

WRV' 97

**1º Workshop de Realidade Virtual
São Carlos, SP, 9-12 de Novembro de 1997**

MINI-CURSO

INTRODUÇÃO À REALIDADE VIRTUAL

**Prof. Dr. Claudio Kirner
Departamento de Computação
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
E-mail: ckirner@power.ufscar.br
<http://www.dc.ufscar.br/~grv/>**

**Prof. Marcio S. Pinho
Instituto de Informática
Pontifícia Univ. Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS
E-mail: pinho@music.pucrs.br
<http://www.tinos.inf.pucrs.br/~grv>**

Organização:

**Grupo de Realidade Virtual
Departamento de Computação
Universidade Federal de São Carlos**

SUMÁRIO

1. Introdução

2. Visão Geral de Realidade Virtual

2.1. Caracterização

2.2. Realidade Virtual Imersiva e Não imersiva

2.3. Tipos de Sistemas com Interfaces Não Convencionais

2.4. Configuração Genérica dos Sistemas com Interfaces não Convencionais

2.5. Modelos de Interação do Usuário Associados a Ambientes Virtuais

2.6. Uma Breve História da Realidade Virtual

3. Geração de Ambientes Virtuais por Computador

3.1. Estrutura de um Sistema de Realidade Virtual

3.2. Demanda Computacional da Realidade Virtual

3.3. Modelagem de Mundos Virtuais

3.4. Programação

3.5. Avaliação de Sistema de Realidade Virtual

3.6. Requisitos de um Sistema de Realidade Virtual

4. Plataformas para Aplicações de Realidade Virtual

4.1. Plataformas Baseadas em Microcomputadores

4.2. Plataformas Baseadas em Estações de Trabalho

4.3. Tipos de Sistemas Distribuídos de Realidade Virtual

4.4. Software de Desenvolvimento de Realidade Virtual

5. Aplicações de Realidade Virtual

5.1. Medicina

5.2. Educação

5.3. Laboratórios Virtuais de Física

5.4. Entretenimento

5.5. Treinamento

5.6. Visualização da Informação

5.7. Auditórios Virtuais ou Teatros de RV

5.8. Artes

5.9. Telepresença e Telerobótica

5.10 Anúncio Experimental

5.11. Sistemas de Manutenção usando Realidade Virtual

6. Dispositivos para Realidade Virtual

6.1. Graus de Liberdade

6.2. Visão Estéreo ou Visão Espacial

6.3. Dispositivos de Rastreamento

6.4. Luvas Eletrônicas

6.5. Dispositivos Geradores de Som 3D

6.6. Dispositivos Geradores de Sensação de Tato e Força

7. VRML - A Internet em 3 Dimensões

7.1. Introdução

7.2. Características

Referências Bibliográficas

1. Introdução

Realidade Virtual (RV) pode ser definida de uma maneira simplificada como sendo a forma mais avançada de interface do usuário de computador até agora disponível [46]. Com aplicação na maioria das áreas do conhecimento, senão em todas, e com um grande investimento das indústrias na produção de hardware, software e dispositivos de E/S especiais, a realidade virtual vem experimentando um desenvolvimento acelerado nos últimos anos e indicando perspectivas bastante promissoras para os diversos segmentos vinculados com a área.

Uma definição um pouco mais refinada de realidade virtual é a seguinte : “realidade virtual é uma forma das pessoas visualizarem, manipularem e interagirem com computadores e dados extremamente complexos” [6]. Agrupando algumas outras definições de realidade virtual [21, 57, 60], pode-se dizer que realidade virtual é uma técnica avançada de interface, onde o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multi-sensoriais.

A interface com realidade virtual envolve um controle tridimensional altamente interativo de processos computacionais. O usuário entra no espaço virtual das aplicações e visualiza, manipula e explora os dados da aplicação em tempo real, usando seus sentidos, particularmente os movimentos naturais tridimensionais do corpo. A grande vantagem desse tipo de interface é que o conhecimento intuitivo do usuário a respeito do mundo físico pode ser transferido para manipular o mundo virtual. Para suportar esse tipo de interação, o usuário utiliza dispositivos não convencionais como capacete de visualização e controle, luva, e outros. Estes dispositivos dão ao usuário a impressão de que a aplicação está funcionando no ambiente tridimensional real, permitindo a exploração do ambiente e a manipulação natural dos objetos com o uso das mãos, por exemplo, para apontar, pegar, e realizar outras ações.

Um sistema de realidade virtual envolve estudos e recursos ligados com percepção, hardware, software, interface do usuário, fatores humanos, e aplicações [16]. Para a elaboração de sistemas de realidade virtual é necessário ter algum domínio sobre: dispositivos não convencionais de E/S, computadores de alto desempenho e boa capacidade gráfica, sistemas paralelos e distribuídos, modelagem geométrica tridimensional, simulação em tempo real, navegação, detecção de colisão, avaliação, impacto social, projeto de interfaces, e aplicações simples e distribuídas em diversas áreas.

Este trabalho apresenta a teoria básica sobre realidade virtual, incluindo sua conceituação, história, modelos, etc., mostra as questões práticas envolvidas com hardware, software, aplicações, e dispositivos não convencionais de E/S, analisa algumas plataformas computacionais para realidade virtual, aborda realidade virtual distribuída e realidade virtual na internet, e finalmente fornece uma bibliografia e um conjunto de endereços na internet para facilitar o aprofundamento do assunto por parte do interessados.

2. Visão Geral de Realidade Virtual

2.1. Caracterização

Como foi visto na introdução, há várias definições aceitas para realidade virtual. Isto é devido, em parte, à natureza interdisciplinar da área, e também a sua evolução. De uma maneira ou de outra, os sistemas de realidade virtual acabaram vindo de sistemas computacionais de mesa, simuladores, sistemas de teleoperação, etc.

A realidade virtual também pode ser considerada como a junção de três idéias básicas : imersão, interação e envolvimento [68]. Isoladamente, essas idéias não são exclusivas de realidade virtual, mas aqui elas coexistem.

A idéia de imersão está ligada com o sentimento de se estar dentro do ambiente. Normalmente, um sistema imersivo é obtido com o uso de capacete de visualização, mas existem também sistemas imersivos baseados em salas com projeções das visões nas paredes, teto, e piso [26]. Além do fator visual, os dispositivos ligados com os outros sentidos também são importantes para o sentimento de imersão, como som [12], posicionamento automático da pessoa e dos movimentos da cabeça, controles reativos, etc. A visualização tridimensional através de monitor é considerada não imersiva.

A idéia de interação está ligada com a capacidade do computador detectar as entradas do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual e as ações sobre ele (capacidade reativa). As pessoas gostam de ficar cativadas por uma boa simulação e de ver as cenas mudarem em resposta aos seus comandos. Esta é a característica mais marcante nos video-games.

A idéia de envolvimento, por sua vez, está ligada com o grau de motivação para o engajamento de uma pessoa com determinada atividade. O envolvimento pode ser passivo, como ler um livro ou assistir televisão, ou ativo, ao participar de um jogo com algum parceiro. A realidade virtual tem potencial para os dois tipos de envolvimento ao permitir a exploração de um ambiente virtual e ao propiciar a interação do usuário com um mundo virtual dinâmico.

2.2. Realidade Virtual Imersiva e Não Imersiva

Outra questão importante está ligado com o fato da realidade virtual poder ser imersiva ou não imersiva. Como já foi visto, do ponto de vista da visualização, a realidade virtual imersiva é baseada no uso de capacete ou de salas de projeção nas paredes, enquanto a realidade virtual não imersiva baseia-se no uso de monitores. De qualquer maneira, os dispositivos baseados nos outros sentidos acabam dando algum grau de imersão à realidade virtual com o uso de monitores, mantendo sua caracterização e importância [83].

Embora a realidade virtual com o uso de capacetes tenha evoluído e seja considerada típica, a realidade virtual com monitor apresenta ainda assim alguns pontos positivos como : utilizar plenamente todas as vantagens da evolução da indústria de computadores; evitar as limitações técnicas e problemas decorrentes do uso de capacete; e facilidade de uso. Em alguns casos, como visualização, por exemplo, a realidade virtual com monitor é aceitável, mas com a evolução da tecnologia de realidade virtual a tendência será a utilização de capacetes ou salas de projeção para a grande maioria das aplicações.

2.3. Tipos de Sistemas com Interfaces Não Convencionais

No sentido de definir os sistemas que apresentam interfaces de hardware e software muito bem elaboradas envolvendo dispositivos e abordagens não convencionais, é importante tomar-se como base o relacionamento usuário/ambiente, de acordo com a figura 2.1 [61].

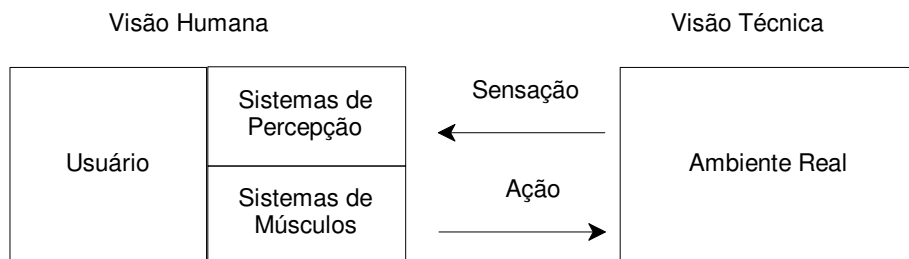


Figura 2.1 - Relacionamento Usuário / Ambiente

Nesse caso, assume-se que o ambiente seja composto pelo espaço físico, funções, processos, equipamento e conceitos. Ele é responsável por responder às ações do usuário com os estímulos que vão provocar a sensação. O ambiente no contexto desse modelo compõe-se dos espaços real e artificial. Em seguida, são definidos os sistemas de telepresença, realidade virtual, realidade aumentada e realidade melhorada, que têm em comum o acesso através de interfaces não convencionais.

2.3.1. Sistema de Telepresença

Telepresença é uma situação, onde uma pessoa está objetivamente presente num ambiente real que está separado fisicamente da pessoa no espaço [17, 90]. A telepresença que é implementada por mecanismos de teleoperação, consiste de um usuário, uma interface homem-máquina, um telerobô e um ambiente remoto, conforme a figura 2.2 [30, 90].

2.3.2. Sistema de Realidade Virtual

Consiste de um usuário, uma interface homem-máquina, e um computador, conforme a figura 2.3. O usuário participa de um mundo virtual gerado no computador, usando dispositivos sensoriais de percepção e controle. Um ambiente virtual pode ser projetado para simular tanto um ambiente imaginário quanto um ambiente real.

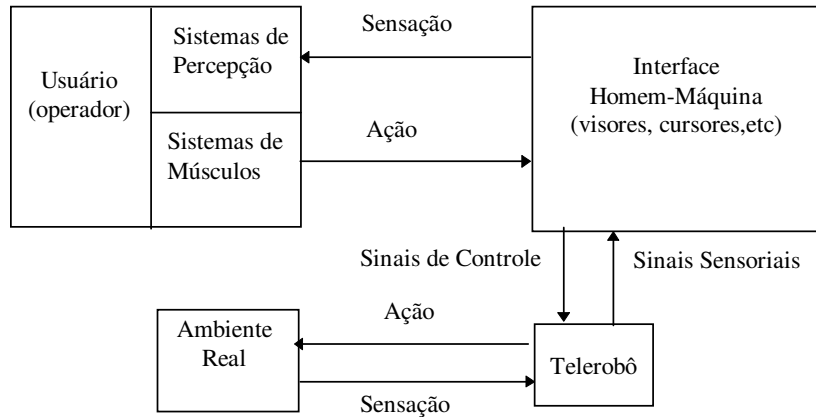


Figura 2.2 - Sistema de Telepresença

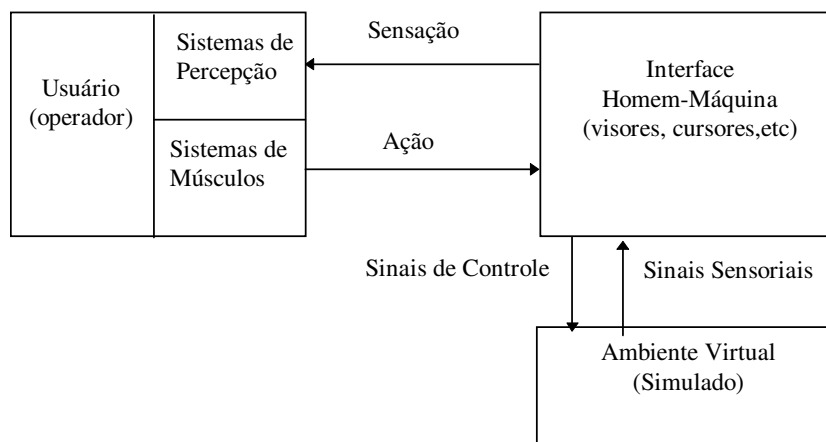


Figura 2.3 - Sistema de Ambiente Virtual (Realidade Virtual)

Os sistemas de telepresença e de realidade virtual são semelhantes na parte em que envolvem os usuários e as interfaces muito elaboradas. Eles diferem na atuação sobre o ambiente. Enquanto a telepresença faz com que a interface atue sobre o telerobô que vai atuar sobre o mundo real, o sistema de realidade virtual faz com que a interface atue diretamente sobre o computador que vai atuar sobre um mundo virtual ou um mundo real simulado. Em telepresença e em outros casos, onde possa haver dificuldades de transferência ou tratamento em tempo real de imagens reais complexas, a substituição do mundo real por um mundo virtual equivalente pode resolver o problema, na medida em que as imagens podem ser geradas localmente. As transferências de informações podem ser reduzidas a dados de posicionamento.

2.3.3. Sistema de Realidade Aumentada

É uma combinação da visão do ambiente real com o ambiente virtual [8, 11, 17, 38]. Esse tipo de sistema é obtido mesclando-se sistemas de telepresença e realidade virtual [55], conforme a figura 2.4 [30].

Geralmente, utiliza-se um óculos ou capacete com visor semitransparente, de forma que a visão do ambiente real possa ser sobreposta com a informação do ambiente virtual. Também é possível coletar a imagem real com uma câmera de vídeo e misturá-la com a imagem virtual antes de ser apresentada. Com isso é possível enxergar-se, por exemplo, um objeto real com o seu detalhamento interno gerado por realidade virtual. O ponto crítico desse tipo de sistema é a superposição exata do mundo virtual com o mundo real.

Um sistema típico de realidade aumentada baseado em vídeo é composto de um capacete de visualização com sistema de rastreamento de posição, sobre o qual é disposta uma câmera de vídeo, conforme a figura 2.5 [11]. Nesse caso, a imagem real é obtida pela câmera de vídeo montada sobre o capacete, enquanto que a imagem virtual é gerada por um computador que considera o posicionamento do rastreador. Um misturador combina as duas imagens e mostra o resultado final ao usuário.

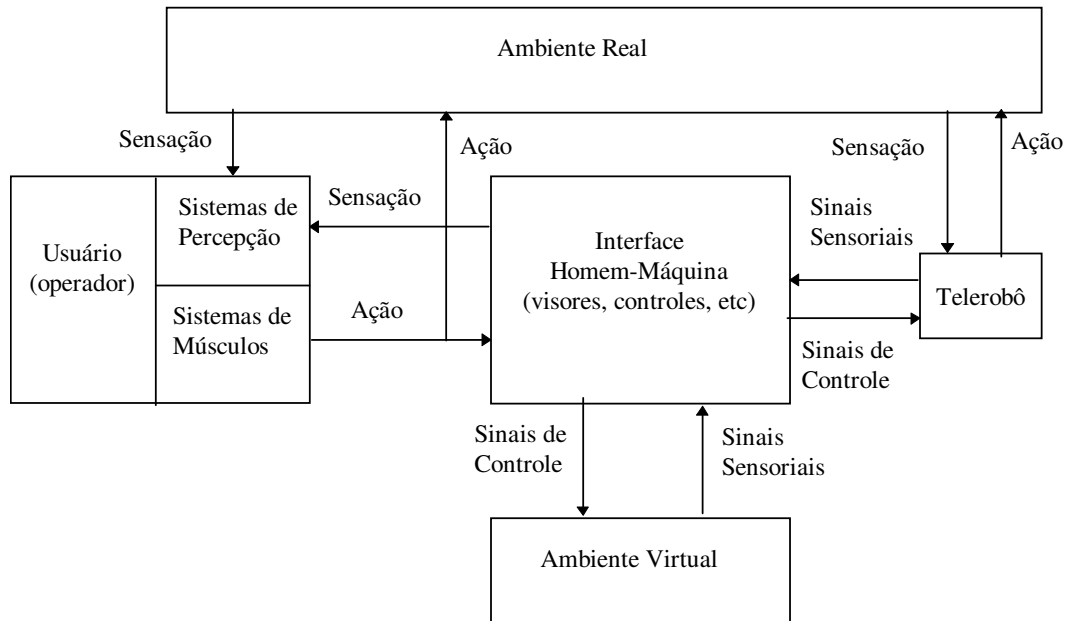


Figura 2.4 - Sistema de Realidade Aumentada

2.3.4. Sistema de Realidade Melhorada

É uma variação do sistema de realidade aumentada, onde um sistema de processamento de imagem gera informações adicionais para serem sobrepostas à imagem real. O resultado final pode ser tanto uma melhoria espectral quanto espacial [18], gerando transformações e anotações sobre a imagem. A geração de imagens obtidas através de ampliação do espectro visível do olho humano e a anotação de características específicas dos objetos como distância, tipo, etc., são exemplos de melhoria de uma imagem.

2.4. Configuração Genérica dos Sistemas com Interfaces não convencionais

Os vários tipos de sistemas com interfaces não convencionais podem ser agrupados de forma genérica em uma única configuração, conforme a figura 2.6 [30].

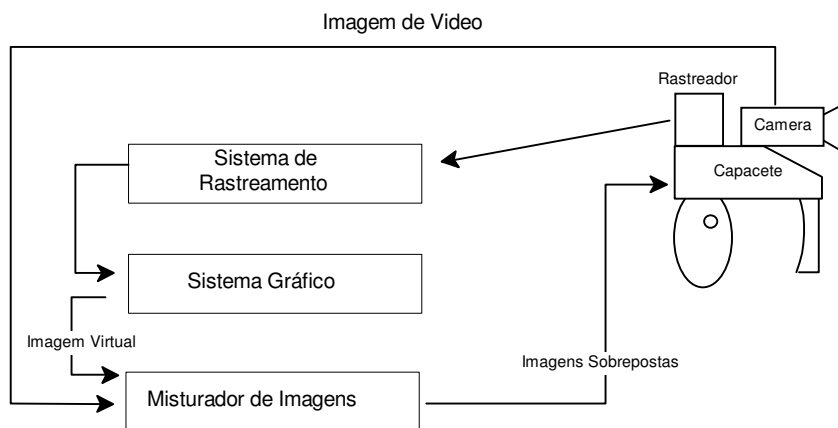


Figura 2.5 - Sistema de Realidade Aumentada Baseado em Vídeo

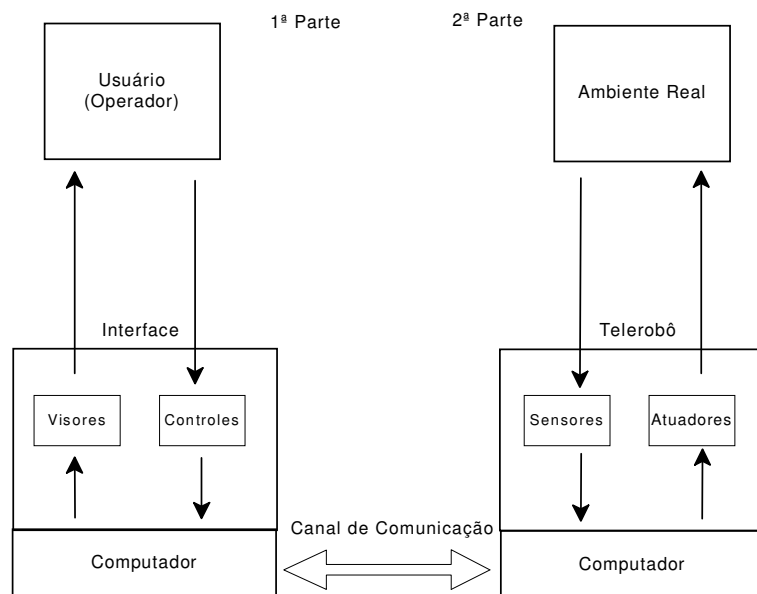


Figura 2.6 - Configuração Genérica dos Sistemas com Interfaces não Convencionais

Nesse esquema genérico, podem enquadrar-se os sistemas de telepresença, realidade virtual, realidade aumentada e realidade melhorada. Em todos eles, o usuário é projetado dentro de um ambiente novo e interativo, através de dispositivos eletrônicos não convencionais. Tanto o desempenho, quanto a experiência do usuário no novo ambiente, dependem fortemente da interface homem-máquina e das características de interação com o ambiente real ou virtual. A particularização da configuração pode ser feita através de várias maneiras:

- Se a primeira parte for desprezada, a segunda parte sozinha poderá transformar-se num robô autônomo, considerando-se que o computador seja utilizado para realizar seu controle;
- Se a segunda parte for desprezada e o computador for usado para gerar um ambiente virtual, o sistema será visto como um sistema de realidade virtual;
- Se as duas partes forem consideradas, mas o computador da primeira parte não for usado para gerar ambientes virtuais, limitando-se a repassar os sinais de sensação e controle, o sistema funcionará como um sistema de telepresença;
- Se as duas partes forem consideradas e o computador da primeira parte for usado para gerar ambientes virtuais e serem misturados com as visões reais, o sistema funcionará como um sistema de realidade aumentada, para ambientes virtuais normais, ou um sistema de realidade melhorada, para ambientes virtuais complementados com sinais de processamento de imagens e anotações.

2.5. Modelos de Interação do Usuário Associados a Ambientes Virtuais

Num cenário composto por um ou mais usuários, um mundo real e um ambiente virtual equivalente, existem várias maneiras do usuário comunicar-se com seus parceiros, com o mundo real e com o ambiente virtual. Restringindo a interação do usuário a uma mediação tecnológica, através do uso de dispositivos não convencionais e do ambiente virtual, pode-se reduzir as possibilidades a dois grupos: um onde o usuário participa isoladamente, e outro, onde há vários usuários interagindo entre si e com o ambiente [16]. De forma genérica, a interação mediada pode ser vista na figura 2.7

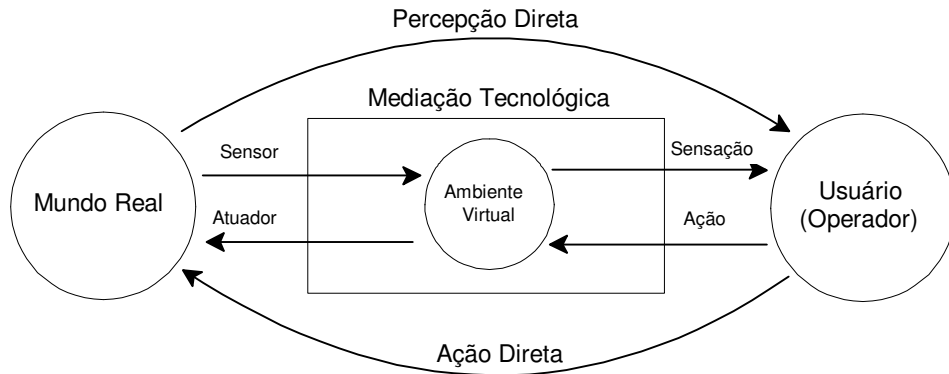


Figura 2.7 - Esquema de Interação com Mediação Tecnológica

2.5.1. Interação de um Único Usuário

A interação com mediação tecnológica de um único usuário pode ocorrer de quatro maneiras: como espectador; com participação real; com participação simulada; e sem participação ou possível supervisão, conforme a figura 2.8.

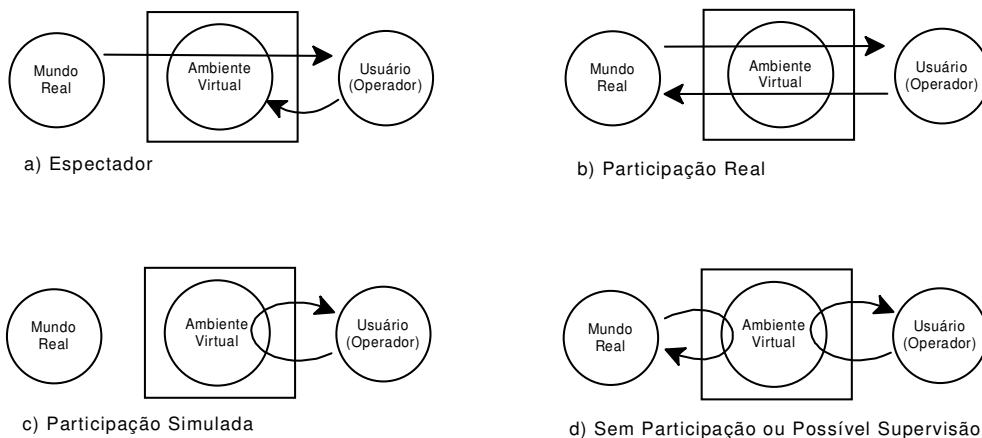


Figura 2.8. - Formas de Interação Mediada de Um Único Usuário

Na maioria dos casos, o ambiente virtual representa o mundo real, a menos da participação simulada, onde o ambiente virtual pode ser imaginário ou representar o mundo real.

No caso do Espectador tem-se, por exemplo, uma situação particular de sistema de telepresença que só faz inspeção; o caso da participação real é um exemplo típico de sistema de telepresença; o caso da participação simulada é um exemplo de sistema de realidade virtual; e o último caso(sem participação) corresponde ao exemplo de um robô com possibilidade de supervisão.

2.5.2. Interação de Vários Usuários

A interação de vários usuários pode ocorrer de três maneiras para: comunicação entre usuários; compartilhar o ambiente virtual; e realizar trabalho cooperativo no mundo real através do ambiente virtual compartilhado, conforme a figura 2.9 .

No caso de comunicação, os usuários trocam informações através do ambiente virtual; no caso de compartilhar o ambiente virtual, os usuários interagem entre si através do ambiente virtual; e no último caso, referente ao trabalho colaborativo, os usuários cooperam entre si no mundo real, através de sua representação como um ambiente virtual compartilhado. Também é possível que o trabalho colaborativo ocorra num ambiente virtual imaginário sem vinculação com o mundo real.

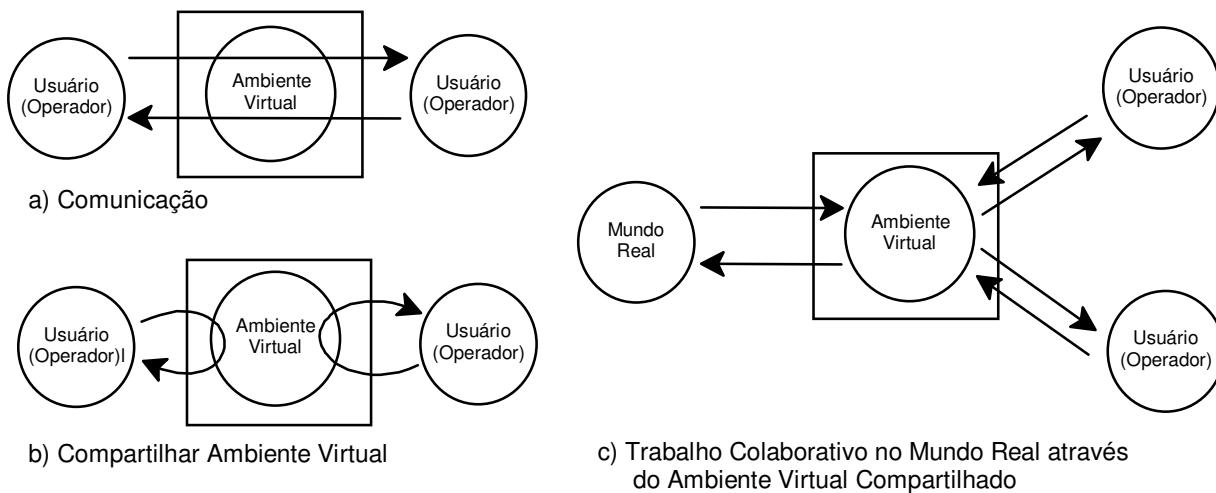


Figura 2.9 - Interação de Vários Usuários

2.6. Uma Breve História da Realidade Virtual

A introdução do cinerama e cinemascope, em meados da década de 50 é considerada uma das primeiras experiências em obtenção de realismo artificial [60, 109].

Logo em seguida, em 1956; Morton Heilig (um cineasta) desenvolveu um simulador baseado em vídeo denominado sensorama [21, 60, 58], que permitia ao usuário expor-se a uma combinação de visão tridimensional, som estéreo, vibrações, sensações de vento e de aromas num passeio simulado de motocicleta por Nova York. Embora o invento não tenha tido sucesso comercial, ele foi o precursor da imersão do usuário num ambiente sintético.

Em 1961, Comeau e Bryan descreveram o primeiro sistema de circuito fechado de televisão com o visor montado num capacete, produzido pela Philco. O sistema tinha um rastreador de posição no capacete e permitia ao usuário controlar remotamente uma câmera de televisão a partir dos seus movimentos da cabeça [58].

Em 1968, Ivan Sutherland construiu, na Universidade de Harvard, o primeiro capacete de visualização com imagens geradas por computador, incorporando um sistema de rastreamento da posição da cabeça. Esse trabalho é considerado por muitos como o marco inicial da imersão em ambiente virtual e início da realidade virtual.

Em 1977 e 1982 apareceram as primeiras luvas desenvolvidas respectivamente pelo grupo levado por Dan Sandin, Richard Soyre e Thomas Defanti na Universidade de Illinois e por Thomas Zimmerman para serem acoplados a computadores, e, em 1987, a empresa VPL Research Inc, da qual Zimmeman foi um dos fundadores colocou pela primeira vez produtos de realidade virtual no mercado com a comercialização da luva "Data Glove". Em seguida, a empresa também passou a vender um capacete de visualização chamado "Eye Phones".

A partir daí, o avanço das pesquisas, o elevado interesse industrial, o crescimento das aplicações e um número crescente de usuários vêm provocando um crescimento enorme na demanda de componentes e produtos de realidade virtual e uma redução rápida nos preços, movimentando um mercado multi-milionário de crescimento extraordinário.

3. Geração de Ambientes Virtuais por Computador

3.1. Estrutura de um Sistema de Realidade Virtual

A estrutura de um sistema de realidade virtual pode ser mostrada sob diferentes pontos de vista e graus de detalhamento. O diagrama de blocos da figura 3.1 fornece uma visão geral de um sistema de realidade virtual [21].

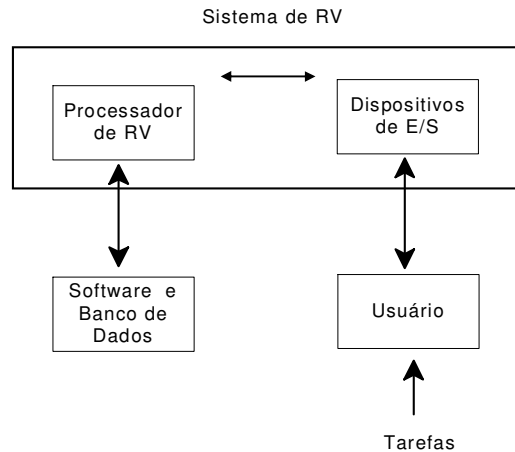


Figura 3.1 - Diagrama de Blocos de Um Sistema de RV

A interação do usuário com o processador de RV é intermediada pelos dispositivos de E/S. O processador de RV lê primeiramente a entrada do usuário e acessa o banco de dados para calcular as instâncias do mundo que correspondem aos quadros a serem mostrados em seqüência. Como não é possível prever as ações do usuário, os quadros devem ser criados e distribuídos em tempo real. Do ponto de vista de interface, um sistema de realidade virtual imersivo pode ser visto na figura 3.2 [58].

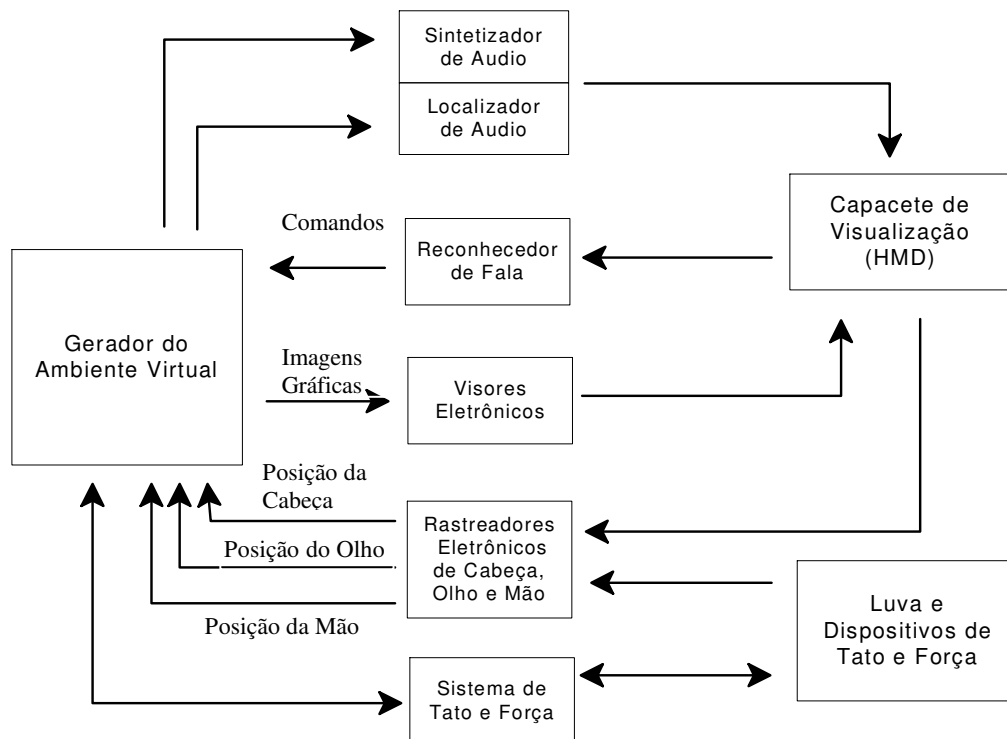


Figura 3.2 - Estrutura de um Sistema de RV Imersivo com Ênfase nas Interfaces

O gerador de ambiente virtual é um sistema de computação de alto desempenho que contém um banco de dados relativo ao mundo virtual. Este banco de dados contém a descrição dos objetos do ambiente virtual junto com a descrição dos movimentos dos objetos, seus comportamentos, efeitos de colisões, etc. Devido a necessidade de acesso e operação em tempo real, é necessário dispor-se da quantidade de memória suficiente, bem usar técnicas de compressão de informação que não prejudiquem as restrições de

tempo. As imagens devem ser geradas com um atraso aceitável para não provocar desconforto ao usuário. Da mesma maneira, todas as características sensoriais relacionadas com interfaces deverão ser tratadas em tempo real para que o usuário tenha a impressão de estar imerso e interagindo com o mundo virtual.

De um ponto de vista mais detalhado, a estrutura de um sistema de realidade virtual pode ser vista de acordo com a figura 3.3 [30]. Nessa estrutura, o usuário é conectado ao computador através dos dispositivos multi-sensoriais. Cada modalidade sensorial requer uma simulação preparada especialmente para seu caso específico. Uma atuação unificada é necessária para coordenar as várias modalidades sensoriais e sincronizá-las. Finalmente, as informações devem ser difundidas pela rede de forma a manter a consistência do ambiente simulado distribuído.

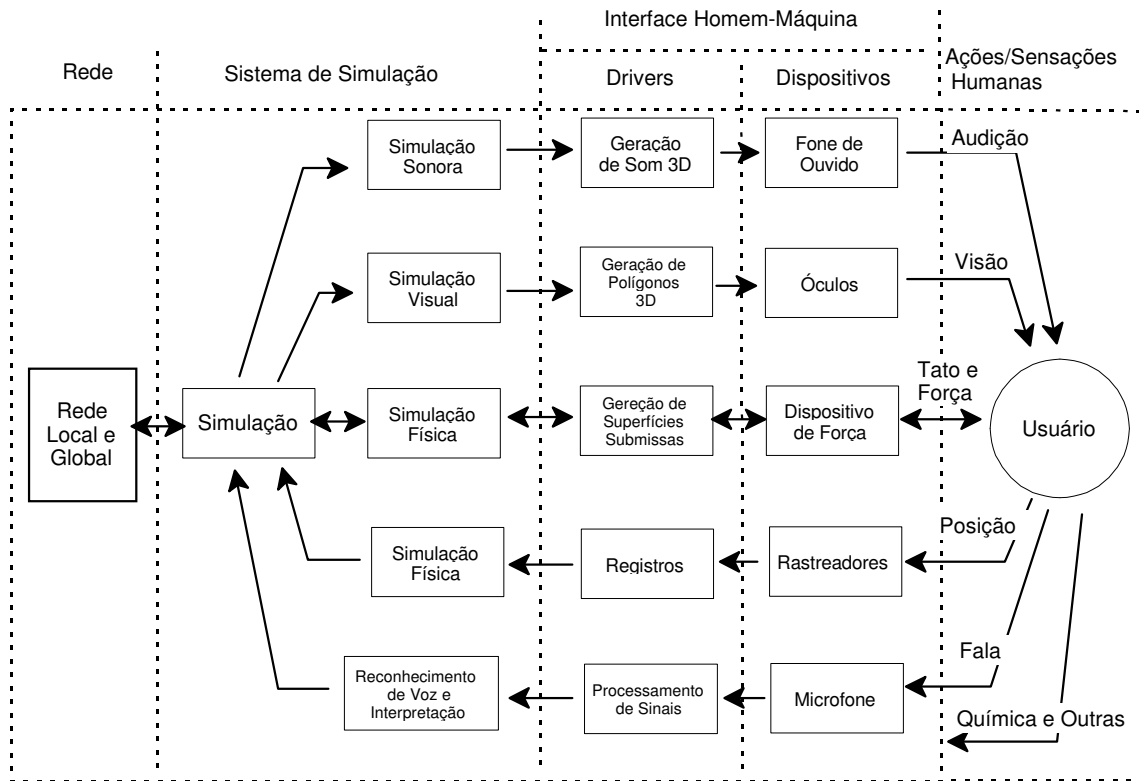


Figura 3.3 - Estrutura Detalhada de Um Sistema de RV

3.2. Demanda Computacional da Realidade Virtual

Grande parte da ênfase do projeto de sistemas de realidade virtual tem sido estabelecida pelas restrições de geração da cena visual. Entretanto, muitos dos assuntos envolvidos na modelagem e geração das características de audição e tato/força do sistema são semelhantes ao domínio visual. Os requisitos para interação, navegação e comunicação em um mundo virtual são comuns a várias modalidades sensoriais.

No caso de geração da cena visual, o sistema requer taxas altas de quadros por segundo e respostas rápidas, em função de sua natureza interativa. O conceito de quadros é proveniente da animação baseada em uma sucessão rápida de uma seqüência de fotografias, como acontece em um filme de cinema. A taxa ideal da troca de fotos é de 20 quadros por segundo ou mais, para manter a ilusão de movimento. As taxas de quadros por segundo podem ser examinadas do ponto de vista gráfico, computacional e de acesso aos dados, de forma independente. A taxa mais crítica é a do ponto de vista gráfico, pois está ligada com a sensação de presença ou imersão, sendo o mínimo aceitável da ordem de 8 a 10 quadros por segundo. Nesse caso, a taxa mínima de quadros do ponto de vista computacional e de acesso a dados deverá também ser de 8 a 10 quadros por segundo, para sustentar a taxa de quadros do ponto de vista gráfico.

Para aplicações com controle interativo, são necessários tempos de resposta bem rápidos. Os atrasos também podem ser classificados do ponto de vista gráfico, computacional de acesso a dados e não devem ser inferiores a 0,1 segundo. Quanto maior a freqüência de movimento de algum objeto da cena,

maior deverá se manter a taxa de quadros e menor o atraso, para manter-se a sensação confortável de animação. A taxa de quadros do ponto de vista gráfico depende de: complexidade gráfica; iluminação; sombreadamento; e textura.. Do ponto de vista de acesso aos dados e computacional, a taxa de quadros está relacionada com a complexidade do ambiente e com a quantidade de objetos dinâmicos. Isto vai se refletir no tempo de acesso e no tempo de simulação, definindo os atrasos.

A maneira mais comum de criar-se imagens gráficas tridimensionais por computador baseia-se no uso dos polígonos. Foi estimado que uma cena realista detalhada requer aproximadamente 80 milhões de polígonos[30]. Para mostrar este mundo virtual a 10 quadros por segundo, por exemplo, seria necessário uma taxa de 800 M de polígonos por segundo, o que está longe da capacidade tecnológica atual. Para se ter uma idéia, as taxas recentes de máquinas Silicon Graphics, com aceleradores gráficos avançados estão em torno de 2 M triângulos por segundo e 600k polígonos por segundo. Um microcomputador PC com acelerador gráfico apresenta um desempenho de dezenas de K polígonos por segundo, enquanto que as estações de trabalho estão na faixa de centenas de K polígonos por segundo.

Considerando-se um mundo virtual pouco complexo com cerca de 6000 polígonos e um computador com desempenho de 300.000 polígonos por segundo, então o sistema deverá funcionar com uma taxa de 50 quadros por segundo para mostrar o mundo virtual. Se o mundo virtual for um pouco mais detalhado, com 15.000 polígonos, a taxa cairá para 20 quadros por segundo no mesmo computador. Portanto, para uma taxa mínima de quadros por segundo sempre haverá uma complexidade máxima do mundo virtual. Para realidade virtual estereográfica, haverá a necessidade de 2 cenas (uma para cada olho), o que provocará a queda no desempenho. Mesmo usando-se dois aceleradores(um para cada olho) haverá queda de desempenho devido a sobrecarga de computação e sincronização.

3.3. Modelagem de Mundos Virtuais

A modelagem de mundos virtuais é de fundamental importância num sistema de realidade virtual, definindo as características dos objetos como: forma; aparência; comportamento; restrições; e mapeamento de dispositivos de E/S. Para isto, os sistemas de desenvolvimento de realidade virtual levam em conta os diversos aspectos de modelagem, mapeamento e simulação, conforme a figura 3.4 [21].

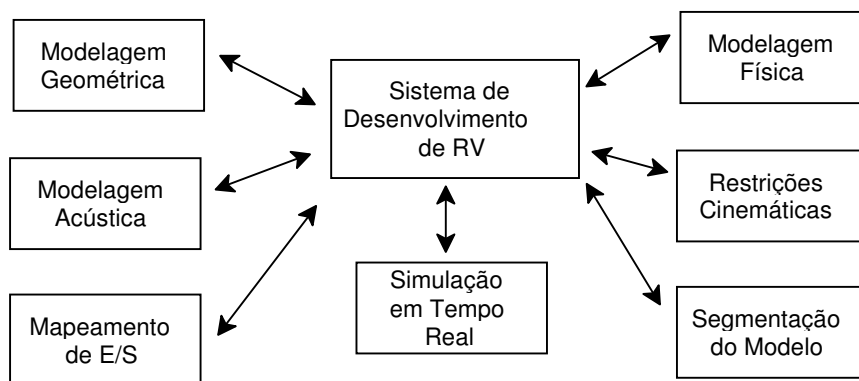


Figura 3.4 - Sistema de Desenvolvimento de RV

3.3.1 Modelagem Geométrica

A modelagem geométrica abrange a descrição da forma dos objetos virtuais através de polígonos, triângulos ou vértices, e sua aparência, usando textura, reflexão da superfície, cores, etc.

A forma poligonal dos objetos pode ser criada, usando-se bibliotecas gráficas, como a biblioteca GL, ou usando-se modelos prontos de bancos de dados comerciais ou digitalizadores tridimensionais. Os objetos também podem ser criados por programas CAD, como AutoCAD ou 3-D Studio, ou com o uso de editores de realidade virtual.

A aparência dos objetos esta relacionada principalmente com as características de reflexão da superfície e com sua textura. A reflexão da superfície depende do modelo de iluminação de Phong e sombreadamentos do tipo: facetado; por interpolação de Gourad; ou interpolação de Phong [110]. O sombreadamento facetado é o mais simples e menos realista, enquanto o de Phong é o mais complexo e mais realista.

A textura dos objetos é obtida a partir do mapeamento de um padrão de textura do espaço bidimensional sobre os objetos tridimensionais. Isto se dá como se um pedaço de plástico com o padrão da textura fosse ajustado e colocado sobre o objeto, fazendo parte integrante dele [110]. A textura oferece várias vantagens para a realidade virtual, uma vez que aumenta o nível de detalhe e de realismo de cena, fornece várias melhor visões de profundidade, e permite a redução substancial do número de polígonos da cena, propiciando o aumento da taxa de quadros por segundo [21]

3.3.2. Modelagem Cinemática

A modelagem geométrica de um objeto não é suficiente para conseguir uma animação. Para isto, deve ser possível agarrar o objeto, alterar sua posição, mudar a escala, detectar colisões e produzir deformações na superfície. A utilização de coordenadas locais dos objetos e de coordenadas gerais, juntamente com matrizes de transformação, permitirão a alteração das posições e as mudanças de escala [87,84]

Para a detecção de colisão entre objetos móveis e outros objetos móveis ou estáticos há diversos métodos. Desde que as colisões devam ser detectadas em tempo real, procura-se normalmente processos eficientes para isso. Uma solução, normalmente adotada, é a abordagem hierárquica: os objetos irregulares ou não são envolvidos por sólidos simples como esferas ou paralelepípedos e faz-se uma análise de interferência ou sobreposição [43]. Se não houver nenhuma sobreposição, não haverá colisão, mas se houver, o risco existirá e outros métodos mais refinados e custosos serão aplicados. Como resultado de uma colisão poderá ocorrer deformação nos corpos envolvidos, ou simplesmente uma explosão, quando tratar-se de veículos ou aeronaves.

3.3.3. Modelagem Física

Visando a obtenção de realismo nos mundos virtuais, os objetos virtuais, incluindo a imagem do usuário precisam comportar-se como se fossem reais. No mínimo, os objetos sólidos não poderão passar um pelo outro e as coisas deverão mover-se de acordo com o esperado, quando puxadas, empurradas, agarradas, etc. Nesse sentido, os objetos virtuais também deverão ser modelados fisicamente pela especificação de suas massas, pesos, inércia, texturas (lisas ou ásperas), deformações (elásticas ou plásticas), etc. Essas características, juntas com a modelagem geométrica e com as leis de comportamento, determinam uma modelagem virtual próxima da realidade. A simulação mecânica do mundo virtual, para ser realista, deverá ser executada de maneira confiável, contínua, automática e em tempo real.

3.3.4. Comportamento do Objeto

As modelagens anteriores limitaram-se à modelagem matemática das propriedades cinemáticas e físicas dos objetos, visando uma resposta realista às ações do usuário. Também é possível modelar o comportamento de objetos independentes do usuário, como relógio, calendário, termômetro e outros agentes inteligentes independentes, acessando quando necessário alguns sensores externos.

3.3.5. Segmentação e Alteração de Detalhes

A modelagem geométrica e física de mundos virtuais com muitos objetos deverá resultar em um modelo muito complexo, difícil e caro de ser mostrado. Normalmente, esses mundos possuem vários espaços específicos, distâncias razoáveis e objetos móveis com velocidades diferentes.

O problema da complexidade pode ser contornado por segmentação do mundo, alteração do nível de detalhe dos objetos, alteração de resolução de imagens, pré-computação, etc.

A segmentação do mundo baseia-se na divisão do mundo geral em mundos menores, de forma que somente os objetos do mundo menor sejam mostrados. É o caso de uma casa com diversas salas, onde cada sala é um mundo menor. Embora o mundo geral seja muito complexo, a visão do usuário sempre será mais simples.

No caso de espaços abertos, envolvendo longas distâncias, os objetos distantes perderão automaticamente seus detalhes por ficarem muito pequenos, mas continuarão demandando esforço computacional. Uma solução obtida nestes casos é manter-se descrições dos objetos com diferentes níveis de detalhes de forma que, quanto mais distante estiver, mais simples será o objeto a ser mostrado.

Uma abordagem semelhante é usada para cenas de movimentação. Objetos que estejam movendo-se rapidamente, não conseguem ser vistos claramente. Assim pode-se representar os objetos rápidos de maneira simplificada, conseguindo o mesmo efeito e economizando processamento.

Em alguns casos, une-se também tamanhos diferentes de janela, para cenas onde o usuário esteja parado (janela grande) ou em movimentação (janela pequena), alterando assim a resolução. Usa-se também a pré-computação para mapear previamente texturas complexas, mas isto pode limitar a interação não permitindo a deformação de objetos, por exemplo.

3.4. Programação

A programação de realidade virtual requer o conhecimento de sistemas em tempo real, orientação a objetos, redes, modelagem geométrica, modelagem física, multitarefas, etc. Para facilitar essa tarefa, diversas empresas e algumas universidades produziram sistemas de desenvolvimento de realidade virtual, conhecidos como “VR ToolKits”. Esses sistemas são bibliotecas ampliáveis de funções orientadas a objeto, voltadas para especificações de realidade virtual, onde um objeto simulado passa a ser uma classe e herda seus atributos inerentes (default). Isto simplifica enormemente a tarefa de programar mundos complexos, uma vez que as bibliotecas, sendo ampliáveis, permitem aos projetistas escreverem módulos específicos de aplicações e ainda usar o mesmo núcleo de simulação. Além disso, esses sistema costumam ser independentes de hardware, suportam alguma forma de conexão em rede, importam mundos virtuais de outros softwares como o AutoCAD, possuem drivers de comunicação com dispositivos convencionais e não convencionais de E/S, suportam alguma forma de iluminação, sombreamento, textura, etc.

Uma ferramenta, muito útil para a construção e simulação dos mundos virtuais, é o editor de realidade virtual, que permite ao projetista verificar imediatamente os resultados da criação ou edição de objetos simulados. Uma organização desse tipo de ferramenta consta na figura 3.5 [21].

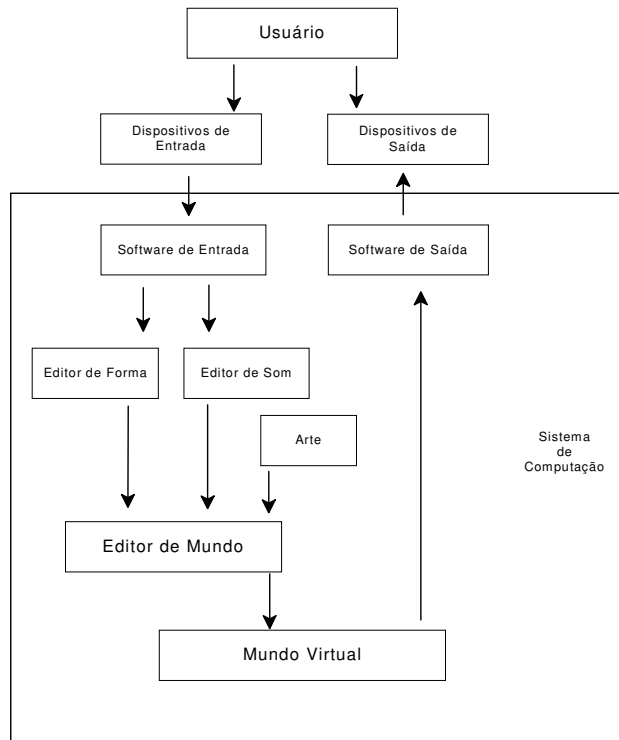


Figura 3.5 - Uma Estrutura de Sistema de Desenvolvimento de RV

Durante a simulação, as entradas do usuário, através dos dispositivos de E/S são submetidos como eventos ao programa simulador, devendo ser lidos em tempo real para minimizar a latência. Esses dados são usados para atualizar a posição, forma, velocidade, etc, dos objetos virtuais, e alguns dados de sensores são usados para os objetos independentes. Tanto a cena, quanto as outras saídas (som, tato, força, etc.) são fornecidas durante o ciclo de simulação em tempo real. A figura 3.6 mostra o ciclo de simulação do sistema de desenvolvimento da SENSE 8, denominado World ToolKit [92].

Os sistemas de desenvolvimento de realidade virtual, portanto, ajudam na integração do sistema e no desenvolvimento das aplicações, podendo reduzir substancialmente o tempo de programação.

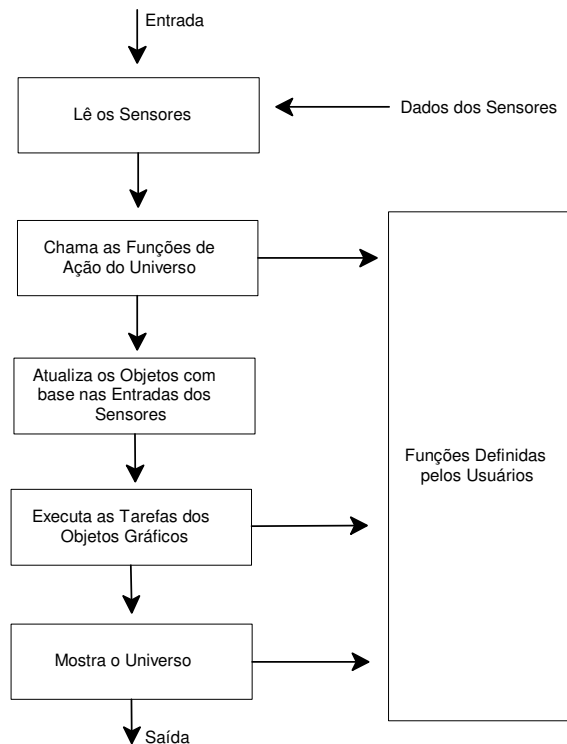


Figura 3.6 - Ciclo de Simulação do *World Tool Kit*

3.5. Avaliação de Sistema de Realidade Virtual

A principal característica de um sistema de realidade virtual é o envolvimento humano através da imersão sensorial. Com parâmetros humanos envolvidos no sistema, a sua avaliação torna-se subjetiva, mas essencial em função das questões tecnológicas, da qualidade da aplicação, e do impacto psicológico e social.

A avaliação do sistema de realidade virtual deve ajudar a garantir que :

- As capacidades e limitações dos seres humanos, bem como as necessidades específicas de determinadas tarefas, estarão sendo consideradas no projeto do sistema;
- O hardware e o software estarão fornecendo o ambiente virtual com bom índice relacionado com custo e benefício;
- A aplicação representará uma melhoria significativa na maneira de fazer coisas conhecidas ou permitirá fazer coisas novas que não tenham sido feitas até então.

Embora muitas ferramentas de avaliação possam ser adaptadas para uso em sistemas de realidade virtual, outras ferramentas precisam ser utilizadas, para avaliar as propriedades específicas dessa tecnologia. Dentro desse contexto, a avaliação do sistema de realidade virtual deverá considerar : (1) a atuação dos dispositivos e os fatores ergonômicos gerais; (2) os aspectos gráficos e sua influência na visão; (3) a influência na taxa de quadros por segundo; (4) a percepção de profundidade; (5) a discriminação das cores visuais; (6) os aspectos visuais; (7) as questões auditivas; (8) as questões de tato e força; (9) o comportamento, o desempenho e as consequências da simulação; e (10) outras características específicas.

3.6. Requisitos de um Sistema de Realidade Virtual

Um sistema de realidade virtual de grande porte é caro e complexo, em função de todos os recursos envolvidos. Para que o projeto do sistema e a elaboração das aplicações sejam bem sucedidos, é necessário que sejam satisfeitos ou perseguidos um conjunto de requisitos.

3.6.1. Requisitos da Interface do Usuário.

De acordo com Cris Shaw [93], existem cinco requisitos e propriedades que um sistema de realidade virtual deve satisfazer para ser utilizável e utilizado com satisfação, ou seja:

a) Um sistema de RV deve gerar imagens estereoscópicas animadas suaves para capacetes de visualização (HMD), visando manter a característica de imersão. Isto significa que a taxa de quadros por segundo deve ser igual ou maior que 10;

b) Um sistema de RV deve reagir rapidamente às ações do usuário. A resposta do sistema deve apresentar atrasos de imagens iguais ou menores que 100ms;

c) Um sistema de RV deve fornecer suporte para distribuir uma aplicação em diversos processadores. Isto visa aplicações distribuídas e complexas, onde a distribuição permite múltiplos usuários e a computação cooperativa.

d) Num sistema distribuído de RV, é necessário um mecanismo eficiente de comunicação de dados. A utilização de dados compartilhados ou remotos deve ser viabilizada com uma comunicação eficiente para assegurar a característica de tempo real do sistema.

e) É necessário algum mecanismo de avaliação de desempenho do sistema de RV. Um sistema do desenvolvimento de RV deve ter mecanismos de monitoração do tempo real e do desempenho geral da aplicação para garantir o sucesso do conjunto.

Dentre estes requisitos, os mais importantes para uma interface de realidade virtual são aqueles relacionados com a taxa de quadros por segundo e com o atraso da resposta do sistema, garantindo a imersão no ambiente.

3.6.2. Requisitos de Engenharia de Software

Do ponto de vista da engenharia de software pode-se citar os quatro requisitos [93] a seguir:

a) Portabilidade das aplicações. Normalmente as aplicações de realidade virtual são fortemente ligadas com o ambiente de desenvolvimento. As aplicações deverão ter facilidades para execução em diversas instalações, exigindo no máximo uma recompilação do código;

b) Duporte para uma larga faixa de dispositivos de E/S. Como a tecnologia de hardware de realidade virtual ainda está se expandindo, o sistema deverá ter capacidade de acomodar novos dispositivos;

c) Independência das aplicações com relação à localização física do usuário e de seus dispositivos de E/S. O sistema deverá ajustar-se a diferentes configurações de localização física do usuário (geometria da sala e situação dos rastreadores) e de seus dispositivos de E/S;

d) Flexibilidade de ambiente de desenvolvimento de aplicações de realidade virtual. Muitas vezes a aplicação é desenvolvida num ambiente e executada em outro. O sistema deve ter a flexibilidade para permitir a utilização de ambientes de desenvolvimento diferentes, bem como a execução de testes com outros dispositivos, com o mínimo de alteração do código.

Desta maneira, as características principais de um sistema de realidade virtual estão na portabilidade e na flexibilidade das aplicações.

3.6.3. Requisitos para a definição de um sistema de realidade Virtual

A montagem de um sistema de realidade virtual requer um cuidadoso planejamento, em função da variedade de componentes e preços e da qualidade desejada para o conjunto. Para isto, ela deve satisfazer uma série de requisitos e características enumeradas a seguir [42]:

Definição da aplicação;

Caracterização da imersão;

Avaliação dos dispositivos de visualização;

Estabelecimento das capacidades de rastreamento;

Avaliação de outros dispositivos de E/S;

Avaliação do conjunto de recursos e capacidades;

Seleção do sistema de desenvolvimento de realidade virtual:

 Criação e edição da geometria;

 Criação e edição de texturas;

 Requisitos de programação;

 Caracterização da visão estereoscópica;

 Modelagem do comportamento físico;

 Suporte a periféricos;

 Requisitos do sistema;

 Portabilidade;

 Suporte de rede;

Suporte de distribuição.

Seleção do hardware:

- Quantidade e características das portas e slots;
- Características do acelerador gráfico;
- Conversores de sinais de vídeo;
- Capacete de visualização (HMD);
- Monitor externo;
- Óculos estereoscópico;
- Rastreadores / posicionadores;
- Navegadores 3D;
- Luvas e dispositivos de força;
- Outros dispositivos especiais.

O estudo e a definição integrada dos vários requisitos e características de um sistema de realidade virtual são elementos fundamentais para a otimização da relação entre o custo e benefício do sistema, contribuindo assim para a obtenção do sucesso na montagem de uma plataforma para desenvolvimento de aplicações de realidade virtual.

4. Plataformas para Aplicações de Realidade Virtual

Os avanços das pesquisas em realidade virtual e a oferta de produtos nessa área, envolvendo hardware, software, e dispositivos não convencionais, têm viabilizado a existência de diversos tipos de plataformas para aplicações de realidade virtual. Essas plataformas variam desde sistemas baseados em microcomputadores, passando por estações de trabalho e máquinas paralelas, até sistemas distribuídos.

Os requisitos de sistemas de realidade virtual, enumerados no capítulo 3, devem ser satisfeitos nessa plataforma, cuja busca é sempre pela melhor qualidade possível. Isto depende não só do valor do investimento a ser feito, mas também de uma boa escolha do conjunto.

4.1. Plataformas Baseadas em Microcomputadores

Embora inicialmente os equipamentos de realidade virtual fossem muito caros e utilizados em poucos laboratórios de pesquisa, a popularidade dos microcomputadores e a curiosidade de muitos interessados na área fizeram com que as plataformas baseadas em microcomputadores se tornassem realidade.

A adaptação de dispositivos [56] e o desenvolvimento de software adequado às limitações dos microcomputadores propiciaram o surgimento de aplicações para essas plataformas. A indústria, por sua vez, também investiu nesse segmento, de forma que atualmente pode-se montar uma boa plataforma com menos de US\$5.000,00. O crescimento acelerado do mercado de realidade virtual vem assegurando cada vez mais o aumento da qualidade da plataforma e das aplicações nessa área.

A configuração típica de um sistema de realidade virtual baseado em microcomputador PC [21,77] consta na figura 4.1.

Além do microcomputador e dos dispositivos, a plataforma deve incluir o software que pode ser um único módulo integrado (tool kit) ou vários módulos separados e compatíveis para a criação do mundo virtual, simulação, e definição da aplicação. Detalhes sobre o software serão dados mais a frente.

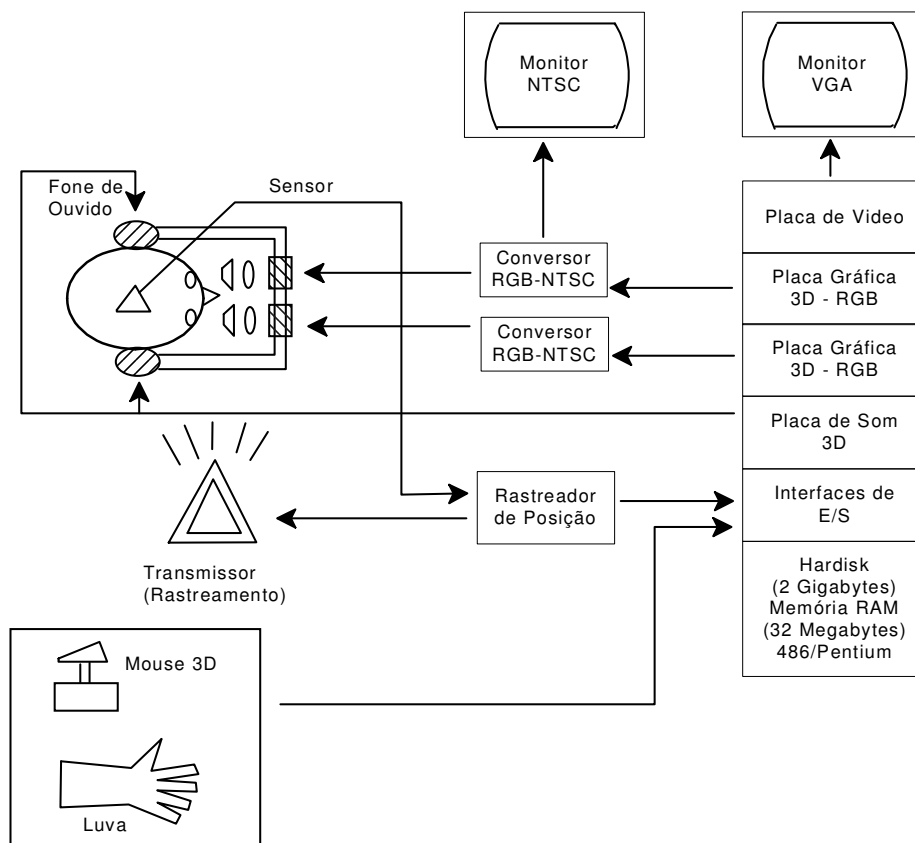


Figura 4.1 - Configuração Típica de um Sistema de RV Baseado Em PC

4.2. Plataformas Baseadas em Estações de Trabalho

A grande vantagem das estações de trabalho sobre os PCs está na superioridade de características como capacidade computacional, capacidade gráfica, espaço em disco, e velocidade de comunicação. A grande maioria das estações de trabalho são voltadas para as mais variadas aplicações, de forma que, para serem usadas em realidade virtual, devem ser compostas com interfaces e dispositivos adequados.

Há uma grande variação de produtos e preços, envolvendo hardware e software para estações [39], mas é possível montar-se uma boa plataforma com custo abaixo de US\$50,000.00, considerando-se, por exemplo, um estação Silicon Graphics Indigo 2 - Impact [95], software World Tool Kit[92], e alguns dispositivos de E/S mais simples [39]. Nesse caso, uma configuração de 64 bits e 250 MHz, 128 Mbytes de memória, 4 Gbytes de disco, características gráficas para dar um desempenho da ordem de 2 M triângulos por segundo e 600 K Polígonos por segundo, e software incluindo GL e Performer. Para trabalhar com taxa de 30 frames por segundo, essa plataforma aceita no máximo cenas com 20k polígonos.

Também é possível montar-se plataformas no valor de centenas de milhares de dólares, envolvendo máquinas paralelas, dispositivos avançados e software sofisticado.[39]

As ferramentas para desenvolvimento de sistema de realidade virtual costumam ser instaladas em plataformas de diversos fabricantes. Dentre as plataformas, citadas pelos fornecedores de ferramentas, tem-se: Silicon Graphics, Sun, DEC, IBM, HP, etc., e microcomputadores com aceleradores gráficos.

4.3. Tipos de Sistemas Distribuídos de Realidade Virtual

Aplicações de realidade virtual podem ser vistas sob um aspecto bastante amplo, variando de uma única pessoa, usando um único computador, até muitos usuários, usando um sistema distribuído. Os sistemas de RV multi-usuários em ambiente distribuído vêm crescendo e apresentam elevado potencial de aplicação. Esse tipo de sistema permite que os usuários geograficamente dispersos atuem em mundos virtuais compartilhados, usando a rede para melhorar o desempenho coletivo, através da troca de informações.

4.3.1. Tipos de Sistema de Realidade Virtual Multi-usuários

Um sistema de realidade virtual multi-usuário pode ser centralizado ou distribuído [45], conforme a figura 4.2.

Plataforma Computacional de RV

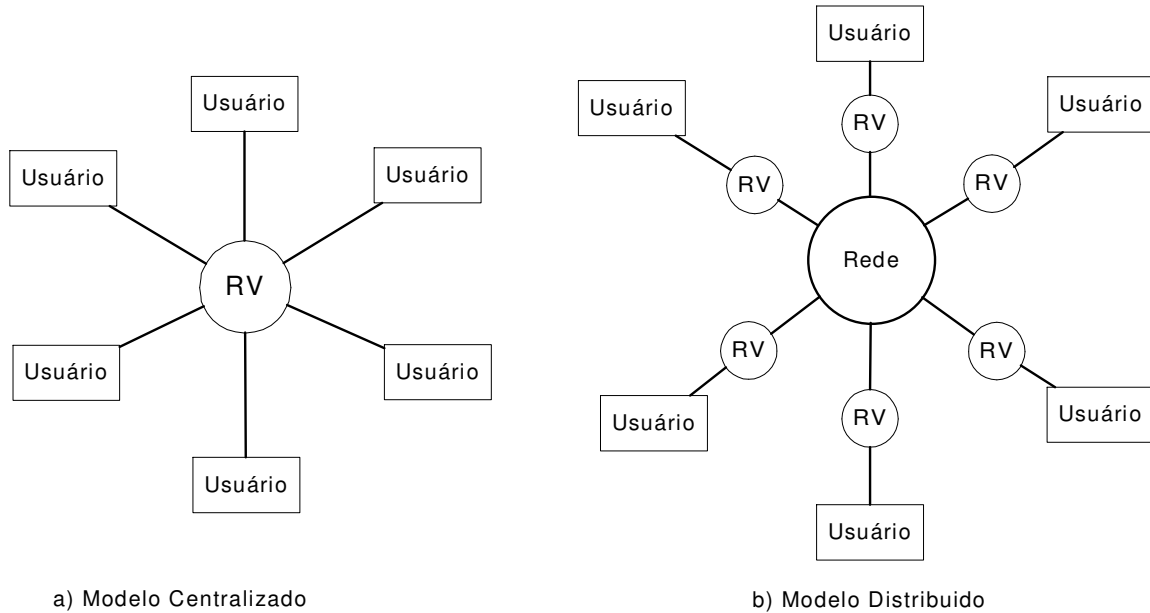


Figura 4.2 - Modelos de Sistema de RV Multi-Usuário

No modelo centralizado, todos os usuários compartilham o mundo virtual, enquanto, no modelo distribuído, o mundo virtual pode ser replicado (para mundos pequenos) ou particionado (para mundos virtuais de grande porte), conforme a figura 4.3.

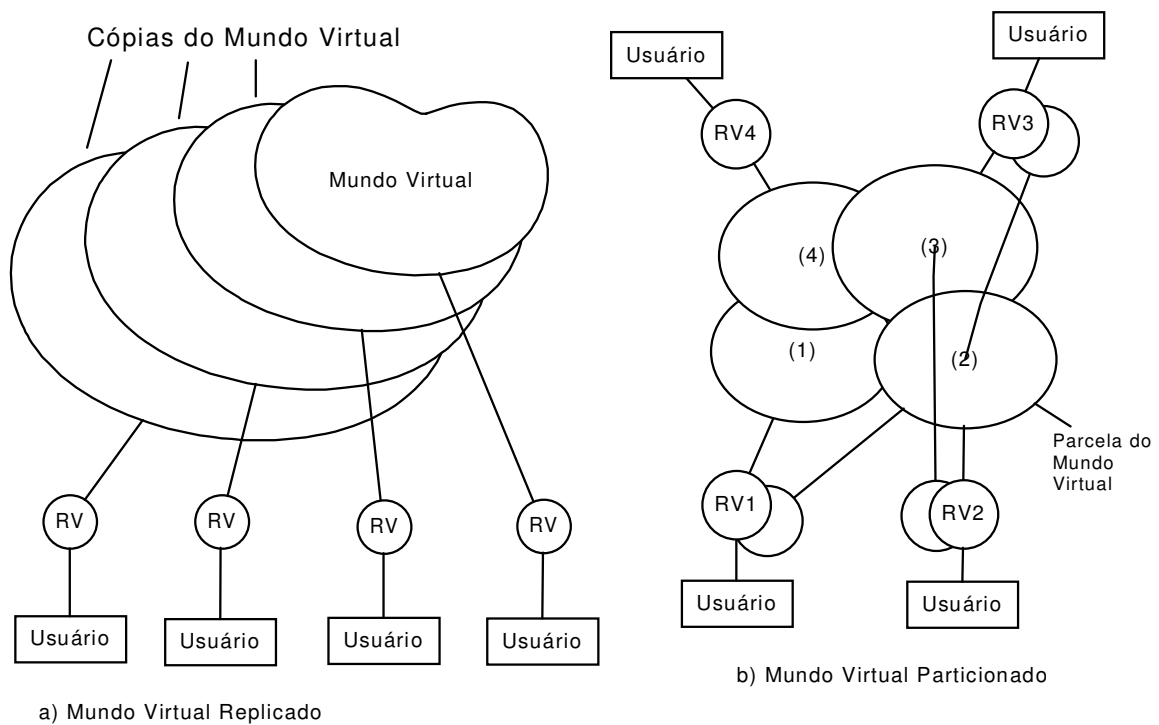


Figura 4.3 - Acesso ao Mundo Virtual Distribuído

Num sistema replicado com n usuários, quando um usuário fizer qualquer alteração no mundo virtual, isto deverá ser comunicado para todas as $(n-1)$ versões do mundo virtual, onde estão os outros usuários, constituindo a difusão (broadcast).

Num sistema particionado com n usuários, a situação é mais complexa, uma vez que o mundo virtual é dividido em várias partes e cada máquina ficará encarregada de uma delas. Como o usuário pode navegar no mundo virtual, ele poderá penetrar em outras regiões, de forma que sua máquina ou servidor deverá receber uma réplica da região, onde ele se encontra. Assim cada máquina estará cuidando de uma região fora da sua parcela. Se existirem vários usuários em uma mesma região do mundo virtual, esse grupo de usuários receberá uma cópia dessa região. Qualquer alteração no mundo virtual, feita por um membro do grupo, será retransmitida para o restante do grupo, constituindo a retransmissão por grupo (multicast).

Para reduzir o número de conexões e de mensagens na rede são utilizadas as técnicas de difusão, retransmissão por grupo, e dead-reckoning, que serão abordadas em seguida.

4.3.2. Aspectos de um Ambiente Virtual Distribuído

Ambientes virtuais distribuídos figuram entre os sistemas de software mais complexos já construídos [102]. Esses ambientes devem satisfazer uma variedade de características como: (1) resposta rápida a novos requisitos do sistema; (2) capacidade de manutenção; (3) suportar interação em tempo real; (4) fidelidade da inserção do usuário no mundo virtual em relação a uma referência; (5) alta taxa de quadros por segundo, reusabilidade e portabilidade; (6) ajustamento a novas interfaces e dispositivos de visualização; e (7) requisitos para capacidades adicionais.

A elaboração de um sistema de realidade virtual inclui atividades envolvendo: (1) suporte de comunicação em rede; (2) criação de ambientes virtuais; (3) atuação no mundo real; (4) criação de atores gerados por computador; (5) inserção de fenômenos naturais; e (7) uso de simulação tradicional.

O suporte de comunicação em rede fornece os meios para que as unidades computacionais heterogêneas separadas fisicamente sejam unificadas para implementar um único ambiente virtual. Devido à necessidade de comunicação intensiva entre as máquinas do sistema, toda vez que há uma atualização de posição, o sistema utiliza a técnica de dead-reckoning [40, 45, 102] para minimizar a troca de mensagens e suportar atrasos de comunicação. Essa abordagem trabalha com a previsão da posição de um elemento, levando em conta o seu trajeto, velocidade e posição anterior, decorrido um certo tempo. Todas as máquinas fazem o mesmo cálculo de previsão e reposicionam o elemento. Aquele que estiver gerenciando o elemento conseguirá verificar a diferença da trajetória real com a trajetória calculada. Sempre que essa diferença atingir um valor máximo, o valor real da posição será então comunicado às outras máquinas para a devida correção. Desta forma, não haverá necessidade de informar continuamente a posição de um elemento para as outras máquinas, o que diminuirá bastante a comunicação pela rede.

A criação de ambientes virtuais está bastante ligada com realismo visual e interação usando os outros sentidos. Assim, assuntos como computação gráfica 3D, modelagem gráfica, e interação homem-máquina constituem uma parte fundamental na elaboração de ambientes virtuais.

Muitas vezes, ambientes virtuais são associados a aplicações de telepresença. Nesses casos, ações do usuário e o comportamento de certas entidades acabam refletindo ações do mundo real.

Em outros casos, há a necessidade de introduzir um grande número de indivíduos no ambiente virtual, criando uma população. Uma maneira de fazer isso é criar atores gerados por computador com comportamento humano, usando técnicas de inteligência artificial e de locomoção.

Outro ponto importante para ambientes virtuais é a introdução de fenômenos físicos como chuva, neblina, nuvens, dia e noite, movimentos do sol e da lua, etc.

Além dos atores controlados por computador e dos atores controlados por usuários, é possível inserir no ambiente grupos de atores manipulados estatisticamente, controlados por simulação tradicional.

4.4. Software de Desenvolvimento de Realidade Virtual

Existem muitos tipos de software para realidade virtual para as mais variadas plataformas e faixas de preço.

Alguns softwares podem ser obtidos via internet gratuitamente como: REND386, VR386, e AVRIL, para microcomputadores, e MRTToolkit para estações de trabalho. Os endereços são os seguintes:

- REND386 e AVRIL: ftp "anonymous" para
sunee.uwaterloo.ca/pub/rend386
sunee.uwaterloo.ca/pub/avril
- VR386: ftp "anonymous" para
psych.toronto.edu/vr-386
- MR: <http://www.cs.ualberta.ca/~graphics/MRTToolkit.html>

Outros softwares são vendidos comercialmente com preços variando de dezenas de dólares a dezenas de milhares de dólares.

Existem alguns endereços na internet, onde podem ser encontradas informações concentradas sobre software e recursos para realidade virtual, contendo também os ponteiros para os fornecedores. Um desses lugares é: Ian's VR Buying Guide [39], que apresenta uma parte da tabela de software da figura 4.4.

Produto	Empresa	Plataforma	Custo	Comentários
CDK2	Autodesk	DOS/Windows	médio	suporta capacete, textura, alta interação, rede, múltiplos usuários
dVS/DVISE	Division	SGI, Windows	médio/alto	toolkit 3D, textura, rede colaborativo, variedade de hardware, múltiplos usuários
WorldToolKit WTK	Sense8	SGI, Sun, HP, DEC, Windows	médio/alto	biblioteca C, textura, rede, variedade de hardware, único usuário
Superscape VRT	Superscape	DOS	médio	suporta capacete, MIDI, joysticks, textura, rede, múltiplos usuários
MindRender (API)	Theme Kit Ltd	DOS	baixo	suporta capacete VFX1, MIDI, luvas, etc.
VREAM	VREAM	DOS	baixo	suporta capacete, MIDI, joystick, textura, rede, múltiplos usuários
2 Morrow Tools	2 Morrow	DOS	baixo	suporta CMAX, CMAX2, luva, joysticks
PhotoVR	Straylight Corp	DOS	médio	suporta capacete, textura, único usuário
Genesis	Virtual Presence Ltd	DOS, Windows, estações UNIX	médio	suporta capacete, textura, único usuário
V-PC/V-Space	Virtuality Groups	Windows	médio	suporta capacete, textura, alta imersão, rede, múltiplos usuários
Virtus Walkthrough	Virtus Corp.	Windows, Mac	baixo	textura, projeto direto do mundo virtual, único usuário
GVS	Gemini Tech Corp.	estações UNIX	alto	suporta capacete, textura, boa interação, rede, múltiplos usuários
3D Interaction Accelerator	IBM Corp.	estações UNIX	alto	suporta capacete, textura, (rede), único usuário
Veja VR	Paradigm Simulation Inc.	SGI	alto	suporta capacete, textura, rede, múltiplos usuários
Performer	Silicon Graphics Inc.	SGI	médio	textura, simulação, múltiplos usuários

Legenda de custos: baixo: até \$1000; médio: de \$1000 a \$5000; alto: acima de \$5000

Figura 4.4 - Tabela de *Software* para desenvolvimento de Aplicações de RV

5. Aplicações de Realidade Virtual

Até este momento, apresentamos os conceitos de Realidade Virtual e os dispositivos usados, mas o que se pode fazer com isto tudo?

Buscando dar algumas respostas à esta pergunta, apresentamos a seguir um conjunto de aplicações em Realidade Virtual ou, conforme diz Aukstakalmis, "O Mundo Real da Realidade Virtual".

Muitas das aplicações já estão de fato sendo usadas, outras estão em fase de projeto ou de teste.

Como todas as novas tecnologias é tentador pensar que os novos conceitos envolvidos são a solução para todos os problemas.

Se acreditarmos nisto, corremos o risco de que soluções menos sofisticadas, mas com uma relação custo/benefício mais favorável, sejam esquecidas (passem despercebidos) na ânsia de tormarmos a dianteira muito rapidamente.

Outro fator muito importante no uso de uma nova tecnologia como a Realidade Virtual é a análise dos fatores humanos envolvidos no processo de inserção de usuário em um ambiente virtual.

No caso da Realidade Virtual, a tecnologia disponível, permite a construção dos ambientes virtuais mesmo antes de se entender como estes afetam o homem.

Apesar disto, as evidências apontam na direção de que os sistemas de ambientes virtuais podem revolucionar a forma como nós interagimos com sistemas complexos em computador.

As aplicações são muitas e é difícil prever onde os ganhos e os benefícios da Realidade Virtual serão significativos. O certo é que não haverá um único padrão nas interfaces de Realidade Virtual. A tecnologia e as limitações de custos farão com que o tipo de aplicação defina o nível de sofisticação da tecnologia a ser aplicada. Com certeza, neste cenário, muitas aplicações, na busca de soluções para problemas específicos, acabarão por gerar novos usos e soluções para problemas de outras áreas.

Por uma questão de organização, os exemplos constantes neste livro foram divididos em categorias ou áreas de aplicação. Em muitos casos, porém, uma mesma aplicação poderia constar em mais de uma das áreas.

5.1. Medicina

Simulação Cirúrgica

Os sistemas de simulação criam ambientes que buscam recriar experiências da vida real. Por um certo ângulo os simuladores são formas básicas de Realidade Virtual

É tradicional o uso de simuladores para treinamento de pilotos e de tripulações de barcos.

Na área médica, entretanto, o uso desta tecnologia está iniciando. Muito provavelmente em função da complexidade da anatomia humana e dos requisitos computacionais para simulá-la.

Atualmente, uma nova abordagem de simulação médica vem sendo tentada, a Realidade Virtual

Apesar da habilidade na criação de modelos computacionais de estruturas do corpo já ser algo dominado há anos na Ciência da Computação, os pesquisadores de Realidade Virtual estão iniciando agora o desenvolvimento de aplicações médicas inovadoras.

Uma delas, que pretende ser tanto uma ferramenta de ensino quanto de prática (treinamento) para procedimentos cirúrgicos, está sendo desenvolvido pelo Silas B. Hayes Army Community Hospital em Fort Old (CA).

Partindo apenas de modelos da região abdominal, o sistema permite, apesar das imagens não terem alto grau de foto-realismo, uma interatividade excelente na manipulação dos órgãos virtuais.

Pode-se, por exemplo, pegar e manipular instrumentos como bisturis e grampos virtuais e aplicá-los sobre o modelo. É possível também analisar em detalhe as relações anatômicas entre cada um dos órgãos e navegar ao redor ou dentro dos mesmos. O “cadáver virtual” é sem dúvida uma ferramenta de muita utilidade no aprendizado sobre o corpo e sobre seu funcionamento. A falta de realismo das imagens e da interação é só questão de tempo para a evolução da tecnologia envolvida.

Outra área de aplicação da Realidade Virtual em cirurgias é nas chamadas CMI (Cirurgias Minimamente Invasivas) ou cirurgias laparoscópicas. Estes procedimentos que nos EUA já chegaram ao patamar de 5 milhões de cirurgias por ano, são realizadas fazendo-se um pequeno corte na pele do paciente e, através deste inserindo-se uma câmera de vídeo e instrumentos de corte. Durante a cirurgia o médico é obrigado a olhar para um monitor não podendo olhar para suas mãos. Esta difícil operação exige do médico um alto grau de destreza e uma capacidade de coordenação olho-mão, bastante grande. Estas habilidades, por sua vez, só são obtidas com muito treinamento.

O grande mercado das CMI, unido com a necessidade óbvia de treinamento intensivo, resultam em uma grande chance para a aplicação de Realidade Virtual.

O primeiro sistema comercial produzido com este objetivo foi o “MIS Training and Rehearsal System”. Neste sistema o usuário veste uma HMD de alta resolução que é ligado a uma estação gráfica de alta performance (100.000 polígonos/seg). Um *software* de simulação cria, então, um paciente virtual e exibe no HMD as imagens da câmera laparoscópica sem que o médico precise “tirar o olho do paciente”.

Na Figura 5.1, apresentamos um esquema simplificado deste sistema.

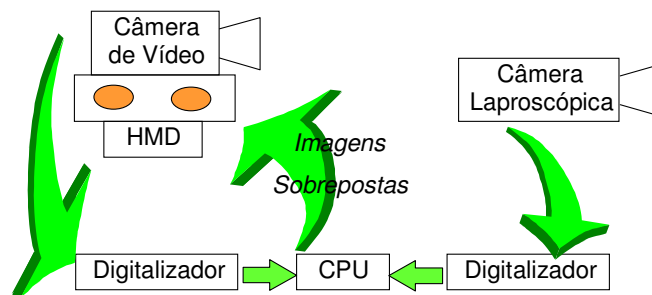


Figura 5.1 - Sistema de Realidade Virtual Ensaio de Cirurgias

Uso da Realidade Aumentada em Medicina

Quando um médico faz uma ultrassonografia, ele interpreta as imagens 2D exibidas e, baseado em sua experiência consegue diagnosticar problemas.

Os sistemas de ultrassom entretanto, apresentam imagens em uma tela, e para poder examiná-los o médico precisa tirar os olhos do paciente e olhar para uma tela. Isto muitas vezes causa dificuldades para que o médico “integre mentalmente” a imagem da tela com o corpo do paciente. Pensando neste problema, pesquisadores da Universidade da Carolina do Norte, buscaram uma forma de exibir o resultado do exame no corpo do próprio paciente.

A idéia é colocar no médico um óculos com lentes de cristal líquido e através destas lentes o médico vê o resultado do exame como se estivesse sobreposto ao corpo do paciente (Figura 5.2).

O sistema transforma em tempo-real a imagem captada pelo scanner de ultrassom, converte esta imagem para a posição do médico e a exibe nas lentes dos óculos.

A qualidade e a precisão do exame feito com um sistema deste tipo é muito maior que o sistema tradicional. Isto ocorre principalmente por que o médico pode “olhar dentro” do corpo do paciente de uma forma muito mais natural e intuitiva, simplesmente mexendo a cabeça.

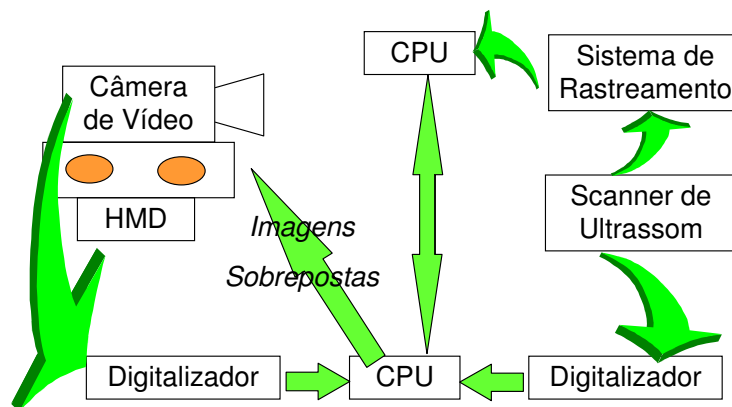


Figura 5.2 - Sistema de Ultrassonografia Usando Realidade Virtual

Planejamento de Radioterapia

Na luta contínua do tratamento do câncer, um dos métodos mais usados é a radioterapia para destruir os tumores. O conceito básico do tratamento de radioterapia é posicionar vários feixes de radiação de forma que eles atravessem o tecido saudável sem causar nenhum dano mas destruam o tecido canceroso na exata região onde estes feixes se interceptam.

Não é preciso ser um especialista em medicina para entender que este é um procedimento complicado.

O radiologista deve possuir um entendimento bastante apurado em anatomia humana. Como não é possível olhar através do corpo para realizar o planejamento, os radiologistas usam uma série de chapas de raio X e precisam “reconstruir” mentalmente a estrutura anatômica 3D do paciente a partir de imagens 2D.

Normalmente o resultado deste procedimento é a aplicação de um tratamento “não-ótimo” sobre o paciente, tendo-se como consequência menos ganhos do que se poderia esperar e mais efeitos colaterais do que se desejaria.

Algumas pesquisas recentes já permitem que se crie um modelo computacional do corpo do paciente e se sobreponha a estes modelos a representação gráfica da radiação. Nestes sistemas o médico senta em frente a um monitor e manipula a posição do paciente e a direção/intensidade dos raios. Entretanto, mesmo sendo possível a criação de modelos anatômicos computacionais bastante realistas ainda é um problema a tarefa de posicionamento dos feixes de radiação.

A Universidade de Carolina do Norte está desenvolvendo um método alternativo para o planejamento das sessões de radioterapia.

Ao invés de sentar-se em frente a um monitor, o médico usa um HMD e realmente caminha ao redor do modelo gráfico do paciente, analisando as áreas de interesse, a partir do ângulo que mais lhe convém. Usando o sistema o médico pode posicionar-se em qualquer lugar, inclusive na posição de onde os raios partem, e assim “ver” de fato por onde eles irão passar. A manipulação dos feixes, realizado com um dispositivo preso à mão do médico (semelhante a um joystick) torna-se mais fácil e intuitiva devido à imersão no ambiente virtual.

Ensino de Anatomia

O ensino da anatomia é basicamente ilustrativo. Além dos cadáveres, em muitos casos mais do que eles, a ferramenta mais usada pelos estudantes são os livros de folhas transparentes onde cada uma delas contém a imagem de uma parte do corpo humano, os chamados atlas de anatomia.

De uma maneira bastante direta um modelo virtual de um corpo humano pode substituir estes livros. Pensando nisto o National Institutes of Health iniciou o projeto *Visible Human* para desenvolver um modelo completo e detalhado de um ser humano adulto. Uma vez coletados todos os dados, será possível, operando um sistema de visualização (Figura 5.3), analisar o “cadáver virtual” e a partir disto estudar a estrutura de cada órgão e o que é mais importante, a relação entre eles. As vantagens deste modelo sobre um atlas são inúmeros, os mais importantes são:

- a possibilidade de avaliar os órgãos como estruturas 3D e não como imagens 2D;
- a possibilidade de avaliar a relação entre os órgãos (posição relativa e interligações);
- a possibilidade de produzir visões seletivas do corpo, por exemplo, habilitando ou suprimindo a exibição de subsistemas orgânicos como o digestivo, circulatório ou ósseo.

O próximo passo do projeto *Visible Human* será a criação de um modelo dinâmico. Com este modelo poder-se-á ilustrar como funcionam os vários órgãos, tanto em estado normal, quanto em casos de doenças.

Uma animação que apresenta uma viagem pelo interior do *Visible Human* pode ser obtida em http://www.nlm.nih.gov/research/visible/mpeg/umd_video.mpg. Um modelo em VRML pode ser obtido em <http://www.npac.syr.edu/projects/3Dvisiblehuman/3dvisiblehuman.html>.

5.2. Educação

Educação é basicamente um processo de exploração, de descoberta, de observação.

Desde pequenos nós repetimos e sonhamos com perguntas como: “E se eu pudesse explorar a lua? E se eu pudesse ver os átomos? E se eu pudesse encolher e caminhar por dentro de um chip de um computador?” A resposta em geral vinha rapidamente: “Você não pode!”. Mas, o tempo passa e a Realidade Virtual tornou isso possível. O que era ontem um sonho, hoje, com um “pouco” de tecnologia está se tornando realidade, Realidade Virtual.

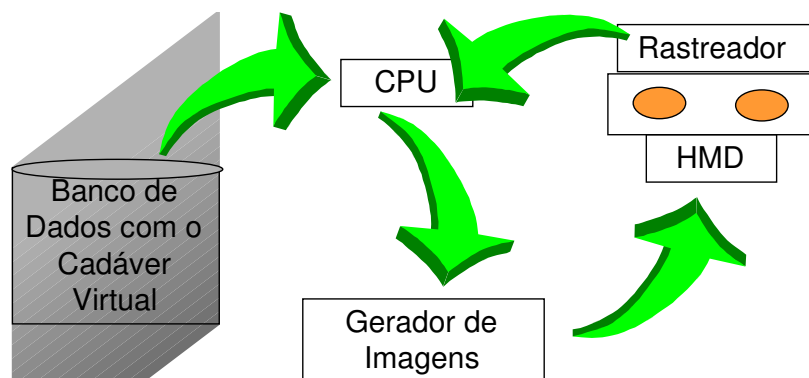


Figura 5.3 - Esquema de Funcionamento de Um Sistema de Anatomia Virtual

A potencialidade da Realidade Virtual está exatamente no fato de permitir que exploremos alguns ambientes, processos ou objetos, não através de livros, fotos, filmes ou aulas, mas através da manipulação e análise virtual do próprio alvo do estudo.

Parece claro que a Realidade Virtual pode ajudar muito no processo de ensino, em especial no que diz respeito à motivação dos alunos. Entretanto, existem poucas pesquisas que tenham realizado medições para avaliar se esta nova ferramenta é de fato eficaz. O primeiro estudo neste sentido foi realizado em 1991/92 no HITL da Universidade de Washington e o segundo em 1993 na West Denton High School em New Castle, Inglaterra.

Os 2 projetos que envolviam jovens, em sua maioria rapazes de 13 a 15 anos, tinham como tema a construção e a navegação em mundos virtuais. Para avaliar a satisfação e o interesse dos alunos, diariamente eram distribuídos questionários de avaliação. As respostas mostraram o grande interesse pela nova tecnologia.

Dos participantes, 2/3 preferiam explorar mundos virtuais a assistir vídeos, e a maioria preferiu construir novos mundos, a navegar por mundos já prontos.

Estes projetos entretanto, puderam avaliar o uso de Realidade Virtual para ensinar Realidade Virtual, e não como ensinar usando Realidade Virtual

Uma das primeiras escolas a explorar o uso de Realidade Virtual para auxiliar no processo de ensino foi a Shepherd School, em Nottingham, Inglaterra. Esta escola é a maior da Inglaterra que trata com crianças que possuem grandes dificuldades de aprendizagem.

Na 1ª fase do projeto os professores aprenderam sobre nova tecnologia com pesquisadores da Universidade de Nottingham. Posteriormente estes professores, juntos desenvolveram várias simulações baseadas em símbolos e sistemas de sinais.

Os símbolos (desenhos em papel) e o sistema de sinais eram usados pela escola para auxiliar os estudantes no aprendizado das bases do vocabulário pela associação de símbolos e sinais das mãos a objetos reais. Depois da “virtualização” dos símbolos os estudantes passam a poder interagir com uma simulação 3D ao invés de desenhos 2D destes símbolos. Isto trouxe uma maior retenção do conhecimento por parte dos alunos.

5.3. Laboratórios Virtuais de Física

Outro uso da Realidade Virtual na educação são os *Laboratórios Virtuais de Física*. A física é, sem dúvida alguma, uma das áreas que mais se presta ao aprendizado por experimentação e observação de fenômenos. A idéia do laboratório virtual de física é possibilitar a experimentação e a observação de fenômenos de uma forma que não é possível no mundo real. Criado por pesquisadores da Universidade de Houston e chefiados por R. Bowen Loftin em parceria com o Johnson Space Center da NASA. O objetivo foi desenvolver um laboratório onde os estudantes pudessem, de uma forma imersiva, experimentar a alteração de propriedades físicas de objetos dentro do laboratório. Dos experimentos disponíveis hoje destacam-se os testes com a alteração de parâmetros como a gravidade (sua magnitude e sua direção) em simuladores de queda livre de objetos, os testes com as propriedades de colisão (elástica e inelástica) entre 2 corpos, e o efeito de diversas forças sobre o movimento de um pêndulo.

O usuário, vestido com um HMD e uma luva, pode, imerso na experiência, interagir com os objetos pegando-os e arrastando-os pelo espaço. O controle das propriedades das experiências é feito através da interação com um painel virtual que pode ser “tocado” com a mão virtual bem como, movido para qualquer parte. Este painel possui além destes controles, um conjunto de ferramentas de medição para a análise da experiência e ainda controles para dirigir (parar, reiniciar) o andamento da experiência. Para facilitar as experimentações e a observação de seus resultados, o estudante pode navegar pelo laboratório virtual através de um protocolo de gestos e assim posicionar-se no local que achar mais adequado.

Arqueologia

Em arqueologia, sempre que uma região está sobre estudo, os pesquisadores usam algum tipo de programa de CAD para registrar todos os aspectos de escavação. Desde as dimensões das estruturas até a localização dos artefatos encontrados dentro delas.

O “Centro de Estudos de Arquitetura em Bryn Mawr” está criando arquivos dos principais monumentos arqueológicos ao redor do mundo usando programas de CAD. A partir destes modelos, com sistemas de Realidade Virtual será possível dar a estudantes a oportunidade de navegar por estas ruínas reconstituídas. Com certeza chegaremos ao dia em que será possível a uma turma de alunos, realizar uma viagem, por exemplo, por dentro das pirâmides do Egito ou pelas ruas da cidade de Pompéia.

5.4. Entretenimento

Tênis Virtual

Um dos primeiros jogos de Realidade Virtual a surgir no mercado, o Tênis Virtual da empresa Autodesk, é quase tão básico e simples no seu aspecto visual, quanto eram os primeiros video-games em relação aos jogos eletrônicos atuais. Por outro lado, a qualidade da imersão é bastante boa. Neste jogo o usuário veste um HMD com fones de ouvido e uma Data Glove e segura uma raquete (real).

Este usuário é então imerso em uma quadra virtual e o jogo inicia com o lançamento de uma bola a partir das costas do usuário. A bola é então rebatida (pelo adversário virtual) e o usuário deve responder tentando rebater a bola de volta.

A qualidade da imagem gerada ainda é baixa, entretanto, a reprodução dos sons e do movimento da bolinha virtual e a possibilidade de interação gerada pelo HMD e pela luva, dão uma sensação de imersão bastante intensa, de tal forma que, em geral, quando a bolinha vem na direção do corpo do jogador a reação natural deste é tentar sair da frente da bola para não ser atingido.

Legend Quest

Desenvolvido pela companhia Virtuality Systems, o Legend Quest é uma espécie de batalha virtual onde 4 jogadores se unem para vencer um inimigo comum e achar um tesouro. No Legend Quest cada participante escolhe um

personagem que irá viver. As possibilidades de escolha vão de um anão a um guerreiro, de um mágico a um ladrão. Juntos os participantes tem que explorar cavernas e passagens secretas para escapar de uma masmorra. Cada personagem, com suas características e habilidades próprias, pode ajudar os outros em determinadas situações, fazendo com que a cada momento um dependa do outro para continuar no jogo.

Os adversários, monstros que vivem na masmorra, são modelados usando técnicas da aprendizagem baseadas em Inteligência Artificial o que torna seu comportamento diferente a cada instante e o jogo mais difícil de vencer.

A vitória só pode ser atingida se os jogadores souberem combinar adequadamente as características de cada personagem, reforçando ainda mais a idéia de equipe. Por esta razão este jogo tem sido usado por empresas na avaliação das potencialidades de seus grupos de funcionários.

Para o jogo cada participante recebe um HMD e um joystick 3D. Dependendo do personagem este joystick será uma arma, uma vareta mágica, uma espada ou um pote com poções mágicas.

Cada jogador é colocado em uma plataforma com uma base circular dentro da qual pode girar seu corpo para olhar em qualquer direção. A movimentação é controlada por um botão do joystick.

Passeio Ciclístico Virtual

Também desenvolvido pela empresa Autodesk esta aplicação busca simular um passeio de bicicleta em uma bicicleta ergométrica. Apesar de ser uma excelente atividade aeróbica, o uso de bicicletas ergométricas torna-se um exercício bastante chato de ser realizado repetidamente. Pensando nisto, foi criado uma espécie de passeio virtual. A idéia é colocar no atleta um HMD, acomodá-lo em uma bicicleta ergométrica, e a medida que este vai pedalando vão sendo mostradas nas telas do HMD, imagens simulando uma estrada virtual que vai sendo percorrida. A velocidade com que estas imagens passam pela tela é controlada pela frequência das pedaladas.

A mudança na posição do guidão da bicicleta também altera as imagens apresentadas. Autodesk batizou o sistema de High Cycle.

A partir desta idéia, pesquisadores da Universidade da Carolina do Norte expandiram o conceito da High Cycle agregando marchas à bicicleta, adaptando um sistema de “force feedback” nos pedais e colocando sob as rodas uma espécie de rampa capaz de enclinar e balançar a bicicleta.

Com todo este aparato(Figura 5.4) a High Cycle permite simular, além das imagens, o tipo e a inclinação da pista ao longo do passeio virtual.

Seguindo nesta linha de desenvolvimento, quem sabe em pouco tempo não teremos locadoras de imagens virtuais com títulos como: “Passeando em Nova York”, “Pedalando em Boa Viagem” ou “Subindo pelos Morros de Canela e Gramado”.

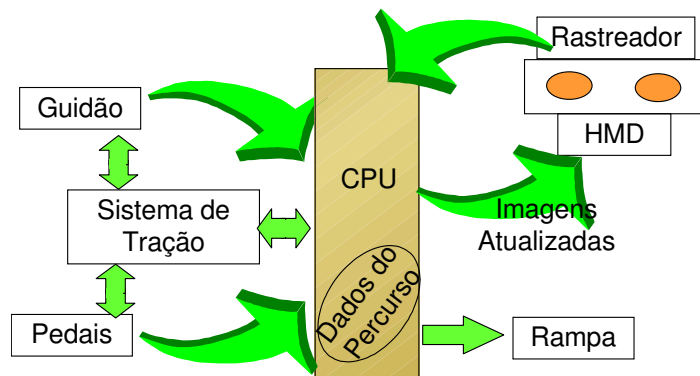


Figura 5.4 - Arquitetura de um Sistema de Passeio Ciclístico Virtual

5.5. Treinamento

Simuladores de Vôo

Em vários casos, fazer com que uma pessoa treine uma certa tarefa pode ser muito difícil, muito caro e muitas vezes simplesmente impossível.

Um caso clássico desta situação é o treinamento de pilotos para situações de perigo como perda súbita de combustível ou um violento deslocamento de ar.

Pensando nisto, a indústria aeronáutica tem criado excelentes simuladores de vôo. Uma das melhores coisas que estes simuladores tem é que com eles o piloto pode tentar realizar um número muito maior de vôos em um dia, do que conseguiria em um aparelho real. Normalmente, as cabines de simulação de vôo não são consideradas aplicações de

Realidade Virtual Isto porque a cabine e os controles são reais, e as imagens são exibidas em telas colocadas no lugar das janelas do avião. Entretanto, nos últimos anos, alguns simuladores vem sendo construídos usando tecnologias de Realidade Virtual como HMD's, tendo como principal vantagem a possibilidade de recriar a cabine, simulando um outro avião, sem precisar de uma nova cabine. Além disto há uma forte corrente, em especial no exército americano, pesquisando na direção de novos tipos de simuladores que sejam flexíveis, adaptáveis, de fácil atualização e ainda interconectáveis através de redes. O objetivo é permitir que se faça simulação remota sem ter que deslocar os pilotos/soldados até o simulador e ainda, tornar a simulação mais realista pela participação de várias pessoas.

Planejamento de Operações Militares

Uma operação militar que envolve o envio de tropas a um local desconhecido dos soldados, como por exemplo, uma embaixada, pode ter uma chance muito maior de sucesso se os soldados, antes, puderem caminhar pelo prédio e analisar os caminhos e obstáculos que terão de enfrentar. Com certeza, uma análise deste tipo dá aos soldados um número muito maior de informações do que a análise de uma planta ou de fotos do local.

Lançador Virtual de Mísseis

O lançador virtual de mísseis é um simulador para treinamento de lançadores do míssil "Stinger". O "Stinger" é um míssil compacto lançado com um disparador colocado sobre o ombro do soldado projetado para o ataque a aeronaves que voam a baixa altitude. Este lançador virtual consiste em uma réplica plástica do lançador original. Dentro da réplica é colocado um mouse 3D de forma que se pode rastrear a posição do lançador. O soldado usa um HMD e um par de fones de ouvido. No HMD são geradas imagens de aviões inimigos, bem como do céu e do terreno ao redor do soldado. No momento em que é feito o disparo o programa que controla o sistema produz nos fones de ouvido o som característico do disparo bem como o som da movimentação do míssil e da explosão do avião, caso este seja atingido.

Além da simulação, o sistema registra e armazena todo o processo de manipulação da arma, fornecendo valiosas informações para o instrutor dos soldados.

Treinamento de Astronautas

Uma das maiores dificuldades encontradas por astronautas no espaço é sua locomoção. Em função da gravidade zero existente no espaço, tarefas comuns como apertar um botão ou virar o corpo para olhar para trás, tornam-se muito complexas.

Quando um astronauta tenta apertar um botão, se a força usada for maior do que a necessária, ele receberá de volta parte desta força o que poderá causar um movimento indesejável de seu corpo.

No aspecto de movimentação, apesar da existência de controles específicos para este fim, o treinamento é bastante complicado.

A empresa TNO-FEL desenvolveu um sistema de Realidade Virtual capaz de simular o movimento do astronauta no espaço colocando-o sobre uma cadeira que se move dando a este uma sensação muito próxima daquilo que de fato ocorre no espaço. Tarefas como girar o corpo, atirar uma barra de ferro ou girar um parafuso, são simulados neste sistema.

Outra simulação muito interessante feita neste sistema é o uso do som 3D para auxiliar na comunicação entre os astronautas. Como não é possível dentro da roupa espacial girar a cabeça para identificar onde está o outro astronauta, o uso de som 3D tem se mostrado muito útil para auxiliar nesta tarefa.

5.6. Visualização de Informação

Com o acelerado crescimento dos tipos, das fontes e do volume das informações que estão sendo produzidas atualmente por cientistas, economistas, engenheiros ou executivos, existe uma grande demanda por novas formas de apresentação destes dados. Aliado a isto, os avanços na área de informática fazem do desenvolvimento de novas abordagens para a visualização da informação, uma área bastante promissora.

Visualização Científica

A Visualização Científica é usada em computação gráfica para auxiliar, com imagens, o entendimento de dados complexos em geral, em grande quantidade, mostrando conceitos científicos, resultados de simulações ou de coleta de dados.

Nesta área a Realidade Virtual auxilia principalmente pela possibilidade de imergir o usuário nos dados fazendo com que sua análise possa ser mais detalhada. Em testes com túnel de vento, por exemplo, pode-se usar a Realidade Virtual de uma forma bastante útil.

Usando um HMD e uma luva, o usuário pode ser colocado dentro do modelo computacional de um túnel de vento e visualizá-lo como se de fato lá estivesse, com a vantagem de que seu corpo não interferirá na experiência. A

luva, neste caso é usada para mover um cursor virtual, que serve como ferramenta para obter dados numéricos sobre uma certa posição no espaço.

Visualização em Negócios

As área de compra e vendas de ações, planejamento de investimentos, movimentação de estoques e outras relacionadas à movimentação de dinheiro ao redor do mundo, requerem uma quantidade de informações bastante grande para a tomada de decisões. Esboçadas em geral em gráficos, estas informações tem de ser facilmente manipuladas e de rápido entendimento.

Pensando nisto, os pesquisadores Clifford Beshers e Sturn Feiner da Universidade de Columbia desenvolveram o “N-Vision”. A idéia é permitir ao usuário a visualização de um conjunto de dados multivariados em gráficos aninhados a um outro sistema de coordenadas, que representa outra variável.

Com uma luva, o usuário pode mover os sistemas de forma que desejar, para uma melhor análise.

5.7. Auditórios Virtuais ou Teatros de Realidade Virtual

Quando muitas pessoas querem participar de uma experiência de Realidade Virtual ao mesmo tempo, é preciso ampliar a capacidade de exibição dos monitores. A partir deste problema iniciaram-se os estudos sobre “Auditórios Virtuais”.

Existem vários teatros virtuais sendo construídos ou em fase de protótipo. Todos eles baseiam-se em “image generators” para apresentar seus mundos virtuais de duas formas:

- os “screen based projection systems” ou sistemas de projeção panorâmico;
- os “networked-linked HMDs” ou rede de HMDs.

Os teatros de Realidade Virtual são usados em visualização científica, entretenimento, promoções corporativas e museus. Apesar de serem bastante diferentes, estas aplicações precisam, todos, apresentar para um pequeno público, imagens gráficas interativas.

Pode parecer, mas não é o mesmo que teatro ou cinema. O cinema não é interativo, o teatro, não é navegável e nem parcial ou totalmente imersivo.

Os “*screen based projection systems*” são ambientes em que as imagens são projetadas nas paredes de uma pequena sala, de forma a criar uma imagem sem emendas em todas as áreas que o usuário pode ver. São as chamadas cavernas do Realidade Virtual

Um *hardware* típico deste tipo de aplicação é uma SGI Onyx com 3 Reality Engines, cada uma elas gerenciando a exibição de uma imagem sobre as paredes.

Estes sistemas são muito úteis para revisão de projetos de casas, de canos ou de lenhas de manufatura, pois o usuário pode passear pelo mundo virtual analisando os aspectos que lhe interessam da posição que for mais conveniente.

Os “*network linked systems*”, também chamados “*individual based viewer systems*”, são montados ligando-se um conjunto do HMDs em rede.

Nestes sistemas, o usuário, geralmente sentado em uma cadeira, veste um HMD e pode explorar o ambiente apenas movendo a cabeça.

A empresa StrayLight Corp produz sistemas deste tipo com imagens de alta qualidade. Seus sistemas são vendidos ou alugados para companhias que querem apresentar produtos ou para entretenimento.

Neste último caso, as cadeiras podem balançar e girar de acordo com a necessidade. A interatividade no sistema da Stray Light é mínima, ela foi sacrificada em prol da qualidade das imagens.

Outra empresa que usa a idéia de HMDs ligados em rede é a Telepresence Research Inc. Ela criou recentemente, para a cervejaria japonesa Sapporo, um sistema de visitação virtual da linha de produção. Como a visita a uma cervejaria, por questões de segurança, é restrita a poucos setores, a Telepresence criou um modelo computacional de toda a fábrica e, com um programa de visualização de objetos de alto desempenho, permite a grupos de até 12 pessoas, a navegação pela fábrica. A criação do modelo virtual não levou muito tempo, pois a fábrica já tinha sido projetada em programas de CAD. No sistema, um dos usuários atua como o motorista de um “ônibus virtual” definindo por onde o grupo anda durante a visita, os demais, à medida que o “ônibus anda” podem olhar para onde desejarem, tendo a visão que quiserem da fábrica.

5.8. Artes

Na área artística a Realidade Virtual parece ter um futuro bastante promissor. Como um novo meio de expressão da habilidade do artista a imersão e a interatividade podem transformar a arte estática (pinturas e esculturas) em arte dinâmica, à qual os observadores poderão explorar da forma que desejarem.

Do ponto de vista do artista a Realidade Virtual pode auxiliar no processo de criação. Um músico, por exemplo, pode tocar um piano virtual usando uma luva eletrônica e um sintetizador.

Um escultor pode manipular uma espécie de “argila virtual” para criar suas peças. Neste campo de escultura a Realidade Virtual pode ser útil também, para quem estuda um determinado artista. Se tivermos modelos virtuais de suas obras, o pesquisador poderá alterá-los da forma que desejar, sem correr o risco de destruir a obra.

5.9. Telepresença e Telerobótica

Com certeza nós já desejamos estar em dois lugares ao mesmo tempo. Se isto ainda não é possível, a *telepresença* pelo menos cria a ilusão de que se pode estar lá e aqui ao mesmo tempo. Uma forma antiga de telepresença é o telefone, quando ouvimos alguém ao telefone é como se nossos ouvidos estivessem em outro lugar, sem que de fato estejam.

A telepresença baseia-se na idéia de que, com algum tipo de equipamento, é possível executar tarefas em algum lugar distante, como se lá estivéssemos. Mas isto é Realidade Virtual? Aqui está uma pergunta que ainda não tem resposta.

Em alguns sistemas, um médico pode atender a pacientes distantes. No futuro, poderá operá-los. A NASA está particularmente interessada neste aspecto para futuras cirurgias no espaço.

Um pouco menos futurista são os sistemas de *teleoperação* ou *telerobótica*. Qualquer atividade que envolva a realização de tarefas que coloquem em risco a vida do ser humano, ou onde garantir a segurança custe muito caro, é uma área de aplicação potencial de telerobótica. Ambientes tóxicos, de altas temperaturas, ou de difícil acesso são exemplos da aplicação.

O uso da robótica nestes casos, já é bastante antigo, a Realidade Virtual entra, por sua vez, como uma forma de facilitar a interação com os equipamentos. Com Realidade Virtual, o usuário pode “enxergar” o ambiente. Vestindo um HMD, sincronizado com uma filmadora (Figura 5.5), instalada no ambiente remoto, o usuário pode “ver” o objeto a ser manipulado. O controle do robô, por sua vez, pode ser feito com uma luva ao invés de um manipulador.

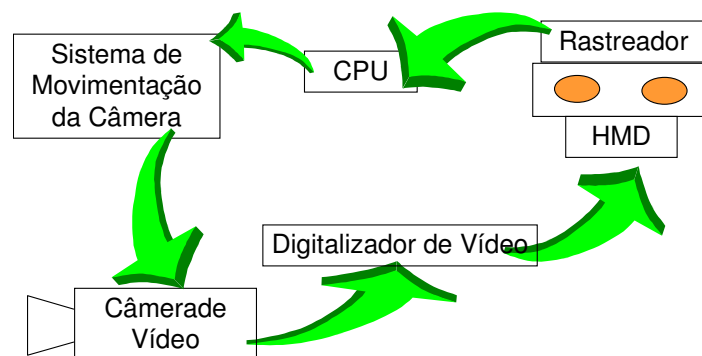


Figura 5.5 - Sincronismo Entre Uma Câmera e um HMD em Ambientes de Telepresença

Um dos projetos mais interessantes desenvolvido na área de telerobótica, é o projeto Green Man. Projetado por David Smith e Frank Amrogida e construído por Herbert Murrnery, todos do NOSC (Naval Oceans System Center). O Green Man é um robô com dois braços, garras, tronco, pescoço, cabeça e dois olhos (câmeras de vídeo), controlado pelos movimentos do corpo de uma pessoa. Os movimentos são medidos por uma espécie de esqueleto externo colocado no usuário e os ângulos formados nas articulações deste são usados para controlar o robô.

5.10. Anúncio Experiencial

Surgindo como uma nova forma de publicidade, os *Anúncios Experienciais* são um tipo de publicidade onde as mensagens de marketing são embutidas em um mundo virtual. Nestes mundos, os consumidores em potencial podem interagir com o produto que está sendo vendido e convencerem-se de suas vantagens.

No mercado americano, este tipo de marketing iniciou com as empresas que alugavam equipamentos com jogos de Realidade Virtual. Posteriormente estas empresas passaram a alugar seus equipamentos para apresentar “shows” de outras companhias.

A pioneira desta área foi a CyberEvent Group Inc., já tendo produzido “comerciais” para companhias farmacêuticas e cadeias de motéis.

Seguindo uma linha mais conservadora a comunidade européia adotou a abordagem de separar o marketing dos vídeos games. A empresa Virtual-S Ltd, de Londres, desenvolveu, por exemplo, para as empresas Kingston Micro Electronics e AKAI sistemas com Realidade Virtual para apresentar seus produtos. Para a prefeitura de Madri, a empresa criou um sistema que hoje é usado em feiras para apresentação da cidade de Madri e de suas potencialidades para abrigar novas empresas de alta tecnologia.

5.11. Sistemas de Manutenção usando Realidade Aumentada

As pessoas que trabalham com manutenção de equipamentos sofisticados, costumam lidar com uma quantidade grande de manuais e fichas técnicas de produtos.

Com a evolução rápida, comum a este tipo de equipamento, a documentação, por sua vez também tem de ser atualizada.

Buscando resolver este problema, muitos fabricantes estão distribuindo manuais e fichas em meio magnético. Esta evolução diminuiu, sem dúvida, a quantidade de papel utilizado. Entretanto, nem sempre é cômodo usar um computador durante a manutenção.

Pensando nisto, a British Aerospace em conjunto com a Private Eye e a Boeing em consórcio com a Virtual Vision, vem desenvolvendo sistemas de Realidade Aumentada para auxiliar na manutenção de aviões e de turbinas.

Colocando um HMD no técnico que realiza a manutenção, é possível deixar ao alcance de seus olhos, ao lado da imagem que ele está olhando, as páginas dos manuais que ele precisa.

6. Dispositivos para Realidade Virtual

Os dispositivos para Realidade Virtual tem como função básica gerar a sensação de imersão do usuário em um ambiente virtual. Para tanto estes dispositivos atuam de duas formas:

- lendo os movimentos realizados pelo usuário (e pelas várias partes de seu corpo);
- impressionando seus sentidos a fim de simular sensações.

No que tange à leitura, em Realidade Virtual, em geral temos duas categorias:

- leitura da posição de um ponto no corpo do usuário (rastreamento);
- leitura do ângulo de flexão ou rotação de um membro ou parte do corpo do usuário.

Quanto a impressionar os sentidos, a Realidade Virtual atua em geral sobre a visão, a audição e o tato.

6.1. Graus de Liberdade

Um ponto muito importante na análise de um dispositivo de Realidade Virtual é a quantidade de **Graus de Liberdade** do mesmo. Os Graus de Liberdade definem qual a capacidade que o dispositivo tem de gerar informações de seu movimento. No caso ideal, temos os dispositivos com 6(seis) graus, 3(tres) para translações e 3(três) para rotações. Na Figura 6.1 são apresentados estes graus de liberdade.

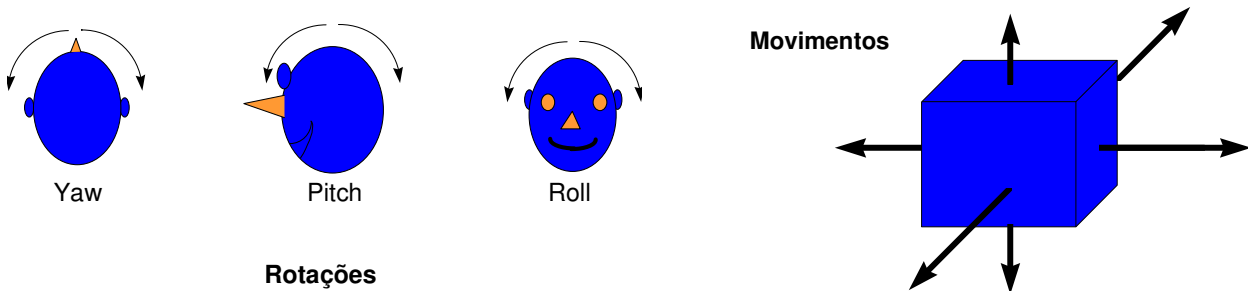


Figura 6.1 - Graus de Liberdade

6.2. Visão Estéreo ou Visão Espacial

A percepção de profundidade pode ocorrer com dois olhos ou com apenas um. Quando apenas um olho é usado e a profundidade é percebida baseada em características inerentes à imagem como perspectiva linear, sombras, oclusões (objetos mais distantes são bloqueados por objetos mais próximos), texturas e detalhes do objeto(Figura 5.7).

Importante também na visão mono-ocular é a chamada “motion parallax” através da qual, quando se move a cabeça, objetos mais próximos movem-se mais depressa que objetos mais distantes.

Como a maioria das pessoas tem dois olhos, associamos muito a percepção de profundidade à visão estereoscópica.

Na visão estereoscópica, cada olho registra uma imagem diferente e o cérebro usa o pequeno deslocamento lateral destas imagens para medir a profundidade (Figura 6.3).

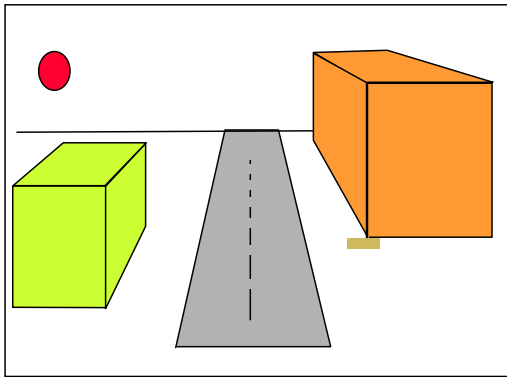


Figura 6.2 - Exemplo do Efeito de Perspectiva

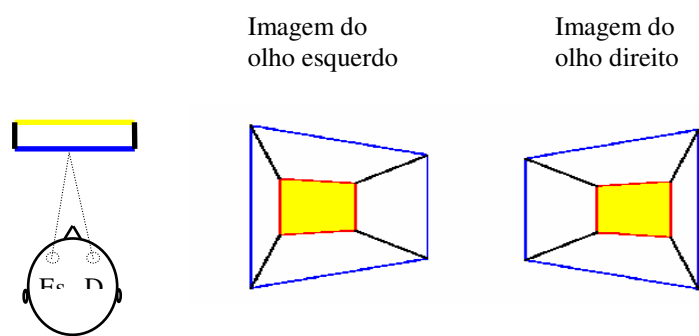


Figura 6.3 - Modelo de Visão Estereoscópica

Além disto, são usadas informações acerca da rotação de cada olho ou da chamada “convergência” para determinar a real posição de um objeto.

O ângulo de visão de uma pessoa, chamado “campo de visão”, é de aproximadamente 180° na horizontal e 150° na vertical.

Como podemos girar os olhos para a esquerda ou para a direita, até um ângulo de 45°, temos a chamada visão lateral que amplia o campo que se pode ver para algo em torno de 270° ao redor da cabeça(Figura6.4)

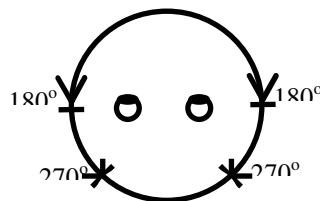


Figura 6.4 - Campo de Visão Horizontal

Stereo Glasses ou Shutter Glasses

Útil em aplicações como visualização científica ou cirurgias nas quais várias pessoas precisam observar a mesma imagem estéreo, estes dispositivos buscam gerar estas imagens a partir de uma tela de computador como as que estamos acostumados a usar.

A idéia é colocar nos usuários pares de óculos com lentes de cristal líquido capazes de bloquear sua visão quando necessário. Para o funcionamento do sistema, deve haver um controle da seguinte forma:

- exibe-se na tela a imagem correspondente a do olho esquerdo e bloqueia-se a visão do olho direito
- a seguir faz-se o contrário, ou seja, exibe-se a imagem do olho direito e bloqueia-se a visão do esquerdo.

Nestes sistemas, a dificuldade é garantia do sincronismo no processo de exibição e bloqueio de forma a não permitir que o usuário perceba que isto está ocorrendo.

A empresa StereoGraphics produz o “CrystalEyes” ao custo de U\$ 985,00. Este *Shutter Glasses* funciona em PC e em Silicon Graphics.

Head Mounted Displays

A idéia dos HMDs ou VPC (Visores Presos a Cabeça) é exibir em duas pequenas telas (uma para cada olho) imagens de uma cena virtual.

Os HMDs são construídos, normalmente, usando dois tipos de monitores: os CRTs ou monitores de TV e os monitores de cristal líquido, os LCDs.

Os monitores de TV, em função da avançada tecnologia disponível nesta área, podem exibir imagens de alta resolução com uma qualidade de cor excelente, mesmo em pequenas dimensões. Entretanto, são relativamente pesados, volumosos e colocam altas voltagens muito próximas à cabeça do usuário.

Os LCDs, por sua vez, são leves e podem ser usados com pequenas voltagens. Entretanto, a resolução em monitores pequenos ainda é baixa.

Acoplados aos HMDs, em geral existem sistemas de rastreamento da posição da cabeça a fim de permitir que se atualize as imagens do mundo virtual de acordo com a direção para onde o usuário está olhando.

Atualmente existem no mercado diversas marcas de HMD. Para o mercado doméstico destacam-se 3 principais: CyberMaxx, i-glasses ! e VFX-1.

BOOMs - *Binocular Omni-Orientation Monitor*

Em algumas aplicações de Realidade Virtual a qualidade da imagem é essencial. Nestas, torna-se mandatório o uso de óculos baseados em CRTs. Para evitar, então, problemas com as altas voltagens necessárias e com o peso inerente a estes dispositivos, foram criados os BOOMs.

Tratam-se de pequenos monitores colocados em uma caixa dentro da qual o usuário pode olhar. Esta caixa fica suspensa por um braço mecânico, que leva a corrente elétrica necessária até os monitores.

O braço mecânico é, em geral, articulado permitindo que o usuário, segurando a caixa, possa girá-lo em qualquer direção. Se for colocado nas juntas deste braço mecânico um conjunto de sensores, este pode servir também como rastreador da posição da cabeça.

A empresa FakeSpace fabrica um BOOM de alta resolução (1280x1024) capaz de exibir imagens de 16 milhões de cores, por U\$ 74,000.

Displays de Retina

O HITL (Human Interface Technology Lab) está desenvolvendo um tipo de monitor inovador. Trata-se de um laser que exibe as imagens diretamente na retina do usuário. As vantagens são que o sistema não requer equipamentos pesados e pode gerar imagens coloridas de alta resolução.

6.3. Dispositivos de Rastreamento

Chamados de *tracking devices* estes dispositivos tem por objetivo principal determinar a posição ou a orientação de uma parte do corpo do usuário.

Existem 6 tipos básicos de rastreadores: os mecânicos, os ultrassônicos, os magnéticos, os óticos, os inerciais e os por extração de imagens .

Rastreadores Mecânicos

Os *rastreadores mecânicos* são usados quando são necessárias alta velocidade e precisão no rastreamento. Quando se trata de rastrear o movimento da cabeça (ou do corpo como um todo) em geral o usuário veste um capacete ao qual é preso um braço mecânico articulado. A desvantagem desta forma de rastreamento é a pouca mobilidade que ela dá ao usuário. Atualmente, empresas como Fake Space, LEEP Systems e Exo Systems Inc, produzem este tipo de rastreadores.

Rastreadores Ultrassônicos

Os *rastreadores ultrassônicos* determinam uma posição pela emissão de um som que é captado por um conjunto de receptores. A idéia é que um mesmo controlador comanda a emissão de um som e “percebe” sua recepção nos captadores. O tempo decorrido desde a emissão até a recepção em cada captador, permite o cálculo da posição.

A vantagem deste tipo de rastreador é seu baixo custo e o fato de que no corpo do usuário é preciso apenas colocar pequenos emissores de ultrassom. A empresa americana Kontech, por exemplo, criou o RINGMOUSE, um pequeno anel para rastreamento da mão.

A desvantagem, por outro lado, é pouca precisão destes rastreadores, e a necessidade de que não haja obstáculos entre o emissor e o receptor de ultrassom.

Rastreadores Magnéticos

Os *rastreadores magnéticos* usam conjuntos de bobinas para produzir campos magnéticos e sensores para determinar o tamanho e a direção destes campos.

O problema deste tipo de rastreador é o tempo que se leva para calcular a posição do usuário e as interferências causadas por objetos de ferro e outras fontes de campos magnéticos. Mesmo assim, com o avanço da tecnologia, este tem sido o tipo preferido de rastreador para projetos que não exigem alta precisão na leitura da posição do usuário.

Atualmente, empresas como a Polhemus e Ascension, estão comercializando rastreadores deste tipo.

Rastreadores por Extração de Imagens

A idéia destes rastreadores é colocar pequenas luzes (*led's*) nas partes do corpo que devem ser rastreadas e, com uma câmera, filmar estas luzes.

As imagens filmadas são então processadas e, em função da posição das luzes, calcula-se a posição do usuário.

Pelo reduzido tamanho dos *leds*, esta é a forma de rastreamento mais confortável de ser usada, entretanto, é a que mais consome tempo de CPU para ser processada.

Rastreadores Óticos

Criados pelos pesquisadores Henry Fucks e Gary Bishop da UNC, os *rastreadores óticos* são como uma inversão dos sistemas de extração de imagens: uma câmera colocada sobre a cabeça do usuário, filma o teto que é composto de uma matriz de *leds* estáticos.

A idéia é fazer os *leds* pisarem seguindo algum padrão enquanto o usuário caminha pela sala. Quando uma câmera capta um dos *leds*, o sistema registra qual está acessado e assim pode saber a posição do usuário.

Para permitir a leitura da rotação do corpo ao redor do eixo vertical, são colocadas 4 câmeras sobre a cabeça do usuário.

Rastreadores sem Referencial

O grande problema de todos os tipos de sistemas de rastreamento vistos até agora é a pouca mobilidade que eles proporcionam ao usuário que, em geral, tem que ficar “amarrado” ao computador por um conjunto de fios ou restrito a uma área onde os sensores podem captar seu movimento.

Pensando nisto, vem surgindo nos últimos anos, uma linha de pesquisa na área de “Sourceless Trackers” ou rastreadores sem fontes ou sem referencial.

Estes rastreadores dividem-se em algumas categorias, em geral medindo inclinações ou giros, a partir de uma posição inicial.

As principais categorias são: os Inclinômetros, as Chaves de Inclinação e os Sensores Piezoelétricos de pressão e torção.

Os *Inclinômetros* (ou *tilt sensors*) são pêndulos que medem a inclinação de um objeto (ou de parte de um corpo) a partir de uma posição anterior onde o pêndulo estava parado.

As *chaves de inclinação* (ou *tilt switches*) também medem inclinações como os inclinômetros, mas de uma maneira digital. O funcionamento é o seguinte: imagine uma estrutura plana com pequenos parafusos, ao redor dos quais são colocados arruelas ou anéis sem que estes se toquem (Figura 6.5).

Se colocarmos contatos elétricos ligados a cada um dos pares (Figura 6.6) e ligarmos em série com eles, mediadores de corrente, poderemos saber quando ocorre o fechamento ou a abertura do circuito.

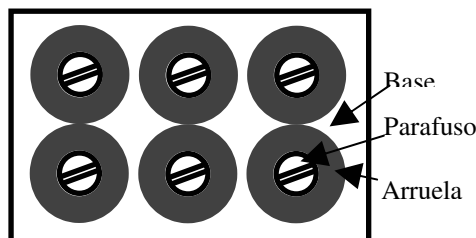


Figura 6.5 - Estrutura Física de um Tilt Switch

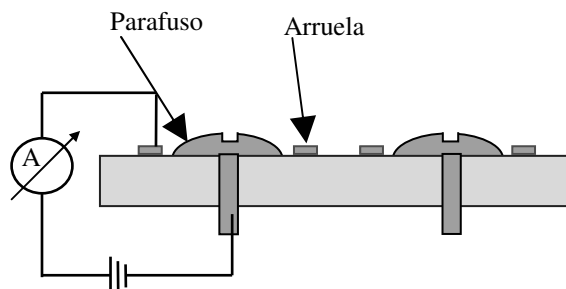


Figura 6.6 - Circuito Elétrico de um Tilt Switch

O fechamento ou a abertura dos contatos se dá colocando-se uma pequena quantidade de mercúrio (Hg) sobre a superfície. Quando a base estiver na horizontal, todas as chaves estarão em curto, quando houver uma inclinação, algumas delas se abrirão. Este processo de ‘abrir e fechar’ chaves, permitirá então, determinar a inclinação da base, que poderá ser por exemplo, colocado sobre a cabeça de um usuário, ou na base de um joystick.

Os *sensores piezoelétricos* são materiais capazes de gerar uma corrente elétrica ou mudar sua resistência quando sofrem mudança em sua forma. Equipamentos como este podem ser usados, por exemplo, para medir a flexão dos dedos da mão ou de juntas como cotovelos e joelhos.

6.4. Luvas Eletrônicas

As luvas eletrônicas, buscam capturar os movimentos das mãos (e dos dedos) e usá-los como forma de interação com o usuário (veja o capítulo sobre Aplicações de Realidade Virtual). Neste capítulo apresentaremos as principais características de construção destas luvas baseados em exemplos de dispositivos comerciais.

Luvas com Mediadores de Luminosidade

Sistema usado pela empresa VPL na construção de sua famosa Data Glove, baseia-se na foto de que uma fibra ótica altera suas propriedades de transmissão de luz quando é flexionada.

A idéia foi colocar sobre cada dedo (pelo lado externo da mão) um par de fibras óticas. Uma das fibras serve para medir a flexão dos dedos na junção com a palma da mão e a outra para medir a flexão no meio dos dedos.

Numa das extremidades de cada uma das fibras é colocado um emissor de luz com intensidade constante, no outro uma foto-célula(6.7).

Posteriormente, é feita uma leitura das foto-células para então calcular o grau de flexão dos dedos.

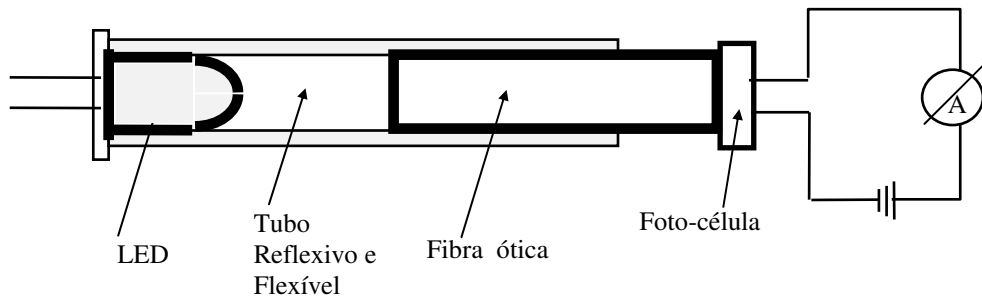


Figura 6.7 - Sistema Medição de Luminosidade com Fibra-Ótica Usado em Luvas

Atualmente a empresa *General Reality* usa este sistema na luva “5th Glove 95”. Seu preço é U\$500,00, aproximadamente.

Na Universidade de Illinois (Chicago) os pesquisadores Thomas De Fonti e Donel Sandin criaram o “Sayre Glove” que no lugar das fibras óticas usavam apenas tubos com uma luz em uma extremidade e uma foto-célula em outra.

Luvas com Esqueletos Externos

Introduzida em 1990 pela EXOS Inc. a “Dextrous Hand Master” lançou a idéia de usar uma espécie de armadura externa presa à mão para ler seus movimentos.

Esta estrutura precisa de uma leitura rápida e precisa de todos os dedos através de colocação de um sensor em cada junta (Figura 6.8). O custo de uma “Dextrous Hand Master”, gira ao redor dos U\$ 15.000,00 dólares.

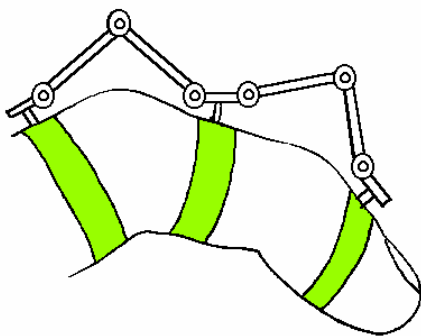


Figura 6.8 - Esquema do Dextrous Hand Master

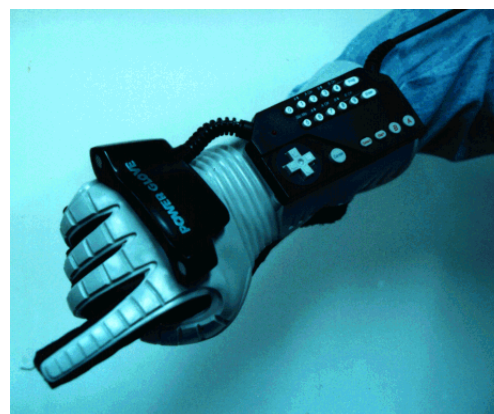


Figura 6.9 - Power Glove

Luvas com Tinta Condutiva

A mais famosa de todas as luvas, a “Power Glove” (figura 6.9), criada pela empresa Mattel para a Nintendo, é uma luva que usa tinta condutiva para aferir o movimento dos dedos.

A idéia foi colocar um medidor de resistência elétrico entre os extremos de uma tira pintada com tinta condutora sobre um substrato flexível. Quando este substrato é então colocado sobre o dorso da mão (dentro de uma luva de lycra) pode-se realizar a leitura dos movimentos dos dedos.

Devido ao seu baixo preço (\pm U\$ 50,00) muitas pessoas interessaram-se em usá-la no ligado a um PC. Em 1990 a revista Byte publicou um artigo apresentando as alterações necessárias para ligá-la à porta paralela de um PC .

Outra adaptação foi feita em 1993 para ligá-la à porta serial através da “PGSI - Power Glove Serial Interface” o que permitiu seu uso em Mac e Amiga, além de PCs.

Atualmente se pode comprar uma *Power Glove*, já modificada para o uso em PC, através da INTERNET em endereços como, por aproximadamente U\$100,00.

Atualmente a luva “CyberGlove” da empresa Virtual Technologies, também usa este sistema.

6.5. Dispositivos Geradores de Som 3D

O conceito de audio virtual, definido por Currell no artigo “*Virtual audio: new uses for 3-D sounds*”, é de grande importância em Realidade Virtual para dar ao usuário a real sensação de imersão.

A adição de sons, em qualquer processo de exibição de imagens que pretende ser de alguma forma interativo, torna a exibição muito mais realista. Quando em uma tela, aparece no centro uma bola picando, a agregação de um som mono, com a simples reprodução do som real sincronizado com o movimento da bola, dá uma sensação de realismo muito grande para quem observa.

Entretanto, quando colocamos um HMD em um usuário os sons do mundo virtual além de terem um timbre, devem ter um dado adicional: sua posição. Ou seja, **de onde vem este som**, dentro do mundo real.

O primeiro problema que ocorre no caso do som 3D é que a geração do som para cada ouvido deve mudar a cada movimento do corpo ou da cabeça do usuário, bem como da fonte sonora.

Na área de som 3D um dos trabalhos mais importantes já realizados está sendo conduzido pela Ames Research Center da NASA, em colaboração com Scott Foster do Cristal River Engeneering de Groenland, CA. A empresa produz um equipamento chamada **Convolutron** que custa aproximadamente U\$ 15.000,00 e opera PCs, permitindo até 4 canais de entrada. Há também sistemas mais baratos(entre U\$ 500,00 e U\$ 1,500) que trabalham com 2 canais.

Nestes sistemas, algumas caixas de som são colocadas em uma sala e dispostas em forma de círculo. O usuário, colocado no centro do círculo, tem a ilusão de que o som anda dentro da sala. Entretanto, na versão atual, ele ainda não pode mover-se.

6.6. Dispositivos Geradores de Sensação de Tato e de Força

Também chamados de *haptic interfaces* os sistemas que produzem sensação de tato (*touch feedback*) ou de força (*force feedback*) são usados em ambientes de Realidade Virtual para aumentar a sensação de imersão . Por exemplo, pegar uma bola de tênis virtual com a mão e jogá-la para cima pode ser uma experiência muito mais rica se você sentir a textura e o peso bolinha. Manipular o braço de um robô para transportar um objeto, pode ser muito mais rápido se você tiver a sensação de que está tocando o objeto e de que ele tem um certo peso.

Diferença entre as Sensações de Tato e de Força

Considere uma mão tocando levemente uma mesa. Neste caso, os sensores que respondem são os sensores de tato. Se a mão começar a apertar a mesa, mais e mais forte, então os músculos da mão e do braço começarão a se contrair. O nível de força aplicado é então sentido pelos ligamentos, nos músculos e nos ossos.

A sensação de tato provê informações sobre a geometria da superfície, sua textura ou sua temperatura. Por outro lado, a sensação de força fornece informações sobre o peso do objeto e sua maciez ou dureza.

Dispositivos Geradores de Tato

Um dos mais antigos geradores de tato são as bolsas de ar colocadas dentro de luvas. Este sistema, criado pela empresa inglesa Advanced Robotics Research Center, enche e esvazia rapidamente as bolsas de ar para gerar pressão sobre os dedos do usuário.

A empresa Virtual Technologies produz a luva *CyberTouch*, que com atuadores que vibram dentro da luva, produzem sensação de tato nas pontas dos dedos e na palma da mão. O custo desta luva é de US\$ 14.800,00.

Outro sistema trata-se de uma matriz de pinos(semelhantes a agulhas) que, colocados dentro de solenóides, movem-se contra a pele do usuário, fornecendo a sensação de textura.

Dispositivos Geradores de Força

Os *joysticks* com *force feedback* provavelmente são os dispositivos mais comuns nesta área. Criados para atuar em *video-games*, eles podem, por exemplo, em jogos como o DOOM, gerar a vibração do manete quando se bate em uma parede.

Mais sofisticados, os *braços geradores de força*, são braços mecânicos semelhantes a robôs, nos quais o usuário pega o manipulador e move-o pelo espaço. O programa de controle do robô, pode, dependendo da necessidade, gerar forças contrárias ao movimento da mão do usuário.

Nestes dois últimos exemplos, os dispositivos apresentados geram a sensação de força sobre toda a estrutura do braço. Para criar esta sensação apenas sobre os dedos, são usados esqueletos externos (seção 4.3.2) e os *dedais virtuais*. Os esqueletos externos além de registrarem a posição dos dedos podem gerar forças contrárias a seus movimentos. Já os dedais virtuais criados no MIT são usados para prover uma sensação mais realista do gesto de pinçar (com o polegar e com o indicador) um objeto virtual. Batizado de *Phatom* o sistema, que custa U\$ 19.000,00, é composto de um par de dedais presos a braços mecânicos que impedem o movimento livre dos dedos.

7. VRML - A Internet em 3 Dimensões

7.1. Introdução

VRML é a abreviação de Virtual Reality Modeling Language, ou Linguagem para Modelagem em Realidade Virtual. É uma linguagem independente de plataforma que permite a criação de cenários 3D, por onde se pode passear, visualizar objetos por ângulos diferentes e interagir com eles. A linguagem foi concebida para descrever simulações interativas de múltiplos participantes, em mundos virtuais disponibilizados na Internet e ligados com o WWW (World Wide Webe), mas a primeira versão da linguagem não possibilitou muita interação do usuário com o mundo virtual. Nas versões futuras seriam acrescentadas características como animação, movimentos de corpos, som e interação entre múltiplos usuários em tempo real. A última versão é a 2.0 draft #3, chamada *Moving Worlds VRML 2.0*.

Apresentada pela primeira vez em 1994 na Conferência Mundial sobre World Wide Web, realizada em Genebra na Suíça, a linguagem tem como objetivo dar o suporte necessário para o desenvolvimento de mundos virtuais tridimensionais multi-usuários na Internet, sem precisar de redes de alta velocidade. O código VRML é um subconjunto do formato de arquivo ASCII do Open Inventor, da *Silicon Graphics*, com características adicionais para navegação na Web. Esta característica é equivalente às âncoras do HTML, ou seja, pode-se criar âncoras em um ambiente virtual que levem a outros ambientes virtuais.

A linguagem, na sua versão 1.0, trabalha com geometria 3D, permitindo a elaboração de objetos baseados em polígonos, possui alguns objetos pré-definidos como cubo, cone, cilindro e esfera, suporta transformações como rotação, translação e escala, permite a aplicação de texturas, luz, sombreamento, etc. Outra característica importante da linguagem é o Nível de Detalhe (*LOD, level of detail*), que permite o ajustamento da complexidade dos objetos, dependendo da distância do observador.

7.2. Características

7.2.1 A linguagem

Tudo que se precisa para escrever um código VRML é um editor de textos. Uma vez editados, os arquivos são gravados em formato ASCII com a extensão **.wrl**. Na verdade, a linguagem apenas descreve como os ambientes tridimensionais devem ser representados. O arquivo não precisa ser compilado. Pode-se, por exemplo, criar um cubo e gravá-lo em um arquivo chamado *cubo.wrl*. O código VRML para este cubo descreverá as características do ambiente, como coordenadas, luz, cores etc. Também pode-se colocar, em um mundo, objetos que estão localizados remotamente em outros lugares na Internet, além de links que levam a outros homeworlds ou homepages.

Para fins de identificação, um arquivo VRML 1.0 apresenta um cabeçalho : **#VRML V1.0 ascii** e um arquivo VRML 2.0 é iniciado por: **#VRML V2.0 utf8**.

O caracter '#' também significa comentário. Toda linha que começa com # será ignorada pelo browser. É recomendável usar comentários no meio do código, pois isso facilita a compreensão e identificação de partes do cenário.

7.2.2 Unidades de Medida

VRML é baseada no sistema cartesiano 3D. A seqüência dos eixos é X, Y, Z, a unidade de medida para distâncias é **metros** e para ângulos é **radianos**. Usando uma página na frente do leitor como referência, o eixo-X positivo está para a direita, o eixo-Y positivo está para cima e o eixo-Z positivo está perpendicular aos dois anteriores, saindo da página em direção ao leitor. O sentido de rotação para ângulos positivos é o anti-horário, quando a seta vai em direção ao observador.

7.2.3 - VRML 1.0

VRML é basicamente uma simplificação do Open Inventor, apresentando alguns de seus aspectos mais relevantes como: formas, propriedades de materiais, transformações, visões de câmera, texturas mapeadas, e iluminação. Há pouca possibilidade de interação, mas algumas extensões como Live 3D no Netscape adicionaram outras características de alteração do ambiente, animação e som. maiores detalhes sobre VRML podem ser obtidos na literatura [41, 114, 116-118] ou em tutoriais como: <http://www.dc.ufscar.br/~juliano/vrmltut>. Um endereço muito importante para iniciar-se os estudos de VRML é: <http://www.sdsc.edu/vrml/> que contem ponteiros para diversos recursos, ferramentas, tutoriais, especificações, etc.

7.2.4 - VRML 2.0

A versão de VRML 1.0 tem como principais características a criação de mundos 3D estáticos e a criação de âncoras para outros ambientes. por outro lado, na versão de VRML 2.0, os objetos do mundo virtual agora podem mover-se e responder a eventos baseados no tempo ou em iniciativas do usuário. Além disso, esta nova versão permite a utilização de objetos multimídia, como sons e filmes em uma cena 3D.

Em resumo, as características de VRML 2.0 podem ser agrupadas em quatro áreas principais: melhoria dos mundos estáticos, interação, animação e comportamento baseado em scripts, e prototipação de novos objetos VRML.

Outros endereços interessantes para os estudos de VRML são: <http://vrml.wired.com/>; <http://vrml.sgi.com/>; e <http://vag.vrml.org/>.

Referências Bibliográficas

1. ACKERMAN, M. J. - Accessing the Visible Human Project. <http://www.unicamp.br/NIB/visible/dlib.htm>
2. AMES, A., NADEAU, D., MORELAND, J. - VRML Sourcebook - <http://www.wiley.com/compbooks/k26.html> - John Wiley & Sons, Inc. 1995.
3. ARAÚJO, R.B. & KIRNER, C. - *Especificação e Análise de um Sistema Distribuído de Realidade Virtual*, Anais XIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC, SBC, Fortaleza, CE, Maio, 1996.
4. ARAÚJO, R.B. & KIRNER, C. - *Network Requirements for Large Virtual Environments*, In: RIX, J. et al. - *Virtual Prototyping: Virtual Environments and the Product Design Process*, Chapman & Hall, London, UK, 1995, pp. 184 - 195.
5. ASCENCION TECHNOLOGY CORPORATION. P.O. Box 526, Burlington, VT 05402 e-mail: ascencion@word.std.com
6. AUKSTAKALNIS, S. & BLATNER, D. - *Silicon Mirage: The Art and Science of Virtual Reality*, Peatchpit Press, Berkeley, CA, 1992.
7. AVVIC/VESIV - <http://www.dc.ufscar.br/grv/>; <http://www.first.gmd.de/cooperations/>
8. AZUMA, R. - *Tracking Requirements for Augmented Reality*, Communications of the ACM, 36(7):50-51, July 1993.
9. BAINS, S. - Touching the other side - Virtual Reality Special Report - May 96. p. 58
10. BAJURA, M., FUCHS, H., OHBUCHI, R. - Merging Virtual Reality with the Real World: Seeing Ultrasound Imagery within the Patient - Computer Graphics (Proc. Siggraph), ACM Press, 1992, p. 203.
11. BAJURA, M. & NEUMANN, U. - Dynamic Registration Correction in Video-Based Augmented Reality Systems, IEEE Computer Graphics & Applications, 15(5):52-60, Sept. 1995.
12. BEGAULT, D.R. - *3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia*, Academic Press, Cambridge, MA, 1994.
13. BELL, G., PARISI, A. E PESCE, M. The VRML 1.0 Specification - <http://www.hyperreal.com/~mpesce/vrml/vrml.tech/vrml10-3.html> - May, 1995.
14. BENFORD, S. et al. - *Networked Virtual Reality and Cooperative Work*, Presence, 4(4):364-386, 1995.
15. BERGER, J.E. et al. - *NVR: A System for Network Virtual REALITY*, Proc. of the 1994 IEEE Conference on Multimedia Computing Systems, 1994.
16. BISHOP, G. et al. - *Research Directions in Virtual Environments*, Computer graphics - ACM, 26(3):153-177, Aug. 1992.
17. BOMAN, D.K. - *International Survey: Virtual Environment research*, IEEE Computer, 28(6):57-65,

June 1995.

18. BOWSKILL, J. & DOWNIE, J. - *Extending the Capabilities of the Human Visual System: An Introduction to Enhanced Reality*, Computer Graphics - ACM, 29(2):61-65, May 1995.
19. BRICKEN, W. & COCO, G. - *The VEOS Project*, Presence, 3(2):111-129, 1994.
20. BRILL, LOUIS M. "Virtual Auditoriums - Sharing VR in Small Groups" - Virtual Reality Special Report, Nov. 1995, p. 17
21. BURDEA, G. & COIFFET, P. - *Virtual Reality Technology*, John Wiley & Sons, New York, NY, 1994.
22. CALVIN, J. et al. - *The SIMNET Virtual World Architecture*. Proc. of The IEEE VRAIS'93, IEEE, 1993, pp. 450-455.
23. CARLSON, C. & HAGSAND, O. - *DIVE - A Multi-User Virtual Reality System*. Proc. of The IEEE VRAIS'93, IEEE, 1993, pp. 394-400.
24. CODDELA, C. et al. - *A Toolkit for Developing Multi-User Distributed Virtual Environments*. Proc of the IEEE VRAIS'93, 1993, pp. 401-407.
25. CRISTAL RIVER ENGINEERING - <http://www.cre.com>
26. CRUZ-NEIRA, C. et al. - *The CAVE Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment*, Communication of the ACM, 35(6):64-72, June 1992.
27. CRUZ-NEIRA, C. et al. - *The CAVE Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment*, Communication of the ACM, 35(6):64-72, June 1992.
28. CYBEREVENT GROUP INC - e-mail: vrevents@aol.com
29. DIVISION - <http://www.division.com/>
30. DURLACH, N.I. & MAVOR, A.S. - *Virtual Reality: Scientific and Technological Challenges*, National academy Press, Washington, DC, 1995.
31. EGLOWSTEIN, H. - Reach out and touch tour data - BYTE, JUL 90, p. 283
32. ELLIS, S.R. - *What are Virtual Environments?*, IEEE Computer Graphics & Applications, 14(1):17-22, Jan. 1994.
33. EMERSON, T. - *Distributed Virtual Environment Bibliograph*, HITL B-96-1, http://www.hitl.washington.edu/projects/knowledge_base/distvr/, April 1996.
34. EMERSON, T. - *Information Resources in Virtual Reality (IRVR)*, HITL B-93-1-update 05/03/96, http://www.hitl.washington.edu/projects/knowledge_base/irvr/, March 1996.
35. ENCARNACÃO, J.L. E ROSEUNBLUM, L. - *European IEEE Computer Graphics and Application*, Vol 14, No.1, Jan. 1994, p. 60.
36. EXOS SYSTEMS INC.- 2A Gill ST.- Woburn, MA 01801 - Email: exos@exos.com. Web: <http://www.exos.com>
37. FAKE SPACE LAB - 4085 Campbell Avenue, Menlo Park CA 94025 - e-mail: fakespace@well.com
38. FEINER, S. et al. - *Knowledge-Based Augmented Reality*, Communications of the ACM, 36(7):52-62, July 1993.
39. FELDBERG, I. - *Ian's VR Buying Guide*, <http://www.cs.jhu.edu/~feldberg/vr/vrbg.html/>, May 1996.
40. FISHWICK, P.A. - *Simulation Model Design and Execution: Building Digital Worlds*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995.
41. FOX, D. & SHADDOCK, P. - *VRML Construction Kit* - Waite Group Press - <http://www.waite.com/waite>
42. GADDIS, T. - *Planning your Virtual Reality lab*, VR in the Schools, 1(2):12-15, Sept. 1995.
43. GARCIA-ALONSO, A. et al. - *Solving the Collision Detection Problem*, IEEE Computer Graphics & Applications, 14(3):36-43, May 1994.
44. GILKEY, R.H. & WEISENBERG, J.M. - *The Sense of Presence for the Suddenly Deafened Adult: Implications for Virtual Environments*, Presence, 4(4):357-363, 1995.
45. GOSSWEILER, R. et al. - *An Introductory Tutorial for Developing Multiuser Virtual Environments*, Presence, 3(4):255-264, 1994.
46. HANCOCK, D. - *Viewpoint: Virtual Reality in Search of Middle Ground*, IEEE Spectrum, 32(1):68, Jan 1995.
47. HAND, C., TOWN, J. E., EMERSON, T. - *The Power Glove FAQ* - http://www.hitl.washington.edu/projects/knowledge_base/virtual-worlds/glove-faq.html
48. HARDENBERGH, J. C. - *VRML Frequently Asked Questions*, http://www.oki.com/vrml/vrml_FAQ.html/, Feb. 1996.
49. HIGH TECHSPLANTATION, INC. - *medical virtual reality* - <http://www.ht.com>
50. HIROTA, K. E HIROSE, MICHITAKA - *Providing force feedback in Virtual Environment* - IEEE Computer Graphics and Application, Sep. 1995, p. 22
51. HITCHNER, L. - *VR Development Software*, VR News, 4(1):26-29, Jan/Feb, 1995.

52. HOLLANDS, ROBIM - Sourceless trackers. V.R. NEWS, vol. 4, nº 3, Apr. 95
53. HOLMGREN, D.E. & ROBINETT, W. - Scanned Laser Displays for Virtual Reality: A Feasibility Study, Presence, 2(3):171, 1994.
54. HUMAN INTERFACE TECHNOLOGY LAB - http://www.hitl.washington.edu/projects/knowledge_base/virtual-worlds
55. ISDALE, JERRY - "What is Virtual Reality? - A homebrew Introduction and Information Resource List". <http://sunee.uwaterloo.ca/pub/vr/documents/WHATISVR.TXT>.
56. JACOBSON, L. - *Garage Virtual Reality*, SAMS Pub., Indianapolis, IN, 1994.
57. JACOBSON, L. - *Virtual Reality: A Status Report*, AI Expert, pp. 26-33, Aug. 1991.
58. KALAWSKY, R.S. - *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*, Addison-Wesley, 1993.
59. KAY, KEPLER E BALCH, DAVID - Providing Health Care Where it's needed most. Virtual Reality Special Report. May 1996, p. 43.
60. KRUEGER, M.W. - *Artificial Reality II*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1991.
61. LATTA, J. N. & OBERG, D. J. - *A Conceptual Virtual Reality*, IEEE Computer Graphics & Applications, 14(1):23-29, Jan. 1994
62. LOFTIN, R. B. E KENNY, P.J. - Training the Hubble Space Telescope Flight Team - IEEE Computer Graphics & Applications, p.31, Sep. 1995
63. LOFTIN, R.B. et al. - Applying Virtual Reality in Education: A Prototypal Virtual Physics Laboratory, Proc. of the IEEE Symposium on Research Frontiers in Virtual Reality, 1993.
64. MACEDONIA, M. et al. - *NPSNET: A NetWork Software Architecture for Large-Scale Virtual Environments*, Presence, 3(4):265-287, 1994.
65. MAMAGHANI, F. - *What Makes Virtual Systems a Reality*, Computer Graphics - ACM, 28(2):105-109, May 1994.
66. McCORMICK, B. et al. - Visualization in Scientific Computing, Computer Graphics, 1(6), 1987.
67. McDONALD, L. & VINCE, J., ed - *Interacting with Virtual Environments*, John Wiley & Sons, Chichester, England, 1994
68. MORIE, J.F. - *Inspiring the Future: Merging Mass Communication, Art, Entertainment and Virtual environments*, Computer Graphics, 28(2):135-138, May 1994.
69. MORRISON, J. - *The VR-Link Networked Virtual Environment Software Infrastructure*, Presence, 4(2):194-208, 1995.
70. MOSHEL, J. et al. - *Dynamic Terrain*, Simulation, 62(1):29-40, Jan. 1994.
71. MR Tool kit - <http://www.cs.ualberta.ca/~graphics/MRToolkit.html/>
72. Naval Oceans System Center - NOSC - <http://WWW.NOSC.MIL>
73. PARADIGM GENESIS-VIRTUAL REALITY SYSTEMS AND COMPONENTS - <http://www.garlic.com/vr> - email: paradigm@netcom.com
74. PESCE, M. - VRML - Browsing and Building Cyberspace from MacMillan Computer Publishing - New Riders Publishing. <http://www.mcp.com/newriders>
75. PESCE, M. - WWW-VRML - <http://www.eit.com/www.lists/www/lists.2.html>, 1994
76. PIMENTEL, K. & BLAU, B. - *Teaching Your System to Share*, IEEE Computer Graphics & Applications, 14(1): 60-65.
77. PIMENTEL, K. & TEIXEIRA, K. - *Virtual Reality Though the New Looking Glass*, Intel/WindCrest/McGraw-Hill, New York, NY, 1993.
78. POLHEMUS INC - <http://www.polhemus.com> ou product-info@polhemus.com
79. POLIS, M.F. et al. - *Automating the Construction of Large-Scale Virtual Worlds*, IEEE Computer, 28(7):57-65.
80. POWER GLOVE SERIAL INTERFACE FAQ. <http://acm.uiuc.edu/pub/psgi/psgi-faq.html>
81. RESSLER, SANDY - Applying Virtual Environments to Manufacturing - National Institute of Standards and Technology - <http://www.nist.gov/itl/div878/ovrt/people/sressler/mfg/mfgVRpaper.fm.html>, 1996.
82. RICHARDSON, D.-A Mágica dos estereogramas no PC. Waite Group Press - Axcel Books, 1995.
83. ROBERTSON, G.G. et al. - *Nonimmersive Virtual Reality*, IEEE Computer, Feb. 1993, pp. 81-83.
84. ROBINETT, W. & HOLLOWAY, R. - *Implementation of Flying, Scaling, and Grabbing in Virtual Worlds*, Proc. of 1992 Symposium on Interactive 3D Graphics, Cambridge, MA, March 1992, pp. 189-192.

85. ROEHL, B. - A comparison of Low Cost HMDs - Virtual Reality Special Report, Jul 1996, p19.
86. ROEHL, B. - Cyber Gear - The Ring Mouse Rontek. Virtual Reality Special Report, Jan. 1996, p. 63
87. ROGERS, D.F. & ADAMS, J.A. - *Mathematical Elements for Computer Graphics, 2nd ed.*, McGraw-Hill, New York, NY, 1990.
88. ROSENBLUM, L.J. , Bryson, S., Feiner, S. K. - Virtual Reality Unbound - IEEE Computer Graphics and Application - Sep. 1995, p. 19.
89. SARA R. HEDBERG. Virtual Reality at Boeing: Pushing the Envelope. Virtual Reality Special Report, Jan. 1996, pág. 51.
90. SCHLOERB, D.W. - *A Quantitative Measure of Telepresence*, Presence, 4(1):64-80, 1995
91. SENSABLE DEVICES INC - The Phantom Haptic Interface. <http://www.tiac.net/users/sensable/overview.htm>
92. SENSE8 - *World Toolkit Technical Overview*, Sense8 Corp., Sausalito, CA, 1994. (<http://www.sense8.com/>)
93. SHAW, C. et al. - *Decoupled Simulation in Virtual Reality with MR Toolkit*, ACM Transection of Information Systems, 11(3);287-317, July 1993.
94. SIGGRAPH'95 - Course notes <http://www.siggraph.org/conferences/siggraph95/siggraph95.html>
95. SILICON GRAPHICS - <http://www.sgi.com/Products/Indigo2/IMPACT/>.
96. SINGH, G. et al. - *BrickNet: A software Toolkit for Network-Based Virtual Worlds*, Presence, 3(1):19-34, 1994.
97. SINGH, G. et al., ed. - *Virtual Reality Software & Technology*, World Scientific, Singapore, 1994
98. SINGHAL, S.K. & CHERITON, D.R. - *Exploiting Position History for Efficient Remote Rendering in Networked Virtual Reality*, Pesence, 4(2):169-193,1995.
99. SNOWDON, D.N. & WEST, A.J. - *AVIARY: Design Issues for Future Large-Scale Virtual Environments*, Presence, 3(4):288-308, 1994.
100. STRAYLIGHT CORP - 150, Mt. Bethel Rd., Warren, N.J. 07059.
101. STURMAN, D. E ZELTZER, D. - A Survey of Glove-based Input - IEEE Computer Graphics and Application, Vol 14, No.1, Jan. 1994, P. 30
102. STYTZ, M.R. - *Distributed Virtual Environments*, IEEE Computer Graphics & Applications, 16 (3) 19-31, May 1996.
103. THE OPEN INVENTOR FAQ - <http://www.sgi.com/Technology/Inventor/FAQ.html>
104. UNIVERSIDADE DA CAROLINA DO NORTE - <http://www.unc.edu>
105. Van HENSBERGEN, E. - *Distributed VR Mailing List FAQ* <http://www.csh.rit.edu/~airwick/dist.html>, 1996.
106. VIRTUAL TECHNOLOGIES - 2175 Park Blvd. - Palo Alto, CA 94306 - : <http://www.virtex.com/~virtex>
107. VIRTUALITY ENTERTAINMENT INC. - e-mail:enquiries@virtuality.com ou <http://www.virtuality.com>
108. WARWICK, K. et al., ed. - *Virtual Reality Engineering*, IEE, London, UK, 1993
109. WATKINS, C. & MARENK A., S.R. - *Virtual Reality Excursions*, Academic Press, Cambridge, MA, 1994.
110. WATT, A. & WATT, M. - *Advanced Animation and Rendering Techniques: Theory and Practice*, Addison-Wesley/ACM Press, New York, NY, 1992.
111. WENZEL, E. - Localization in Virtual Acoustic Display. Presence, 1(1):80-107, 1992.
112. WLOKA, M.M. - *Lag in Multiprocessor Vu Rt*, Presence, 4(1):50-63, 1995.
113. ZYDA, M.J. et al. - *The Software Required for the Computer generation of Virtual Environments*, Presence, 2(2), 1993.
114. AMES, A.L. et al. - *The VRML Sourcebook*. John Wiley & Sons, 1996.
115. BURDEA, G. - *Force and Feedback for Virtual Reality*. John Wiley & Sons, 1996.
116. FOX, D. & SHADDOCK, P. - *Web Publisher's Construction Kit with VRML/Live 3D: Creating 3D Web Worlds*. Waite Group, 1996.
117. HARTMAN, J. & WERNECKE, J. - *The VRML 2.0 Handbook: Buiding Moving World on the Web*. Addison-Wesley, 1996.
118. LEMAY, L. et al. - *3D Graphics and VRML 2*. Sams Net, 1996.
119. VINCE, J. - *Virtual Reality Systems*. Addison-Wesley, 1995.