de Sistemas de Realidade Virtual

A Realidade Virtual pode ser classificada, em função do senso de presença do usuário, em imersiva ou não-imersiva. A realidade virtual é imersiva, quando o usuário é transportado predominantemente para o domínio da aplicação, através de dispositivos multisensoriais, que capturam seus movimentos e comportamento e reagem a eles (capacete, caverna e seus dispositivos, por exemplo), provocando uma sensação de presença dentro do mundo virtual. A realidade virtual é categorizada como não-imersiva, quando o usuário é transportado parcialmente ao mundo virtual, através de uma janela (monitor ou projeção, por exemplo) mas continua a sentir-se predominantemente no mundo real. Na Figura 1.5, podem ser vistos exemplos desses dois tipos básicos de realidade virtual. Com a evolução tecnológica, novos dispositivos surgem, mas esta categorização básica permanece.



a) RV não imersiva com monitor.



b) RV imersiva com capacete HMD

Figura 1.5. Realidade virtual não imersiva e imersiva.

No caso de imersão, usando o capacete ou entrando numa CAVE [Cruz-Neira, 1992], o usuário, ao mover a cabeça para os lados, para cima e para baixo, verá todo o cenário virtual como se estivesse dentro dele. No capacete, o sensor de movimentos da cabeça (rastreador) sinaliza o computador para mostrar as imagens correspondentes ao campo de visão no capacete. Na CAVE, as projeções nas paredes, teto e piso (do cubo, dentro do qual o usuário é colocado) já executam esse papel de mostrar todo o ambiente virtual, eliminando o incômodo do capacete. Em ambos os casos, características específicas dos equipamentos, como estereoscopia e som espacial aumentam o realismo do cenário virtual, melhorando as condições de imersão. A estereoscopia, propiciando a noção de profundidade, pode ser gerada no capacete com imagens específicas para cada olho, mas necessita de óculos estereoscópicos como um acessório na CAVE, a fim de produzir as imagens para cada olho (Veja Cap. 13). Os projetores da CAVE também devem estar preparados para a geração da visão estereoscópica, produzindo as duas imagens alternadas ou sobrepostas, dependendo do tipo de filtro dos óculos: ativo ou passivo, respectivamente.

Além da visão estereoscópica e do som espacial, a imersão pode, em alguns casos, ser melhorada com outros recursos multisensoriais como reação de tato e força, sensação de calor, frio, vento, etc.

A visualização do mundo virtual no monitor ou em telas de projeção, mesmo com o uso de óculos estereoscópicos e som espacial, é considerada não imersiva, funcionando de

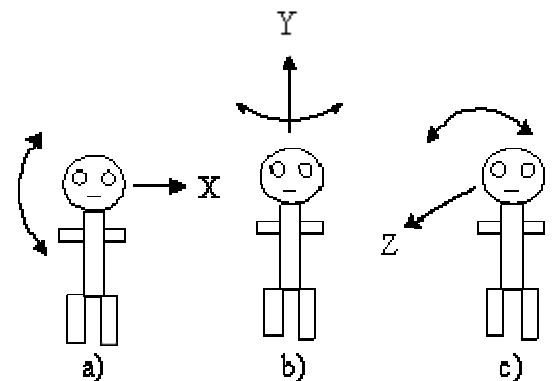
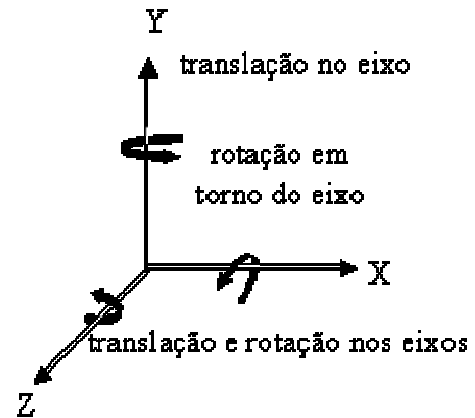
maneira semelhante a olhar por uma janela. Ao desviar o olhar para outra direção, o usuário sai do mundo virtual.

Embora a realidade virtual imersiva apresente aplicações mais realistas e mais precisas, principalmente na indústria, a realidade virtual não imersiva é mais popular por ser mais barata e mais simples. Ambas estão em constante evolução, em função dos avanços na indústria de computação e no desenvolvimento de dispositivos especiais.

1.3.4. Navegação no Ambiente Virtual

A navegação no mundo virtual depende de uma série de fatores uma vez que envolve dispositivos não convencionais de entrada e saída e é realizada em tempo real.

No mundo virtual, assim como no mundo real, a navegação acontece no espaço tridimensional, sendo resultante da combinação de movimentos de translação e de rotação, reproduzindo, por exemplo, os movimentos de um avião. Assim, pode-se deslocar nos três eixos cartesianos X, Y, Z e também rotacionar em torno deles. Isto resulta no que se chama de 6 graus de liberdade (3 de translação e 3 de rotação), conforme a Figura 1.6. Normalmente, usa-se a regra da mão direita para se tomar os valores positivos de translação e rotação. Para isto, com a palma da mão aberta voltada para a pessoa, dobra-se o dedo médio em 90 graus. O polegar corresponde ao eixo X, o indicador o eixo Y e o dedo médio o eixo Z. O sentido dos dedos é o sentido positivo de translação. Para verificar a rotação, coloca-se o polegar no sentido do eixo e a rotação positiva será aquela obtida com a rotação da mão no sentido dos outros dedos. Essa convenção é utilizada em muitos softwares de modelagem 3D.



- a) olhar p/ cima e p/ baixo
- b) olhar p/ os lados direito e esquerdo
- c) inclinar a cabeça p/ os lados

Figura 1.6. Navegação com 6 graus de liberdade.

Para poder suportar a navegação em tempo real, o sistema deverá ter desempenho suficiente para ler os sensores do dispositivo de navegação, posicionar o usuário no mundo virtual, realizar testes de colisão, se estiver habilitado para isto, e calcular e mostrar a cena com o número de quadros por segundo apropriado.

1.3.5. O que é e o que não é Realidade Virtual

Além de a realidade virtual funcionar com objetos e cenários virtuais gerados por computador, vários filmes, videogames, sistemas de visualização e simuladores de vôo também apresentam esta característica, dificultando muitas vezes distinguir o que é e o que não é realidade virtual. Nesses casos, deve-se analisar a aplicação, levando-se em

conta as diversas características explicitadas na definição de realidade virtual.

Os filmes (desenhos animados ou efeitos especiais) gerados por computador, em si não são considerados realidade virtual, por serem uma gravação que não permite nem a navegação e nem a interação do usuário em tempo real. A sua produção até que poderia usar tecnologia de realidade virtual, capturando-se tomadas da participação do usuário, interagindo-se com o cenário virtual, mas o resultado final a ser exibido ao público não ofereceria tais recursos. Os filmes têm um compromisso muito forte com a qualidade da imagem, demandando muita potência e tempo computacional para a geração dos quadros, mesmo que o tempo de processamento durante a produção seja muito maior que o tempo real da cena após ser produzida, enquanto a realidade virtual tem um compromisso maior com a interação em tempo real, gerando mais de 10 quadros por segundo, mesmo que a qualidade das imagens produzidas fique menor que em produções cinematográficas.. A qualidade da imagem, embora importante, fica em segundo plano nas aplicações de realidade virtual.

Os videogames, por sua vez, já possuem uma proximidade maior com realidade virtual, pelo fato de priorizarem a interação. Inicialmente, os jogos utilizavam elementos gráficos 2D, mas, com a migração para o espaço 3D, eles incorporaram todas as características da realidade virtual, devendo ser um dos maiores setores de aplicação dessa tecnologia.

Os sistemas de visualização 3D e simuladores de voo, desde que permitam alguma interação em tempo real, também serão considerados como aplicações de realidade virtual.

1.4. Sistemas de Realidade Virtual

A análise de um sistema de realidade virtual deve considerar 4 elementos: o ambiente virtual, o ambiente computacional, a tecnologia de realidade virtual, e as formas de interação [Vince, 1995, 2004]. O ambiente virtual aborda questões como construção do modelo tridimensional, características dinâmicas do

ambiente, características da iluminação e detecção de colisão. O ambiente computacional envolve os aspectos de configuração do processador, E/S, banco de dados e as características de tempo real do sistema operacional. A tecnologia de realidade virtual está relacionada com o hardware usado, envolvendo rastreamento de cabeça e mãos, visualização, som e mecanismos de reação e feedback. As formas de interação envolvem o reconhecimento de gestos e voz, interfaces tridimensionais e a participação de múltiplos usuários.

1.4.1. O Ambiente Virtual

O ambiente virtual pode ter várias formas, representando prédios ou objetos como automóveis e personagens (avatares). A precisão geométrica, bem como cores, texturas e iluminação são elementos importantes nesses casos. Em outros casos, o ambiente virtual pode não ter nenhuma referência no mundo real, constituindo-se um modelo abstrato. Mesmo assim, os atributos de cores, texturas e iluminação, continuam sendo importantes para uma boa visualização e imersão. Há situações, em que o ambiente virtual é utilizado para avaliar alguma simulação física, na qual a precisão do comportamento físico é mais importante que a fidelidade visual. É o caso de reações químicas, que podem usar representações simples das moléculas baseadas em esferas coloridas, por exemplo. Em qualquer situação, no entanto, o banco de dados geométrico deve ser tal que represente de forma consistente o ambiente virtual e possa ser recuperado e visualizado em tempo real.

O ambiente virtual deverá conter objetos virtuais que terão certos atributos a eles associados como: a geometria, cores, texturas, iluminação, características dinâmicas, restrições físicas e atributos acústicos.

Em geral, os objetos virtuais podem ser classificados como estáticos ou dinâmicos, dependendo da capacidade de movimentação de cada um. Além disso, esses objetos também podem ter restrições físicas associadas, como limite de translação ou de rotação.

Outras características associadas com os objetos virtuais são: nível de detalhes (LOD-*Level of Details*), que faz com que os objetos

tenham representações em níveis de detalhamento condizentes com a distância - quanto mais longe, mais simplificada será a representação; atributos de superfície, envolvendo cores e texturas para obtenção de maior realismo e/ou simplificação da representação; aspectos acústicos, de forma que uma das reações do objeto seja a emissão de um som resultante de um evento ou interação.

A iluminação do ambiente virtual utiliza normalmente técnicas simplificadas, como o uso de luz ambiente e luzes pontuais que, no entanto, ainda garantem um bom grau de realismo, permitindo a execução em tempo real.

Em muitos casos, a elevação de realismo ocorre através da utilização de simulação de comportamento físico, exigindo a execução de procedimentos apropriados, gastando tempo de processamento e introduzindo latências indesejáveis. O uso de animação preparada previamente seria uma solução, mas provoca perda de realismo.

A detecção de colisão é importante, mas também pode gastar bastante processamento. Uma maneira de contornar o problema está no uso de técnicas simplificadas, como o envolvimento dos objetos por volumes invisíveis usados para testes rápidos de colisão, como esferas e cilindros. Este procedimento não detecta colisão, mas sim o risco de colisão. Isto faz com que as técnicas mais refinadas para a detecção efetiva sejam usadas somente quando necessário, economizando tempo de processamento.

Outras questões associadas com o ambiente virtual são as entradas do usuário e a saída do sistema. Os sinais de entrada do usuário consistem na posição e orientação de sua cabeça e mãos. Os sinais de saída do sistema de realidade virtual abrangem os aspectos visuais, sonoros e de reação, atuando em paralelo no mundo virtual.

1.4.2. O Ambiente Computacional

Os computadores usados para suportar sistemas de realidade virtual variam de computadores pessoais, equipados com placas gráficas adequadas, até estações de trabalho com múltiplos processadores ou mesmo redes de

computadores trabalhando como grids ou clusters.

Na prática, o ambiente computacional deverá ser tal que consiga coordenar a visualização e os sinais de entrada e saída em tempo real com uma degradação aceitável (máximo de 100 ms de atraso e mínimo de 10 quadros por segundo).

O sistema deverá possuir canais de entrada e saída para interagir com o usuário. Os canais de entrada são basicamente usados para coletar a posição e orientação da cabeça e das mãos do usuário e, eventualmente, a situação de dispositivos de tato e força. Os canais de saída são usados para a visualização, emissão do som e emissão de reação de tato e força.

A descrição do ambiente virtual constitui-se de um banco de dados que deve ser carregado na memória sempre que for necessário. Quando a quantidade de informação for muito grande, ela deverá ser carregada por partes de acordo com a navegação do usuário, pois somente a vizinhança será visível. Dependendo do tipo de sistema de computação e do número de usuários, o banco de dados poderá ser único, replicado ou particionado.

Em qualquer sistema de realidade virtual, os serviços de tempo real são fundamentais, pois têm a função de coordenar os outros componentes e de fazê-los comportar-se coerentemente. As tarefas típicas desses serviços são o gerenciamento do banco de dados do sistema de realidade virtual, o controle dos canais de E/S, o tratamento da detecção de colisão, o gerenciamento dos recursos de rede e do processador, entre outros. De alguma maneira, todas essas tarefas deverão funcionar com a velocidade suficiente para assegurar o comportamento em tempo real.

Uma maneira natural de organizar o software do sistema de realidade virtual é dividir os serviços em processos que possam ser executados em paralelo num sistema de multiprocessamento. Esses processos autônomos incluem as tarefas de rastreamento da cabeça e mãos, detecção de colisão, tratamento de áudio, controle do comportamento reativo, geração de imagens, simulação física, gerenciamento do banco de

dados, tratamento dos gestos, controle de outros periféricos e da rede, tratamento da interface do usuário, etc. Isto reduz a latência, assegurando o desempenho necessário do sistema.

Assim, um sistema de realidade virtual apresenta dois componentes básicos: hardware e software. O hardware engloba os dispositivos de entrada, displays multisensoriais, processadores e redes. O software inclui controladores de simulação/animação, ferramentas de autoria, banco de dados de objetos virtuais, funções de interação e interface de entrada e saída.

1.4.2.1 Hardware

O hardware de realidade virtual envolve uma grande variedade de dispositivos de entrada, que serve para ajudar o usuário a se comunicar com o sistema de realidade virtual. Entre esses dispositivos, pode-se citar: rastreadores, luvas, mouses 3D, teclado, joystick, reconhecedores de voz, etc.

Os displays são tratados como elementos sensoriais de saída, envolvendo mais do que a visão. Entre os elementos de saída, estão os displays visuais, os displays de áudio e os displays hápticos.

Os processadores são elementos importantes do sistema de realidade virtual, que têm se beneficiado dos avanços tecnológicos e das tendências de mercado de videogames, dirigindo-se para aplicações tridimensionais complexas. Eles envolvem tanto os processadores principais, quanto os processadores de apoio existentes em placas gráficas, sonoras e outras placas de processamento especializado. Além disso, o hardware pode envolver ambientes de processamento paralelo e de supercomputadores.

1.4.2.2 Software

Sistemas de realidade virtual são complexos e envolvem interações em tempo real entre muitos componentes de hardware e software. O software de realidade virtual atua na fase de preparação do sistema, como software de autoria de ambientes 3D, e na fase de execução, como run-time support.

O software de autoria pode envolver: linguagens, como VRML, X3D; bibliotecas gráficas, como OpenGL e Java 3D; toolkits implementados sob a forma de bibliotecas C/C++, como WTK; toolkits gráficos, como VizX3D, EonStudio; e até mesmo game engines, como OGRE, UNREAL, enJine e outros. A preparação dos ambientes virtuais envolve modelagem 3D, preparação e manipulação de texturas, manipulação de som, elaboração de animações, etc.

Como run-time support, o software de realidade virtual deve: interagir com os dispositivos especiais; cuidar da interface com o usuário; tratar de visualização e interação; controlar a simulação/animação do ambiente virtual; e implementar a comunicação em rede para aplicações colaborativas remotas.

Em alguns casos, o software de realidade virtual precisa ser complementado com outros recursos, como ocorre com a linguagem VRML, que deve ser integrada com a linguagem Java, através da interface EAI, para permitir o desenvolvimento de sistemas com interações mais potentes e comunicação em rede. Em outros casos, o software de realidade virtual já possui esses recursos, ou módulos opcionais, que permitem seu uso de forma completa, como a biblioteca WTK e o sistema de desenvolvimento de aplicações de realidade virtual EonStudio.

1.4.2.3 Rede de Computadores

As redes de computadores, embora sejam elementos opcionais, estão cada vez mais sendo incorporadas em aplicações de realidade virtual, principalmente com o crescimento dos recursos da Internet e da tendência de aumento no uso de trabalhos colaborativos em diversas áreas. Entretanto, pelo fato de a realidade virtual não demandar tráfego de imagens na rede, embora use downloads esporádicos de textura, a vazão necessária é muito baixa. Isto faz com que uma rede de computadores tenha condições de acomodar centenas ou milhares de usuários em aplicações colaborativas. A rede deverá fazer o download das aplicações, no início da execução, e a comunicação de poucos dados de informação e de posicionamento dos objetos virtuais do cenário, ao longo da execução.

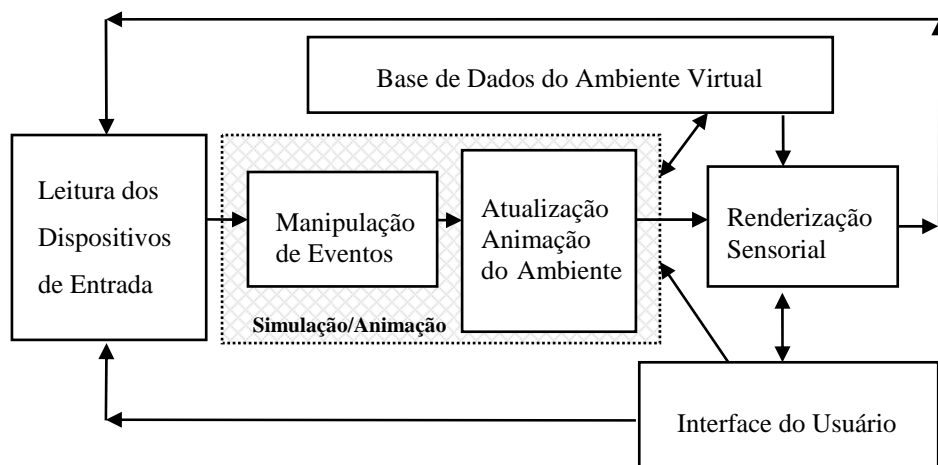


Figura 1.7. Processamento do sistema de realidade virtual.

Um ciclo de processamento pode ser resumido em: leitura dos dados dos dispositivos de entrada, execução da simulação/animação e renderização sensorial. A renderização sensorial é considerada de forma ampla e engloba: renderização visual, auditiva e háptica.

Considerando que o sistema funciona em tempo real, o tempo entre a leitura dos dados de entrada e a respectiva renderização é chamado tempo de latência ou tempo de reação do sistema. Para não causar desconforto ao usuário, normalmente o tempo de latência deve ser, no máximo, 100 ms, que implica em um taxa de quadros de, no mínimo, 10 quadros/s para a renderização visual.

1.4.6 Realidade Virtual na Simulação

Ao mesmo tempo em que a realidade virtual pode ser usada para visualizar dados e comportamento de uma simulação, os recursos da simulação podem ser usados para implementar comportamentos específicos, em um sistema de realidade virtual.

1.4.6.1 Usando Simulação em Sistemas de Realidade Virtual

Um sistema de Realidade Virtual, muitas vezes, procura reproduzir o realismo do mundo real ou comportamentos teóricos estabelecidos pelos projetistas.

Muitas propriedades ou comportamentos do mundo real, como neblina, colisão e gravidade podem ser encontrados em software

de autoria de Realidade Virtual. Essas propriedades e comportamentos são obtidos, através de simulações específicas, embutidas no software de realidade virtual, agindo sobre objetos ou todo o ambiente.

Entre os comportamentos simulados, normalmente disponíveis em ambientes virtuais, estão: movimentação de objetos; detecção de colisão e reação; simulação física; etc. Embora tornem os ambientes virtuais mais realistas e estimulantes, esses comportamentos usam processamento intensivo, exigindo computadores mais potentes para não provocar degradação na execução do sistema.

1.5. Dispositivos de Realidade Virtual

Os dispositivos de realidade virtual envolvem diversas tecnologias, cuja evolução e uso conjugado viabilizam seu desenvolvimento. Além disso, a escala de produção desses dispositivos tem efeito direto no preço e na sua disponibilidade no mercado.

Assim, a evolução tecnológica vem provocando um grande impacto, tanto nos computadores quanto nos dispositivos de realidade virtual, tornando possível um desenvolvimento acelerado da área de realidade virtual a nível internacional.

Antes de iniciar uma discussão sobre os dispositivos de realidade virtual, é interessante fazer uma rápida análise dos computadores usados em sistemas de realidade virtual. Existem computadores de todo tipo: desde PCs

até supercomputadores, mas praticamente todos eles são capazes de criar algum tipo de imagem, sendo, portanto, candidatos a fazerem parte de uma plataforma de realidade virtual. Dentre esses computadores tem-se: PCs, estações gráficas, supercomputadores e geradores de imagens.

Embora os PCs sejam considerados computadores mais lentos, é interessante notar que os PCs de hoje são mais potentes que estações de trabalho de poucos anos atrás. Além disso, com o desenvolvimento do entretenimento com videogames tridimensionais, a disponibilidade de placas gráficas de alto desempenho e custo acessível é uma realidade. Essas placas atingem milhões de polígonos por segundo, estando em constante aprimoramento.

As estações gráficas, por sua vez, além de ter processamento gráfico de alto desempenho, também apresentam altas taxas de processamento e de transferência interna de dados, porém com custo elevado.

Os supercomputadores, especialmente aqueles da Silicon Graphics [SGI, 2004], são máquinas de capacidade elevada de processamento, transferência interna de dados e processamento gráfico, alcançando altas taxas de milhões de polígonos por segundo. Essas máquinas são usadas geralmente em sistemas de projeção panorâmica, bancadas de trabalho e sistemas com múltiplos projetores denominados CAVE.

Geradores de imagens são máquinas específicas para a produção de imagens em tempo real, principalmente para a indústria de simulação. Exemplos de computadores ou placas gráficas específicos para realidade virtual são aqueles das empresas Silicon Graphics e Evans & Sutherland.

Daremos aqui uma visão geral dos principais dispositivos de RV, sendo que o Cap. 3 os apresenta em maiores detalhes.

1.5.1 Rastreadores

Existem várias tecnologias para capturar o movimento humano, tanto para animação quanto para aplicações de realidade virtual.

Enquanto que a animação visa a obtenção de movimentos realistas de

personagens animados, as aplicações de realidade virtual utilizam a captura de movimentos principalmente para monitorar a posição e orientação da cabeça e mãos do usuário em tempo real.

As tecnologias de captura de movimentos utilizadas em realidade virtual incluem: mecânica, ótica, ultrasônica e magnética. Exemplos de rastreadores podem ser encontrados nas empresas Fakespace e Polhemus, entre outras.

1.5.2 Capacetes e Óculos Estereoscópicos

Tanto os óculos estereoscópicos, quanto os capacetes, dão noção de profundidade (Figuras 1.8 e 1.9), mas os capacetes permitem a imersão, enquanto os óculos não fazem isto por si só, dependendo do ambiente de visualização. Usando óculos em ambiente de monitor ou com tela de projeção, a visualização é não imersiva, enquanto que, dentro de uma CAVE, tem-se a visualização imersiva.



Figura 1.8. Uso de óculos estereoscópicos passivos com terminal Zscreen e tela de projeção

Os óculos estereoscópicos ativos funcionam com a comutação de abertura (transparência) e fechamento (escurecimento) de cada lente, sincronizados com a apresentação

da imagem para cada olho no monitor. Como cada imagem é defasada de outra, em relação à distância, a comutação rápida da imagem e da abertura/fechamento das lentes faz com que a pessoa tenha a sensação de estar enxergando uma cena real tridimensional. Os óculos estereoscópicos passivos usam lentes polarizadas, exigindo duas projeções sobrepostas, que são separadas pelas lentes polarizadas. Exemplos de óculos estereográficos são os Crystal Eyes da Stereographics.



Figura 1.9. Realidade virtual imersiva com capacete e luva.

O capacete, por outro lado, apresenta duas imagens defasadas (uma para cada olho) diretamente nos olhos do usuário. Como o capacete é rastreado, a movimentação da cabeça faz com que as imagens sejam geradas, de acordo com a posição e orientação do usuário.

Apesar dos avanços tecnológicos, os capacetes ainda apresentam algum incômodo ergonômico, devido ao peso e necessidade de ajustes.

Há algumas variações de capacete como o visualizador binocular e luneta, ou sistemas

integrados como o boom. Exemplos de capacetes podem ser encontrados nas empresas Virtual Research, nvision, General Reality, Fakespace, etc.

1.5.3 Luvas

Uma maneira intuitiva de comandar ações no mundo virtual é usar gestos capturados por luvas, como puxar, empurrar, girar, agarrar, soltar, tocar, etc. Uma luva é construída com material leve, usando transdutores acoplados ao longo dos dedos.

Os transdutores podem ser strain gages ou fibra ótica que têm suas características alteradas pela tensão. Um rastreador no pulso fornece o posicionamento e a orientação da mão, enquanto os transdutores dão os movimentos dos dedos.

Uma variação das luvas são aquelas com reação de força, constituídas de sensores e atuadores, dando a impressão de toque real nos objetos.

Exemplos de luvas podem ser encontrados em empresas como Fifth Dimension, Virtual Technologies, General Reality, Fakespace, etc.

1.5.4 Dispositivos Acústicos

A presença de sons em ambientes virtuais faz com que a ilusão do realismo fique maior. Isto é conseguido através da simulação sonora com características como posicionamento, reflexão, geradores sonoros móveis, efeitos Doppler, atraso e absorção, etc. Esses sons podem ser gerados em alto falantes ou em fones de ouvido, fazendo parte ou não de capacetes.

Exemplos de dispositivos acústicos podem ser encontrados em empresas como Aureal/Crystal River, VSI Visual Synthesis, entre outras.

1.5.5 Sistemas baseados em Projeção

Existem vários tipos de sistemas baseados em projeção, dentre eles a tela panorâmica, a mesa virtual e a CAVE. Todos eles apresentam as vantagens de propiciar imersão total ou parcial, de poder trabalhar com cenas virtuais em tamanho real, ou seja, em escala 1:1, e de permitir a participação simultânea de um conjunto de pessoas.

A tela panorâmica consiste de uma tela curva, atingindo cerca de 180 graus, onde são projetadas partes da cena em sequência, usando vários projetos alimentados por um supercomputador. O trabalho adequado de sincronização e de tratamento das imagens faz com que as emendas sejam imperceptíveis, permitindo navegações panorâmicas por qualquer ambiente virtual. Exemplos de telas panorâmicas podem ser vistos em empresas como Pyramid e Trimension.

A mesa virtual consiste de uma base horizontal ou inclinada de vidro ou plástico, onde é projetada uma imagem com efeitos estereoscópicos, de forma que o usuário possa visualizar e manipular objetos a sua frente em três dimensões com o uso de óculos estereoscópicos. Uma variação da mesa virtual consiste em ter dois planos perpendiculares, dando maior campo de visão e realismo.

Exemplos de mesas virtuais podem ser encontrados em institutos de pesquisa como GMD e Universidade de Stanford e em empresas como Pyramid e Fakespace.

O ambiente CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) [Cruz-Neira, 1992], desenvolvido inicialmente na Universidade de Illinois, Chicago, em 1992, tornou-se bastante popular pelas suas características de imersão, tamanho real e visualização em grupo. O ambiente é baseado em um cômodo, onde as paredes, piso e teto são telas que recebem a projeção sincronizada das partes de um mundo virtual. A CAVE comporta-se assim como uma bolha com os usuários dentro, navegando no mundo virtual. Um usuário, encarregado de controlar a navegação, possui rastreadores e óculos estereoscópicos, enquanto os outros usam somente óculos estereoscópicos. Várias universidades e centros de pesquisa no mundo possuem CAVE e a empresa Pyramid tem sido um dos principais fornecedores desse tipo de equipamento.

1.6. Aplicações de Realidade Virtual

Embora seja imenso o potencial de aplicações da realidade virtual, serão aqui relacionadas algumas das principais [Vince, 1995, 2004], [Burdea, 1994, Sherman, 2003]. O Cap. ### apresenta estas e outras aplicações em maiores detalhes.

1.6.1 Aplicações Industriais

O uso de CAD em aplicações industriais tem sido bastante difundido, sendo desnecessário frisar a importância da visualização 3D de um objeto, antes de ser produzido. A realidade virtual, entretanto, vai além, permitindo sua inspeção em tempo real e, eventualmente, um alto grau de interação com o objeto sob análise.

Algumas aplicações industriais de realidade virtual são: visualização de protótipos; treinamento; avaliação de fatores ergonômicos; simulação de montagens; simulação da dinâmica de estruturas articuladas; análise de tensões; simulação do processo produtivo; estudo de técnicas de engenharia; planejamento; túnel de vento virtual; etc.

1.6.2 Aplicações Médicas e em Saúde

Os computadores tiveram um grande impacto na medicina, desde a monitoração de pacientes até processamento de imagens tomográficas tridimensionais. No entanto, as aplicações de realidade virtual na medicina foram muito além, possibilitando, por exemplo, o treinamento cirúrgico em cadáveres virtuais.

Algumas aplicações de realidade virtual na medicina e saúde são: ensino de anatomia; visualização com realidade aumentada; planejamento cirúrgico; simulação cirúrgica; terapia virtual; tratamento de deficientes; fisioterapia virtual; cirurgias pouco invasivas; etc.

1.6.3 Aplicações em Arquitetura e Projeto

Esta área utiliza-se intensamente de CAD e pode ser complementada com realidade virtual para: projeto de artefatos; planejamento da obra; inspeção tridimensional em tempo real; interação em tempo real; decoração de ambientes; avaliação acústica; etc.

1.6.4 Aplicações Científicas

Esta é uma vasta área que pode servir-se da realidade virtual para mostrar conceitos abstratos, comportamento de elementos muito grandes, como galáxias, ou muito pequenos, como estruturas atômicas, e outras características científicas.

Dentre as diversas aplicações tem-se: visualização de superfície planetárias; síntese

molecular; visualização de elementos matemáticos; análise de comportamento de estruturas atômicas e moleculares; análise de fenômenos físico-químicos; etc.

1.6.5 Aplicação em Artes

A área de artes também pode receber um grande diferencial com realidade virtual. Pinturas em relevo, esculturas, museus virtuais com detalhes nas paredes e teto, além das próprias obras de arte, música com instrumentos virtuais, etc são algumas das aplicações possíveis. Isto pode dar aos artistas e ao público em geral dimensões jamais vistas ou sentidas, através da eliminação ou alterações das restrições do mundo real ou da ampliação da imaginação.

1.6.6 Aplicações em Educação

A área de educação tem muito a ganhar com realidade virtual, tanto no ensino convencional quanto no ensino à distância.

Algumas aplicações incluem: laboratórios virtuais; encontros remotos de alunos e professores para terem uma aula ou alguma atividade coletiva; participação em eventos virtuais; consulta a bibliotecas virtuais; educação de excepcionais, etc.

1.6.7 Aplicações em Visualização e Controle da Informação

Cada vez mais é necessário o acesso rápido e adequado a conjuntos complexos de informações para as mais variadas aplicações de tomada de decisão.

O espaço bidimensional é muito limitado para isto, de forma que a representação e o posicionamento de informações no mundo virtual tridimensional vem agregar um grande potencial para aplicações como: visualização financeira; visualização de informações em geral; informação virtual; visualização de simulação de sistemas complexos; etc.

1.6.8 Aplicações em Entretenimento

Aplicações em entretenimento têm a vantagem de atingir escalas de consumo bastante altas, viabilizando o lançamento de uma série de produtos. É o caso dos videogames que viabilizaram os chips de microprocessadores e

alguns periféricos de realidade virtual de baixo custo.

Dentre as diversas aplicações, além dos videogames tridimensionais com interação em tempo real, tem-se: turismo virtual; passeio ciclístico virtual; esportes virtuais; cinema virtual; etc.

1.6.9 Outras Aplicações

Há muitas outras aplicações, envolvendo: treinamento; cidades virtuais; comércio eletrônico; modelagem; simuladores; estúdios virtuais; etc. Além disso, novas aplicações surgem a cada dia, dependendo da necessidade e da imaginação de cada um. A realidade virtual vem propiciando uma nova maneira de ver coisas conhecidas ou o desenvolvimento de novas aplicações.

1.7. Referências

- Biocca, F.; Levy, M. R. (1995) *Communication in the Age of Virtual Reality*. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, NJ.
- Bowman, D., et al. (2005). "3D User Interfaces: Theory and Practice". Boston, MA: Addison-Wesley.
- Burdea, G., Coiffet, P. (1994) "Virtual Reality Technology", John Wiley & Sons.
- Cruz-Neira, C. et al. (1992) "The CAVE Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment", *Communication of the ACM*, v.35, n.6, p.64-72, June.
- Eon Reality, Inc. (2006) "EonStudio". http://www.eonreality.com/products/eon_studio.htm
- Isdale, J. (2000) "Augmented Reality". http://vr.isdale.com/vrTechReviews/AugmentedReality_Nov2000.html
- Kirner, T.G., Martins, V. F. (2000) "Development of an Information Visualization Tool Using Virtual Reality". *Proceedings of the 15th ACM Symposium on Applied Computing - SAC'2000*, Como, Italy, p. 604-607.
- Kirner, C., Pinho, M.S. (1996) "Introdução a Realidade Virtual". Mini-Curso, JAI/SBC, Recife, PE.

- Marshall, D. (2001) "What is Multimedia?"
<http://www.cs.cf.ac.uk/Dave/Multimedia/node10.html>
- Packer, R; Jordan, K. (ed.) (2001) *Multimedia: From Wagner to Virtual Reality*. W. W. Norton & Company. 396p.
- Rykowski, J., Yeackley, K. (1994) "Virtual Reality Technology And Society" (<http://www.essayworld.com/essays/computer/736.shtml>)
- Sherman, W.R., Craig, A.B. (2003) "Understanding Virtual Reality", Morgan kaufmann.
- SGI (2004) "Silicon Graphics".
<http://www.sgi.com>
- Vince, J. (1995) "Virtual Reality Systems", Addison-Wesley.
- Vince, J. (2004) "Introduction to Virtual Reality", Springer-Verlag, 2nd edition.
- Virtock Technologies, Inc. (2006). "VizX3D Real-Time 3D Authoring in X3D".
<http://www.vizx3d.com/>
- Walsh, A.E., Bourges-Sévenier, M. (2001), "Core WEB3D", Prentice Hall.
- Watson, B. et al. (1997) "Evaluation of the Effects of Frame Time Variation on VR Task Performance" VRAIS'97, IEEE Virtual Reality Annual Symposium, 1997, p. 38-44.
- Web3d (2004) "X3D Overview".
<http://www.web3d.org/x3d/overview.html>
- Web3D Consortium (2006a). "VRML Specifications".
<http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/>
- Web3D Consortium (2006b). "X3D Documentation". <http://www.web3d.org/x3d/>

Capítulo

2

Fundamentos de Realidade Aumentada

Claudio Kirner e Romero Tori

Abstract

This chapter presents concepts about mixed reality, augmented reality, augmented virtuality and hiper-reality. It shows the main aspects, devices and applications of those types of reality. Besides, the specific features of those types of reality are discussed and compare and the impacts of that technology on the life of people are presented.

Resumo

Este capítulo apresenta os conceitos de realidade misturada, realidade aumentada, virtualidade aumentada e hiper-realidade, mostrando seus aspectos, dispositivos e aplicações de maneira geral. As características específicas de cada tipo de realidade são discutidas e comparadas e alguns de seus impactos na vida das pessoas são abordados.

2.1. Introdução

O avanço da multimídia e da realidade virtual, proporcionado pela maior potência dos computadores, permitiu a integração, em tempo real, de vídeo e ambientes virtuais interativos. Ao mesmo tempo, o aumento da largura de banda das redes de computadores também vem influenciando positivamente na evolução da multimídia, permitindo a transferência de imagens e outros fluxos de informação com eficiência.

A realidade aumentada, enriquecendo o ambiente físico com objetos virtuais, beneficiou-se desse progresso, tornando viável aplicações dessa tecnologia, tanto em plataformas sofisticadas quanto em plataformas populares.

Diferentemente da realidade virtual, que transporta o usuário para o ambiente virtual, a realidade aumentada mantém o usuário no seu ambiente físico e transporta o ambiente virtual para o espaço do usuário, permitindo a interação com o mundo virtual, de maneira mais natural e sem necessidade de treinamento ou adaptação. Novas interfaces multimodais estão sendo desenvolvidas para facilitar a manipulação de objetos virtuais no espaço do usuário, usando as mãos ou dispositivos mais simples de interação.

O uso de rastreamento óptico de pessoas ou mãos e as técnicas de realidade aumentada podem colocar elementos reais, como as mãos, para interagir com o ambiente virtual, eliminando os inconvenientes dos aparatos tecnológicos. Além disso, é possível também enriquecer uma cena real, capturada por câmera de vídeo, por exemplo, com elementos virtuais interativos, de forma a permitir muitas aplicações inovadoras. Como exemplo, pode-se citar a decoração, em tempo real, de um apartamento vazio (real) com mobiliário virtual. Nesse caso, o usuário pode usar um capacete de visualização com uma câmera de vídeo acoplada, mostrando a visão real enriquecida com os elementos virtuais posicionados adequadamente pelo computador. O sistema é implementado de tal maneira que o cenário real e os objetos virtuais permanecem ajustados, mesmo com a movimentação do usuário no ambiente real.

Assim, a realidade virtual e a realidade aumentada permitem ao usuário retratar e interagir com situações imaginárias, como os cenários de ficção, envolvendo objetos reais e

virtuais estáticos e em movimento. Permitem também reproduzir, com fidelidade, ambientes da vida real como a casa virtual, a universidade virtual, o banco virtual, a cidade virtual, etc, de forma que o usuário possa entrar nesses ambientes e interagir com seus recursos de forma natural, usando as mãos (com ou sem aparatos tecnológicos, como a luva) e eventualmente comandos de voz. Com isto, o usuário pode visitar salas de aula e laboratórios de universidades virtuais, interagindo com professores e colegas e realizando experimentos científicos; pode entrar no banco virtual e manusear o terminal de atendimento virtual, da mesma maneira que o faz com o equipamento real, e mesmo conversar com o gerente, representado no ambiente por um humanóide virtual (avatar).

Nas seções seguintes, serão apresentados os conceitos e os aspectos mais importantes relacionados com realidade aumentada, incluindo suas variações.

2.2. Realidade Misturada

A realidade aumentada está inserida num contexto mais amplo, denominado realidade misturada. No entanto, esses termos geralmente são usados de maneira indiscriminada, predominando o uso da realidade aumentada. Em seguida, a realidade misturada e suas particularizações serão caracterizadas.

2.2.1. Caracterização de Realidade Misturada

A realidade misturada pode ser definida como a sobreposição de objetos virtuais tridimensionais gerados por computador com o ambiente físico, mostrada ao usuário, com o apoio de algum dispositivo tecnológico, em tempo real.

O dispositivo tecnológico, que pode ser um capacete misturador de visão direta ou um capacete de visualização com uma câmera de vídeo acoplada, permite misturar a cena real com objetos virtuais, com o apoio do

computador. Em outros casos, o dispositivo tecnológico pode ser um conjunto de câmeras que capturam imagens de pessoas ou objetos reais para serem usadas em processos de reconstrução e inserção desses elementos no ambiente virtual, em tempo real. Uma maneira mais simples de obter-se realidade misturada consiste no uso de uma webcam para capturar uma cena real, na qual são adicionados objetos virtuais, sendo o conjunto mostrado no monitor.

Assim, ao misturar cenas reais com virtuais, a realidade misturada vai além da capacidade da realidade virtual concretizar o imaginário ou reproduzir o real. Agora, a realidade misturada incorpora elementos virtuais ao ambiente real ou leva elementos reais ao ambiente virtual, complementando os ambientes.

A meta de um sistema de realidade misturada é criar um ambiente tão realista que faça com que o usuário não perceba a diferença entre os elementos virtuais e os reais participantes da cena, tratando-os como uma coisa só.

Tem-se, portanto, um contexto mais amplo, definido como realidade misturada, que combina o mundo real com o mundo virtual, usando técnicas computacionais, conforme a Figura 2.1, adaptada de Reality-Virtuality Continuum [Milgram, 1994].

No ambiente da realidade misturada, a realidade aumentada ocorre, quando objetos virtuais são colocados no mundo real. A interface do usuário é aquela, que ele usa no ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos virtuais colocados no seu espaço. A virtualidade aumentada ocorre, quando elementos reais são inseridos no mundo virtual. A interface do usuário é aquela que transporta o usuário para o ambiente virtual, mesmo que ele veja ou manipule elementos reais ali inseridos.

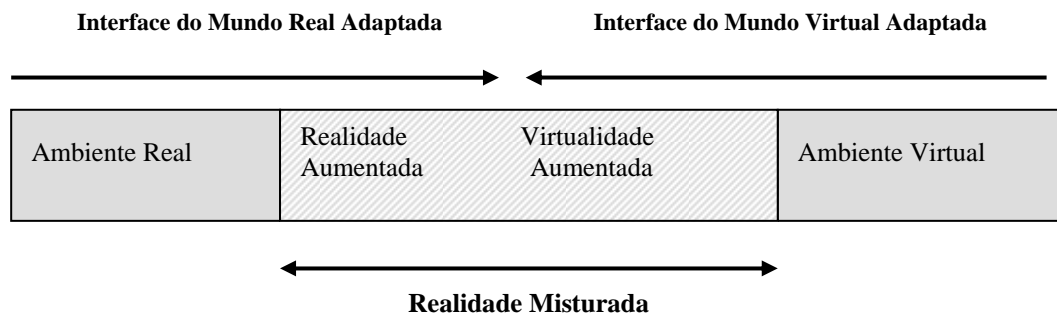


Figura 2.1. Ambiente de Realidade Misturada (adaptada de [Milgram, 1994])

A realidade aumentada e a virtualidade aumentada são casos particulares da realidade misturada, mas geralmente o termo realidade aumentada tem sido usado de uma maneira mais ampla.

A realidade aumentada usa técnicas computacionais que geram, posicionam e mostram objetos virtuais integrados ao cenário real, enquanto a virtualidade aumentada usa técnicas computacionais para capturar elementos reais e reconstruí-los, como objetos virtuais realistas, colocando-os dentro de mundos virtuais e permitindo sua interação com o ambiente. Em qualquer dos casos, o funcionamento do sistema em tempo real é uma condição essencial.

A realidade aumentada envolve quatro aspectos importantes: renderização de alta qualidade do mundo combinado; calibração precisa, envolvendo o alinhamento dos virtuais em posição e orientação dentro do mundo real; interação em tempo real entre objetos reais e virtuais.

O ambiente de realidade aumentada utiliza recursos de multimídia, incluindo imagem e som de alta qualidade, e recursos de realidade virtual, incluindo a geração de imagens dos objetos virtuais e a interação em tempo real.

Assim, a plataforma computacional, para esse ambiente, deve apresentar as características apropriadas para multimídia e realidade virtual, tais como: capacidade de processamento e transferência de mídia (imagem, som, etc.); capacidade de processamento gráfico 3D; interação em tempo real; e suporte a dispositivos não convencionais. Atualmente, os computadores

preparados para processar jogos apresentam essas características.

Uma comparação entre realidade virtual e realidade aumentada pode ser sintetizada da seguinte maneira:

- Realidade virtual trabalha unicamente com o mundo virtual; transfere o usuário para o ambiente virtual; e prioriza as características de interação do usuário.
- Realidade aumentada possui um mecanismo para combinar o mundo real com o mundo virtual; mantém o senso de presença do usuário no mundo real; e enfatiza a qualidade das imagens e a interação do usuário.

Como a realidade aumentada mantém o senso de presença do usuário no mundo real, há uma forte tendência em usar recursos tecnológicos não visíveis ao usuário para deixá-lo livre em seu ambiente. Recursos como rastreamento óptico, projeções e interações multimodais estão, cada vez mais, sendo usados em aplicações de realidade aumentada, enquanto a realidade virtual usa um maior número de dispositivos especiais para equipar os usuários com recursos multisensoriais.

2.2.2. Realidade Aumentada

O termo realidade aumentada foi muito difundido, sendo muitas vezes usado no lugar de realidade misturada.

A realidade aumentada pode ser definida de várias maneiras:

- a) é uma particularização de realidade misturada, quando o ambiente principal é real ou há predominância do real;

b) é o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, usando algum dispositivo tecnológico, funcionando em tempo real.

c) é uma melhoria do mundo real com textos, imagens e objetos virtuais, gerados por computador [Insley, 2003];

d) é a mistura de mundos reais e virtuais em algum ponto da realidade/virtualidade contínua que conecta ambientes completamente reais a ambientes completamente virtuais [Milgran, 1994];

e) é um sistema que suplementa o mundo real com objetos virtuais gerados por computador, parecendo coexistir no mesmo espaço e apresentando as seguintes propriedades:

- combina objetos reais e virtuais no ambiente real;
- executa interativamente em tempo real;
- alinha objetos reais e virtuais entre si;
- aplica-se a todos os sentidos, incluindo audição, tato e força e cheiro [Azuma, 2001].

Pode-se, assim, colocar um vaso virtual sobre uma mesa real, conforme a Figura 2.2, ou uma ponte, que só existe no projeto sobre um rio verdadeiro.

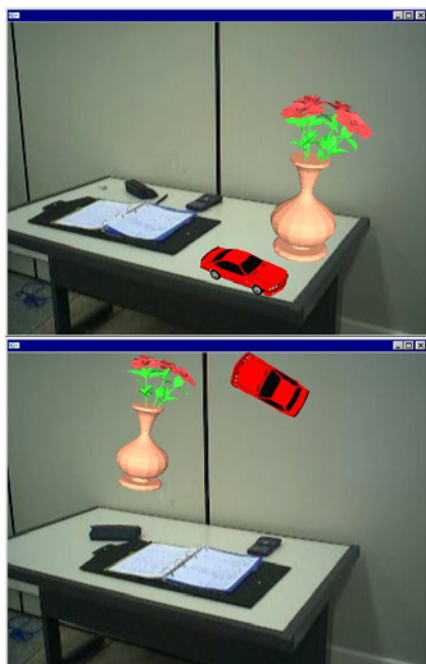


Figura 2.2. Realidade Aumentada com vaso e carro virtuais sobre a mesa.

Pode-se também manipular os objetos virtuais colocados no ambiente real, usando as mãos ou algum dispositivo como uma pá, conforme a Figura 2.3, permitindo a organização ou reorganização do ambiente misturado [Kawashima, 2001], [Kirner, 2004a], [Galana, 2004], [Santin, 2004].

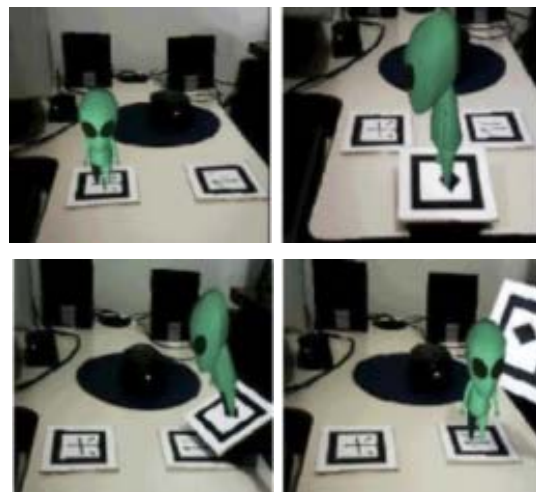


Figura 2.3. Transporte de um objeto virtual com uso de uma pá.

Essa tecnologia deverá ter grande impacto no relacionamento das pessoas, pois facilita a formalização das idéias, através de novas maneiras de visualizar, comunicar e interagir com pessoas e informação.

Apesar de todas as áreas do conhecimento deverem usufruir dos benefícios da realidade aumentada, ensino, aprendizagem e treinamento deverão particularmente passar por uma grande evolução com novas formas de relacionamento do estudante com professor, colegas e informação, propiciados pela mistura do real com o virtual.

2.2.3. Virtualidade Aumentada

A virtualidade aumentada pode ser definida como uma particularização da realidade misturada, quando o ambiente principal é virtual ou há predominância do virtual. Pode ainda ser definida como o enriquecimento do ambiente virtual com elementos reais pré-capturados ou capturados em tempo real.

Além de objetos estáticos, pode-se também levar objetos reais dinâmicos, como mãos e pessoas, para o ambiente virtual. Nesse caso, os objetos são capturados por câmeras de

vídeo, reconstruídos em tempo real, mantendo a animação, e levados ao mundo virtual, onde podem interagir.

Trabalhos como 3D Live [Prince, 2002], Mãos Colaborativas [Kirner, 2004a] e Teleconferência com Virtualidade Aumentada [Siscoutto, 2004] permitem a inserção de avatares (pessoas ou mãos) dentro do ambiente virtual para visitarem e interajam com o ambiente. Usando-se o software ARToolKit [ARToolKit, 2004], pode-se capturar a imagem de uma mão com um marcador preso a ela, mostrando-a em um monitor, ao mesmo tempo em que se faz a captura de sua posição. Com isto, pode-se colocar uma mão virtual sobreposta com a mão real, de forma que as duas se movimentem juntas. A mão real, conduzindo a mão virtual, pode assim tocar os objetos virtuais, analisando-se a colisão da mão virtual com os objetos virtuais. A eliminação das imagens reais vindas da câmera de vídeo, através do controle de parâmetros no ARToolKit [Providelo, 2004], permite mostrar somente os elementos virtuais e mão virtual "reconstruída", fazendo com que o ambiente funcione como virtualidade aumentada.

A virtualidade aumentada tem um potencial de uso bastante grande, na medida em que permite a inserção de avatares humanóides realistas no mundo virtual. Isto melhora as condições de infra-estrutura computacional para as pessoas se encontrarem para: trocar idéias, trabalhar em conjunto, fazer compras, estudar e interagir de muitas outras formas.

2.3. Sistemas de Realidade Misturada

A realidade misturada, abrangendo, tanto a realidade aumentada quanto a virtualidade aumentada, pode ser classificada de acordo com suas diversas formas de visualização [Milgran, 1994]:

- a) realidade aumentada com monitor (não imersiva) que sobrepõe objetos virtuais no mundo real;
- b) realidade aumentada com capacete (HMD) com visão óptica direta (see-through);
- c) realidade aumentada com capacete (HMD) com visão de câmera de vídeo montada no capacete;

d) virtualidade aumentada com monitor, sobrepondo objetos reais obtidos por vídeo ou textura no mundo virtual;

e) virtualidade aumentada imersiva ou parcialmente imersiva, baseada em capacete (HMD) ou telas grandes, sobrepondo objetos reais obtidos por vídeo ou textura no mundo virtual;

d) virtualidade aumentada parcialmente imersiva com interação de objetos reais, como a mão, no mundo virtual.

Além disso, uma definição mais precisa de realidade misturada envolve: a combinação do real com o virtual; a interação em tempo real e o alinhamento tridimensional do real e virtual [Azuma, 1997]. Para isso funcionar, há alguns problemas tecnológicos que precisam ser bem resolvidos, entre eles: rastreamento de objetos reais; alinhamento e calibração das sobreposições no ambiente tridimensional misturado e interação. Em geral, as soluções são específicas, exigindo uma delimitação bem definida para as aplicações, o que se constitui em obstáculos para aplicações de uso geral.

Por outro lado, um ambiente de realidade misturada, que permita a participação simultânea de várias pessoas, proporciona a realização de trabalhos colaborativos, usando interfaces e elementos inovadores mais potentes e motivadores.

A realidade misturada colaborativa baseia-se na existência de espaços reais e virtuais compartilhados acessados por várias pessoas localizadas no mesmo local ou remotas entre si [Benford, 1998], [Billinghurst, 1999]. No mesmo local, as pessoas visualizam e interagem com os elementos reais e virtuais, cada uma do seu ponto de vista, usando capacete com câmera e rastreadores, por exemplo. Como exemplo tem-se os projetos Studierstube e Magic Book, citados em [Azuma, 2001].

No caso de participantes remotos, uma solução é usar ambientes virtuais colaborativos, como espaço compartilhado, inserindo ali objetos virtuais reais como mãos ou pessoas interagindo. O projeto 3D Live [Prince, 2002] apresenta um processo de captura de conteúdo

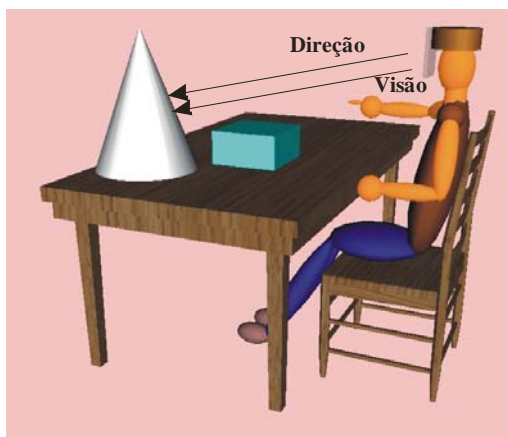
3D para uso em sistemas de realidade aumentada.

A realidade misturada colaborativa tem elevado potencial para ensino/aprendizagem, devido ao fato de poder trazer elementos virtuais interativos para o ambiente do usuário.

2.3.1. Tipos e Componentes de um Sistema de Realidade Aumentada

A realidade aumentada pode ser classificada de duas maneiras, dependendo da forma que o usuário vê o mundo misturado. Quando o usuário vê o mundo misturado apontando os olhos diretamente para as posições reais com cena óptica ou por vídeo, a realidade aumentada é de visão direta (imersiva). Quando o usuário vê o mundo misturado em algum dispositivo, como monitor ou projetor, não alinhado com as posições reais, a realidade aumentada é de visão indireta (não imersiva), conforme a Figura 2.4.

Na visão direta, as imagens do mundo real podem ser vistas a olho nu ou trazidas, através de vídeo, enquanto os objetos virtuais gerados por computador podem ser projetados nos olhos, misturados ao vídeo do mundo real ou projetados no cenário real. Na visão indireta, as imagens do mundo real e do mundo virtual são misturadas em vídeo e mostradas ao usuário.



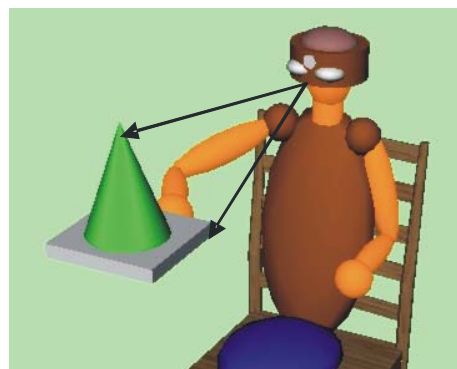
a) Visão Direta – Capacete Óptico



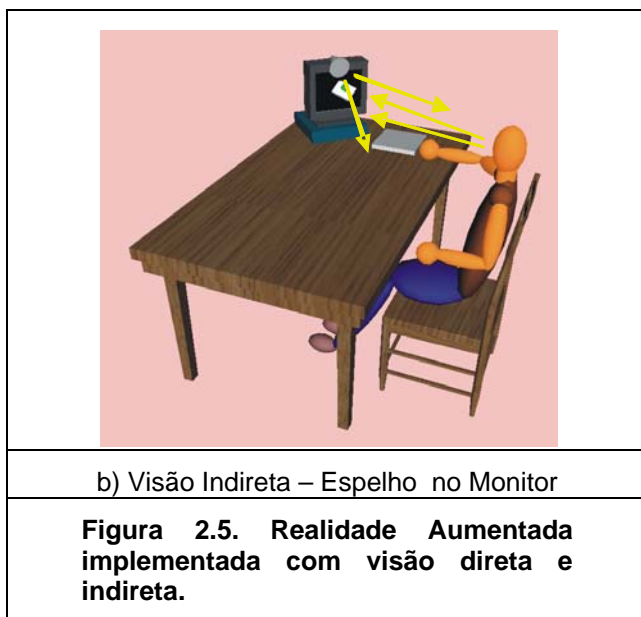
b) Visão Indireta - Monitor

Figura 2.4. Tipos de Realidade Aumentada baseados na visão

A realidade aumentada com visão direta pode ser implementada com o uso de: capacetes ópticos (visão óptica direta), capacetes com microcâmera acopladas (visão direta por vídeo) (Figura 2.5a), visualizadores de apontamento direto baseados em “handheld”, ou projeções de objetos virtuais no ambiente real. A realidade aumentada com visão indireta pode ser obtida com o uso de câmeras e monitores ou projeções. A câmera pode ser colocada em várias posições como: na cabeça da pessoa, gerando uma visão em primeira pessoa; atrás da pessoa, gerando uma visão em terceira pessoa; ou na frente da pessoa, direcionada para ela, gerando uma visão de espelho (Figura 2.5b).



a) Visão Direta com Capacete HMD



Outra forma de classificar sistemas de realidade aumentada (RA) baseia-se na tecnologia de visualizadores, consistindo de: visão óptica direta, visão direta baseada em vídeo; visão baseada em monitor; visão baseada em projetor [Milgram, 1994][Isdale, 2000].

Um sistema de realidade aumentada possui dois componentes básicos: hardware e software. O hardware envolve os dispositivos de entrada, displays, processadores e redes. O software inclui o software de realidade virtual mais posicionadores e misturadores de imagens, funções de interação e interfaces multimodais.

2.3.2. Hardware

O hardware de realidade aumentada pode usar dispositivos de realidade virtual, mas tende a não obstruir as mãos, que devem atuar naturalmente no ambiente misturado. Técnicas de rastreamento visual, usando visão computacional e processamento de imagens são importantes, nesse caso. Para aplicações em espaços abertos, o GPS é uma alternativa interessante para rastreamento. A miniaturização de recursos e a duração da carga da bateria são elementos importantes para garantir o conforto do usuário.

A potência de processamento principal e das placas de apoio, para tratar as necessidades de multimídia e realidade virtual, deve ser alta o suficiente para garantir a execução, em tempo real, das seguintes ações:

tratamento de vídeo; processamento gráfico 3D; geração de imagens misturadas; incorporação de som; execução háptica; controle multimodal; varredura de dispositivos de entrada com ênfase no rastreamento; etc.

2.3.3. Software

Ao mesmo tempo em que a realidade aumentada demanda recursos de hardware, ela também impõe desafios de software, na medida em que são desenvolvidas aplicações mais complexas e potentes. O software de realidade aumentada é usado na fase de preparação do sistema, através de ferramentas de autoria de ambientes misturados, e na fase de execução, como um suporte em tempo real.

Como ferramenta de autoria, o software de realidade aumentada é usado para implementar objetos virtuais e integrá-los ao ambiente real, incluindo alguns comportamentos. Ele pode usar elementos auxiliares para a captura de posições ou os próprios elementos do cenário real.

O ajuste dos objetos virtuais no espaço real, feito na calibração, pode ser interativo e visual ou baseado em parâmetros de posição. Alguns software de autoria são frameworks, que permitem tanto a preparação quanto a interação com objetos virtuais. Muitos deles importam objetos modelados previamente e gerados em linguagens ou bibliotecas como VRML [Web3D, 2006b], X3D [Web3D, 2006a], e OpenGL [ARTlab, 2006], por exemplo. Outros softwares de autoria encapsulam ferramentas mais simples, gerando sistemas mais complexos.

Dentre os softwares de autoria de realidade aumentada, pode-se citar: ARToolKit [Billinghurst, 2006], MRT [Freeman, 2005], Studierstube [Schmalstieg, 2002], Tiles [Poupyrev, 2001], APRIL [Ledermann, 2005], DART [MacIntyre, 2003], MARS [Guvem, 2003], AMIRE [Zauner, 2003], MXRToolKit [Mixed Reality Lab Singapore, 2006], LibTab [Technoteecture, 2005].

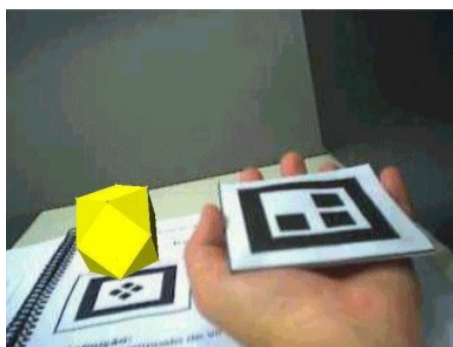
Como suporte em tempo real, o software de realidade aumentada deve promover o rastreamento de objetos reais estáticos e móveis e ajustar os objetos virtuais no cenário, tanto para pontos de vista fixos

quanto para pontos de vista em movimento. Além disso, o software de realidade aumentada deve permitir a interação do usuário com os objetos virtuais e a interação entre objetos reais e virtuais em tempo real. O armazenamento do cenário, com as posições e características dos objetos virtuais associados, pode servir para a fase de autoria ou continuação da interação, a partir de uma situação anterior. O suporte em tempo real também deve: atuar no controle da simulação/animação dos objetos virtuais colocados na cena; cuidar da visualização da cena misturada; e implementar a comunicação em rede para aplicações colaborativas.

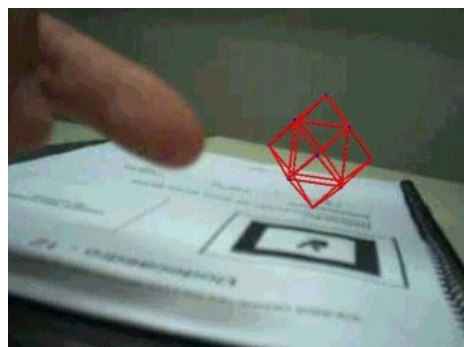
Da mesma maneira que a linguagem VRML é considerada um dos recursos mais populares da realidade virtual, o ARToolKit é

um dos recursos mais populares da realidade aumentada.

ARToolKit é uma biblioteca de software baseada nas linguagens C e C++, usada para o desenvolvimento de aplicações de realidade aumentada. Este ambiente de desenvolvimento baseia-se no uso de marcadores (cartões com uma moldura retangular e com um símbolo marcado em seu interior, funcionando como um código de barra), permitindo o uso de técnicas de visão computacional para calcular a posição da câmera real e sua orientação em relação aos marcadores, de forma a fazer com que o sistema possa sobrepor objetos virtuais sobre os marcadores (Figura 2.6). ARToolKit é um código aberto que possibilita alteração e ajustes para aplicações específicas.



a) Cartão Marcador



b) Objeto Virtual sobre o Marcador

Figura 2.6. Realidade Aumentada usando ARToolKit

2.3.4. Rede de Computadores

As vantagens da realidade aumentada, principalmente nos aspectos relacionados com a facilidade de interação no mundo misturado, fazem com essa tecnologia seja bastante apropriada para trabalhos colaborativos locais e remotos. Nas aplicações locais face-a-face, os usuários se vêem e interagem entre si e com os objetos reais e virtuais, mas em aplicações remotas, o cenário deve ser reconstruído em cada ponto da rede. Isto deve provocar um tráfego normal de informações de realidade virtual, complementado com um tráfego mais intenso de dados multimídia, contendo vídeo, texturas, sons, etc. A rede, nesse caso, pode sofrer saturação, em função do tráfego e dos requisitos de tempo real, restringindo o número máximo de usuários simultâneos, atuando na

aplicação, a um valor bem menor do que aqueles usados em aplicações colaborativas de realidade virtual similares. Técnicas de compressão, degradação na resolução de imagens, dead-reckoning, nível de detalhes e outras ações podem ser usadas para viabilizar a aplicação colaborativa em redes de baixa velocidade ou aumentar o número de usuários em uma rede. Essas mesmas técnicas podem ser usadas para acomodar usuários em redes heterogêneas com larguras de banda diferentes, estabelecendo qualidades da aplicação compatíveis com os recursos de cada usuário.

2.4. Interação em Ambientes de Realidade Aumentada

Inicialmente, os sistemas de realidade aumentada enfatizaram a visualização, sem preocupar-se como os usuários iriam interagir

com esses sistemas. Alguns sistemas limitaram-se a reproduzir, no ambiente de realidade aumentada, as interfaces gráficas já conhecidas em sistemas 2D e 3D, como menus de tela, reconhecimento de gestos, etc.

A interface com dispositivos engloba os recursos de hardware (dispositivos) e software especializado (drivers de dispositivos), que dão suporte para as interações. A realidade aumentada tende a utilizar dispositivos que o usuário não perceba, dando mais naturalidade as suas ações.

Além de usar as interfaces gráficas, os sistemas de realidade aumentada vêm apresentando duas tendências: explorar diferentes tipos de visualizadores e dispositivos; e integrar o mundo virtual com o mundo real, usando interfaces tangíveis [Azuma, 2001].

Visualizadores alternativos, como “handheld”, e dispositivos de controle especiais, explorando interações multimodais, estão sendo testados como elementos de interação em sistemas de realidade aumentada, permitindo a técnica de interação mundo em miniatura – “World In Miniature” (WIN) [Bell, 2002].

Interfaces tangíveis permitem interações diretas com o mundo físico, através das mãos ou de objetos e ferramentas reais como uma pазinha, por exemplo. Uma das maneiras mais simples e populares de implementação de interfaces tangíveis é conseguida no ambiente de realidade aumentada ARToolKit, usando vídeo “see-through”. A presença de um cartão marcador em frente à câmera faz com que o objeto virtual associado a ele seja colocado sobre ele. A manipulação do cartão com as mãos movimentam também o objeto virtual. Além do objeto virtual, sons podem ser iniciados, quando o cartão entra no campo de visão da câmera. Alguns cartões de controle podem ser implementados para interferir em objetos selecionados de outros cartões, fazendo alterações geométricas, troca de objetos, captura ou duplicação, deleção, etc. A seleção pode ser feita com um cartão de controle por aproximação física, inclinação, oclusão, etc. Com isto, os objetos podem ser alterados ou

reposicionados, gerando inúmeras aplicações, incluindo jogos e aplicações educacionais. O sistema Tiles explora esse tipo de interação [Poupyrev, 2001].

Outra aplicação interessante é o Magic Book [Billinghurst, 2001], que implementa a interface transicional AV-VR. O projeto, usando um livro físico, mostrando objetos e cenários virtuais em suas folhas, permite que o usuário use o livro fora do ambiente computacional; depois, ele pode entrar no ambiente de realidade aumentada, colocando o livro no campo de visão de uma webcam; e, finalmente, ele pode mergulhar no mundo virtual do livro, escondendo o vídeo do mundo real.

Uma alternativa, para o desenvolvimento de interfaces de realidade aumentada, consiste no uso de agentes virtuais, cujas ações são ordenadas pelo usuário, através de gestos e comandos de voz. Um agente pode mover objetos virtuais para que o usuário possa inspecioná-lo, por exemplo.

Pode-se, portanto, nos ambientes de realidade aumentada, realizar navegação, seleção, manipulação e controle do sistema.

2.5. Dispositivos de Realidade Misturada

A maioria dos dispositivos de realidade virtual pode ser usada em ambientes de realidade misturada, exigindo adaptações em alguns casos. As principais diferenças então nos visualizadores e rastreadores.

Os visualizadores de realidade aumentada exigem recursos que permitam a mistura do ambiente real com o virtual. Para isto, são usados quatro esquemas [Azuma, 2001]:

a) visualizadores baseados em monitores, constituindo monitores ou telas de projeção, mostrando a imagem capturada pela câmera de vídeo e misturada com objetos virtuais. O usuário pode entrar em cena e interagir com os elementos reais e virtuais, desde que consiga se ver no visualizador. Aplicações baseadas no ARToolKit, mostradas no monitor, funcionam desta maneira;

b) capacete com visão óptica direta, consistindo de um dispositivo com óculos

semitransparente inclinado, de forma a permitir a passagem da imagem real vista diretamente, além de refletir imagens geradas pelo computador e projetadas por miniprojetores posicionados acima dos óculos, conforme a Figura 2.7;

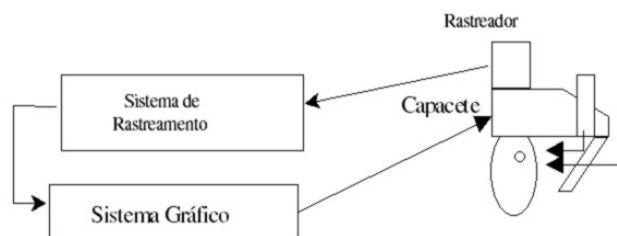


Figura 2.7. Capacete com visão óptica direta

c) capacete com visão de câmera de vídeo, consistindo de um capacete de visualização, usado em realidade virtual, com uma minicâmera presa a sua frente, apontada para onde o usuário estaria olhando. A imagem capturada pela câmera de vídeo, misturada com a imagem dos objetos virtuais gerada por computador, é mostrada ao usuário através do capacete, conforme Figura 2.8;

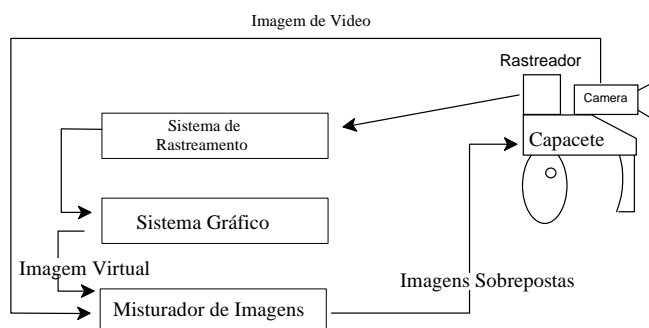


Figura 2.8. Capacete com visão de câmera de vídeo.

d) visualizadores de projeção, consistindo da projeção das informações virtuais diretamente sobre os objetos físicos, cujas características serão aumentadas. O usuário, nesse caso, não necessita de nenhum dispositivo especial. Esse tipo de visualizador é muito útil para incorporar detalhes a certos objetos ou mostrar suas partes internas, sem a necessidade de abrí-los ou desmontá-los.

Os rastreadores, que também servem para realidade virtual, evoluíram no sentido de serem mais precisos e mais fáceis de usar,

explorando principalmente o aspecto visual (rastreadores ópticos). Para espaços externos ou muito amplos, vem sendo usado o GPS (Global Positioning System) ou técnicas de visão baseadas em elementos fixos existentes no cenário.

2.6. Aplicações de Realidade Misturada

Da mesma maneira que a realidade virtual, a realidade misturada pode ser aplicada às mais diversas áreas do conhecimento, em muitos casos com vantagens adicionais por potencializar os ambientes reais.

Azuma [Azuma, 2001] agrupou as aplicações de realidade misturada em três áreas: aplicações móveis, aplicações colaborativas e aplicações comerciais, embora tenha enfatizado anteriormente aplicações em treinamento, inspeção e medicina.

As aplicações móveis incluem:

- visualizar anotações virtuais em edifícios, salas e outros elementos urbanos para orientar o usuário;
- mostrar ou recuperar prédios e outros elementos inexistentes ou em ruínas, enfatizando o planejamento urbano e a arqueologia;
- mostrar campos de batalha, em situações de treinamento militar;
- turismo.

As aplicações colaborativas envolvem: treinamento e montagem; ensino e aprendizagem; jogos e entretenimento; comércio; cirurgia; teleconferência, etc.

As aplicações comerciais, embora ainda em fase inicial, já estão usando anúncios na TV, em eventos culturais e esportivos, incluindo elementos virtuais de propaganda associados a elementos reais da cena exibida.

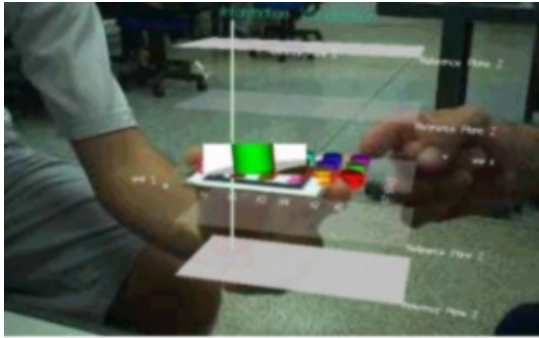


Figura 2.9. Visualização de dados com Realidade Aumentada.

Inúmeras aplicações de realidade misturada estão sendo desenvolvidas em laboratórios de pesquisa como: Studierstube [Studierstube, 2006] e Mixed Reality [Mixed Reality Lab Singapore, 2006], ou estão citadas em páginas como Jim Vallino [Vallino, 2004] e IUPUI [IUPUI, 2004].



Figura 2.10. Livro interativo com Realidade Aumentada

Essas aplicações consistem em: reparo mecânico, modelagem e projeto de interiores, cirurgia apoiada por computador, manufatura e diagnóstico de placas de circuito impresso, experimentação de roupas e adornos, manutenção de instalações industriais, reparo e manutenção de ruas e estradas, visualização de instalações embutidas, visualização de temperaturas em máquinas e tubos, ferramentas para educação e treinamento, exposições e museus virtuais, visualização de dados [Belcher, 2003], [Kirner, 2004b], conforme a Figura 2.9, e livro interativo [Akagui, 2004], conforme a Figura 2.10.

2.7. Comparação de Realidade Aumentada com Realidade Virtual

A realidade aumentada e a realidade virtual podem ser inseridas num diagrama que considera a dimensão da artificialidade e a dimensão do espaço [Benford, 1998], conforme a Figura 2.11.



Figura 2.11. Diagrama das artificialidades e espaços

Ambos os casos tratam de objetos gerados por computador, mas, no mundo físico, a realidade aumentada está ligada com a realidade física, enquanto a realidade virtual refere-se ao sentido de telepresença.

Assim, pode-se comparar realidade aumentada com realidade virtual [Bimber, 2004], levando-se em conta que:

- a realidade aumentada enriquece a cena do mundo real com objetos virtuais, enquanto a realidade virtual é totalmente gerada por computador;
- no ambiente de realidade aumentada, o usuário mantém o sentido de presença no mundo real, enquanto que, na realidade virtual, a sensação visual é controlada pelo sistema;
- a realidade aumentada precisa de um mecanismo para combinar o real e o virtual, enquanto que a realidade virtual precisa de um mecanismo para integrar o usuário ao mundo virtual.

2.8. Processamento da Realidade Aumentada

Um sistema de realidade aumentada possui vários módulos de processamento para tratar os aspectos de realidade virtual e do mundo real, que realizam a junção dos mundos e asseguram a interação do usuário e a interação entre objetos reais e virtuais.

Um ciclo de processamento pode ser resumido em: captura de vídeo e execução do rastreamento de objetos; processamento do sistema de realidade virtual, incluindo leitura de dispositivos e simulação/animação; calibração, misturando o real com o virtual; e renderização sensorial, envolvendo os aspectos visuais, auditivos e hápticos. Como o sistema funciona em tempo real e deve apresentar tempo de latência igual ou menor que 100 ms, o processamento envolvido é muito maior que aquele considerado durante a discussão do processamento de sistemas de realidade virtual. Agora, o processamento do sistema de realidade virtual é uma das partes de um conjunto maior e mais complexo, envolvendo também técnicas de multimídia.

2.8.1. Realidade Aumentada e Simulação

A realidade aumentada pode ser usada para visualizar dados e comportamentos de uma simulação, colocados no ambiente físico do usuário. Por outro lado, a simulação pode fazer parte do ambiente de realidade aumentada, implementando comportamentos específicos nos objetos virtuais misturados ao cenário aumentado.

2.8.2. Usando Simulação em Sistemas de Realidade Aumentada

Um dos objetivos da realidade aumentada é inserir objetos virtuais no mundo real, criando a ilusão de que todo o cenário é real. Para isto,

a simulação é usada para fazer com que os objetos virtuais tenham comportamentos apropriados, como movimentação, colisão, reação, simulação física, etc. Os comportamentos não precisam imitar a realidade, mas devem dar, aos elementos sintéticos, propriedades específicas. Como a simulação usa processamento intensivo, a plataforma computacional deve ter potência suficiente para executar todos os módulos em tempo real.

2.8.3. Usando Realidade Aumentada para Visualização de Dados e Comportamentos da Simulação

A realidade aumentada pode levar o ambiente simulado, seus dados e seu comportamento para o espaço do usuário, permitindo sua manipulação com: as mãos, ferramentas simples ou comandos multimodais. A simulação pode também ser integrada ao ambiente real, cujos resultados serão a ele incorporados, como a simulação do tráfego aéreo, sendo mostrado no aeroporto real. Nesses casos, as interações do usuário com o ambiente podem ocorrer de duas maneiras: o curso do mundo real pode ser modificado pelos objetos virtuais ou os objetos virtuais são forçados a operarem de acordo com as regras do mundo real [Gelembé, 2005].

Os objetos virtuais simulados poderão ser autônomos (inteligentes) ou controlados pelo usuário. Em qualquer dos casos, deverá haver uma interface do usuário para estabelecer parâmetros de comportamento ou realizar interação com o ambiente de realidade aumentada.

Em função da complexidade, a tendência é que o módulo de realidade virtual seja separado da simulação, uma vez que os objetos virtuais deverão ser atualizados e registrados no mundo físico, em tempo real.

2.9. Hiper-realidade

Assim como o virtual foi combinado com o real, o próximo passo é incrementar essa combinação, adicionando novos elementos para facilitar e potencializar a interação do usuário com os recursos de que necessita no dia a dia.

Surge, desta maneira, o conceito de hiper-realidade [Tiffin, 2001], cuja definição é a seguinte: hiper-realidade é a capacidade tecnológica de combinar realidade virtual, realidade física, inteligência artificial e inteligência humana, integrando-as de forma natural para acesso do usuário.

Ambientes de hiper-realidade permitirão que habitantes reais interajam com habitantes remotamente localizados, bem como com formas de vida imaginárias ou artificiais, geradas por computador, em um mundo misturado. Esse mundo será formado por pessoas, animais, insetos, plantas, terrenos, construções e objetos virtuais inteligentes, todos integrados. Com a visão do mundo misturado, cada usuário poderá enxergar o que lhe interessa, de acordo com seu perfil ou sua necessidade, e interagir com os objetos, de forma a ter suas necessidades satisfeitas. Como exemplo, o usuário, ao caminhar ou dirigir seu automóvel por uma cidade (usando um capacete de visão óptica direta), poderá fazer solicitações por comandos de voz e ver legendas virtuais nos prédios e ruas orientando-o ou mostrando opções como: o melhor caminho para chegar a um destino; restaurantes de determinados tipos ou padrões; entretenimentos específicos; lojas; supermercados; hospitais; e assim por diante.

Muito do que se desenvolveu na Internet para facilitar a vida do usuário, poderá ser transportado para o mundo misturado de forma gráfica e seletiva. Assim, nesse mundo misturado com hiper-realidade, as pessoas deverão ter satisfeitas muitas de suas necessidades, atuando num ambiente integrado inteligente, sendo atendidas de forma explícita ou implícita.

2.9. Referências

- Akagui, D., Kirner, C. (2004) "LIRA - Livro Interativo com Realidade Aumentada", Proc. of VII Symposium on Virtual Reality, SP, outubro de 2004.
- ARTLab (2006) "OpenGL: The Industry's Foundation for High Performance Graphics" <<http://www.opengl.org/>>
- ARToolKit (2004) "ArtoolKit versão 2.6 (with VRML support)"

- <http://www.hitl.washington.edu/research/shared_space/download>
- Azuma, R. (1997) "A Survey of Augmented Reality", Presence: Teleoperators and Virtual Environments, v .6, n.4, August, p. 355-385.
- Azuma, R. et al. (2001) "Recent Advances in Augmented Reality." IEEE Computer Graphics and Applications, v .21, n.6, p. 34-47.
- Belcher, et al. (2003) "Using Augmented Reality for Visualizing Complex Graphs in Three Dimensions." Proceedings of the Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'03), Tokyo, Japan, Oct., p. 84-92.
- Bell, B., Hollerer, T., & Feiner, S. (2002) "An Annotated Situation-Awareness Aid for Augmented Reality". In Beaudouin-Lafon, M. (Ed.), *15th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (pp. 213-216), Paris, France: ACM Press.
- Benford, S. et. al. (1998) "Understanding and Constructing Shared Spaces with Mixed Reality Boundaries". ACM ToCHI, v.5, N.3, p. 185-223.
- Billinghurst, M. (2006) "ARToolKit" <<http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>>
- Billinghurst, M., Kato, H. (1999) "Collaborative Mixed Reality", Proc. of the International Symposium on Mixed Reality, ISMR'99, Springer -Verlag, p. 261-284.
- Billinghurst, M., Kato, H., & I. Poupyrev, I. (2001) "The MagicBook - Moving Seamlessly between Reality and Virtuality". *IEEE Computer Graphics & Applications*, 21(3), 6-8.
- Bimber, O., (2004) "Augmented Reality - Part 1 - Introduction and Overview" <<http://www.uni-weimar.de/~bimber/Pub/AR/>>
- Freeman, R., Steed, A., & Zhou, B. (2005) "Rapid Scene Modelling, Registration and Specification for Mixed Reality Systems". In Chrysanthou, Y., & Darken, R. (Ed.), *ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology 2005* (pp. 147-150), Monterey, California: ACM Press.
- Galana, S.C., Silva, R.R.P.C.L., Kirner, C. (2004) "Autoria Colaborativa de Mundos Virtuais Educacionais com Realidade Misturada" Anais do 1º Workshop de Realidade Aumentada, Piracicaba, SP, maio de 2004, p. 17-20.
- Gelenbe, E., Kaptan, V., & Hussain, K. (2005) "Simulating Autonomous Agents in Augmented Reality". *Journal of Systems and Software*, 74, 255-268.
- Guvem, S., & Feiner, S. (2003) "Authoring 3D Hypermedia for Wearable Augmented and Virtual Reality". In *7th International Symposium on Wearable Computers* (pp. 118-126), White Plains, NY: IEEE Computer Society.
- Insley, S. (2003) "Obstacles to General Purpose Augmented Reality" <<http://islab.oregonstate.edu/koc/ece399/f03/final/insley2.pdf>>
- Isdale, J. (2000) "Augmented Reality". <http://vr.isdale.com/vrTechReviews/AugmentedReality_Nov2000.html>
- IUPUI (2004) "Augmented Reality Applications", <<http://www.cs.iupui.edu/~tuceryan/AR/applications.html>>
- Kawashima, T. et. al. (2001) "Magic Paddle: A Tangible Augmented Reality Interface for Object Manipulation", Proc. of ISMR2001, p. 194-195.
- Kirner, C. (2004) "Mãos Colaborativas em Ambientes de Realidade Misturada" Anais do 1º Workshop de Realidade Aumentada, Piracicaba, SP, p. 1-4.
- Kirner, C. et al. (2004) "Uso de Realidade Aumentada em Ambientes Virtuais de Visualização de Dados" Proc. of VII Symposium on Virtual Reality, SP.
- Ledermann, F. & Schmalstieg, D. (2005) "APRIL: A high-level Framework for Creating Augmented Reality Presentations". In *IEEE Virtual Reality 2005* (pp. 187-194), Bonn, Germany: IEEE Computer Society.

- MacIntyre, B., et. al. (2003) "DART: The Designer's Augmented Reality Toolkit". In *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp.329-330), Tokyo, Japan: IEEE Computer Society.
- Milgram, P. et. al. (1994) "Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum". *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, SPIE, V.2351, p. 282-292.
- Mixed Reality Lab Singapura (2006) "MXRToolkit".
<<http://mxrtoolkit.sourceforge.net/>>
- Poupyrev, I. et. Al. (2001) "Tiles: A Mixed Reality Authoring Interface". In Hirose, M. (Ed.) *Interact 2001 8th IFIP TC.13 Conference on Human Computer Interaction* (pp. 334-341), Tokyo, Japan: IOS Press.
- Prince, S. et. al. (2002) "3D Live: Real Time Captured Content for Mixed Reality" Proc. of the IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR'02, IEEE/ACM, p. 7-13.
- Providelo, C. et al. (2004) "Ambiente Dedicado para Aplicações Educacionais com Realidade Misturada" Proc. of VII Symposium on Virtual Reality, SP.
- Santin, R. et al. (2004) "Ações interativas em Ambientes de Realidade Aumentada com ARToolKit" Proc. of VII Symposium on Virtual Reality, SP.
- Schmalstieg, D., et. al. (2002) "The Studierstube Augmented Reality Project". *PRESENCE – Teleoperators and Virtual Environments*, 11(1), 32-54.
- Siscoutto, R. et al. (2004) "Augmented Virtuality Tele-conferencing", Proc. of VII Symposium on Virtual Reality, SP.
- Studierstube (2006) "Studierstube Augmented Reality Project". <<http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/>>
- Technotecture Labs (2005) "LibTap - Rapid Open Reality".
<<http://www.technotecture.com/projects/libTAP/>>
- Tiffin, J., Terashima, N. ed. (2001) "Hyper-reality: Paradigm for the Third Millennium". Routledge.
- Vallino, J. (2004) "Introduction to Augmented Reality",
<<http://www.se.rit.edu/~jrv/research/ar/>>
- Web3D Consortium (2006a) "X3D Documentation".
<<http://www.web3d.org/x3d/>>
- Web3D Consortium (2006b) "VRML Specifications".
<<http://www.web3d.org/x3d/specifications/vrml/>>
- Zauner, J., Haller, M., & Brandl, A. (2003) "Authoring of a Mixed Reality Assembly Instructor for Hierarchical Structures". In *The Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp.237-246), Tokyo, Japan: IEEE Computer Society.