

SKYROOM - Uma Experiência de Implementação em Realidade Virtual

LUCIANO SCLOVSKY
ANATÓLIO LASCHUK

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Instituto de Informática - II
Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação - CPGCC
Caixa Postal 15064 - CEP 91591-970, Porto Alegre, RS, Brasil

sclovsky@inf.ufrgs.br
laschuk@vortex.ufrgs.br

Abstract. This paper describes an implementation experience in Virtual Reality. SKYROOM is a virtual world where several playful interactions take place. The system generates stereo wireframes at a 32 Hz rate on a PC computer and uses a gesture-based interface.

1 Introdução

Atualmente existe um amplo esforço de pesquisa no campo da Realidade Virtual. Poucos pesquisadores dedicam-se a este estudo no Brasil, enquanto que a área tem se desenvolvido no exterior [Benedikt (1991)] [Bishop (1992)] [Krueger (1991)] [Rheigold (1991)].

O presente trabalho foi desenvolvido como parte de uma dissertação de mestrado no Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação - UFRGS [Sclovsky (1994)]. Na dissertação também é apresentada uma ampla revisão bibliográfica que inclui histórico, análise conceitual e aplicações da Realidade Virtual.

O objetivo deste trabalho é a vivência de problemas de Ciência da Computação envolvidos na implementação de um sistema de Realidade Virtual. Foi estudada a estrutura geral de um sistema de Realidade Virtual e, usada como base para a proposta de implementação. A aplicação implementada é o SKYROOM, um sistema com diversas interações lúdicas que privilegiou a interatividade, ilustrando algumas potencialidades de um mundo virtual.

2 Realidade Virtual

Realidade Virtual é um novo paradigma de interface homem-máquina, que constitui um salto qualitativo em relação a uma interface gráfica. O homem percebe, através de um ou mais de seus sentidos, dados vindos da máquina, exibidos em equipamentos especiais, em uma simulação gráfica interativa. A interface procura ser semelhante à realidade, buscando a sensação de presença em um ambiente informacional, uma ilusão criada por um computador.

A principal característica de uma Realidade Virtual é a **imersão** (inclusão, sensação de presença) de

uma pessoa em um ambiente que o cerca. *Displays* que ocupam o campo de visão dão ao observador a sensação de fazer parte da cena ao invés de olhá-la de fora [Foley (1987)]. Quando expande-se o campo de visão para além de cerca de 60 graus a sensação de ver uma *imagem* transforma-se na sensação de estar em um *lugar*, que é acompanhada de uma reação emocional [Psothka (1992)] [Bricken (1990)]. O *usuário* passa a ser um *participante*.

A imersão é dependente da interatividade e da vividez do sistema de Realidade Virtual. A **interatividade** é dada pelo grau de resposta às ações do participante. Se o sistema responder "instantaneamente" às ações do usuário, fornecendo um forte senso de realidade, seu grau de interatividade será o máximo possível. A interação de uma pessoa se dá através da **movimentação** (navegação) e da **manipulação**. A vividez do sistema será tanto maior quanto maior for o realismo sensorial percebido pelo participante, em um ou mais sentidos. Uma percepção multi-sensorial é mais vívida e a visão é o sentido mais vívido [Sclovsky (1994)].

Outro componente na criação da sensação de imersão é o **comportamento** realístico dos objetos no mundo virtual. Os objetos podem reagir à interação humana, à interação com outro objeto, ou ter um comportamento autônomo. O comportamento adequado dos objetos do mundo virtual tenta compensar o que falta na qualidade da imagem (Trimble *apud* [Davis (1991)]).

Vestuário computadorizado é a indumentária que deve ser usada pelo participante de uma Realidade Virtual, e que possui pelo menos um transdutor ou um dispositivo de saída (*display*), podendo combinar ambos na mesma peça. Os tipos mais comuns de vestuário computadorizado são as luvas, podem ser equipadas com sensores que medem os ângulos de flexão de cada

junta, e os *Head-Mounted Displays*. Outros tipos de equipamentos são descritos em [Sclovsky (1994)]¹.

O *head-mounted display* (HMD) é uma espécie de capacete (*helmet*) ou óculos (*goggles*) que, quando colocado, obscurece a visão do mundo real. Possui dois visores, um para cada olho, podendo fornecer uma imagem estereoscópica. Um jogo de lentes grande-angulares modifica o foco e cria um amplo campo de visão.

Sensores de rastreamento são acoplados a outros equipamentos para a leitura de sua posição e orientação, sendo um elemento chave para a interação do corpo do usuário com o mundo virtual. Os sensores de rastreamento possuem uma latência associada, devido ao tempo necessário para obter as medidas e as pré-processar antes de obter os valores.

3 Arquitetura de um Sistema de Realidade Virtual

Técnicas de Realidade Virtual podem ser usadas como forma de interface em diversos tipos de aplicação com finalidades diferentes, o que implicaria em arquiteturas específicas para cada aplicação. Todavia, a construção de uma interface de Realidade Virtual implica no uso de uma mesma arquitetura para estas diversas aplicações.

Uma interface de Realidade Virtual visa a criação da sensação de presença do participante em um mundo virtual. A imersão é decorrente dos graus de interatividade e de vividez do sistema. Idealmente, o grau de interatividade deve ser tal que o participante tenha respostas instantâneas às suas ações (segundo sua percepção), e o grau de vividez deve ser tal que o mundo virtual seja indistinguível do mundo real.

Um sistema de Realidade Virtual pode ser dividido em cinco componentes:

-o **transdutor** é o mecanismo de entrada de dados que transforma as ações do participante em informações internas do sistema e é necessário o uso de um transdutor (*hardware*) e de um processo de tratamento de sinais vindos do transdutor,

-o **simulador** é o núcleo do sistema e mantém a existência, continuidade e coerência do mundo virtual, sendo por isto responsável pelo comportamento dos objetos do mundo virtual. Esta parte do sistema implementa as funções relativas às diferentes aplicações,

-o **renderer** é o mecanismo de saída de dados que transforma as informações internas do sistema em sensações que serão percebidos pelo participante. Este

mecanismo inclui os *displays* e os processos que geram a saída de dados,

-o **banco de dados** contém as informações que descrevem o mundo virtual, e

-o **modelador** é o mecanismo de definição das diversas características do mundo virtual e pode ser implementado interna ou externamente ao mundo virtual.

Na figura 3.1, vê-se um ciclo entre o participante e o computador. Cada ciclo corresponde a uma iteração, e a cada iteração pode ser atribuído um *timestamp*, que corresponde ao tempo real percebido pelo participante na escala natural de tempo. O ciclo é iniciado pelas ações do participante que são transformadas em informações internas do sistema pelo transdutor. A saída do transdutor é a entrada do simulador. O simulador computa os acontecimentos no mundo virtual. Por fim, o mundo virtual é transformado em sensações para o participante através do *renderer*. O ciclo deve ser repetido diversas vezes por segundo, para criar a sensação de presença do participante no mundo virtual, *i.e.*, a sensação visual de movimento visual é obtido com taxas de quadros na ordem de 20 Hz, refletindo o grau de interatividade do sistema.

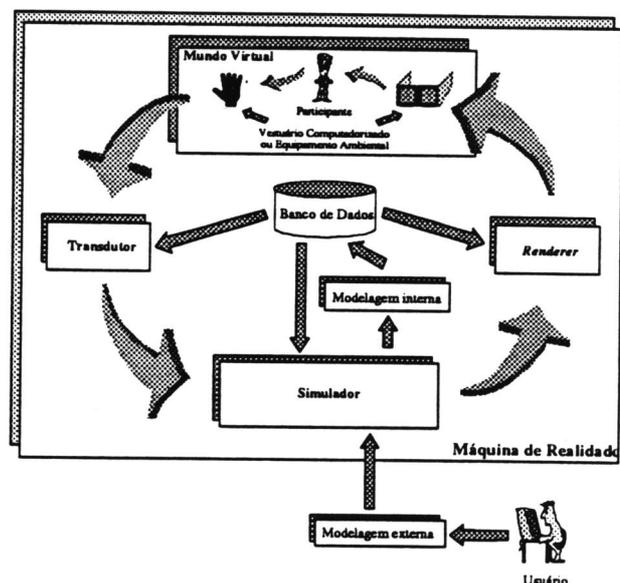


Figura 3.1: Arquitetura de um Sistema de Realidade Virtual

Existe um **compromisso entre a vividez e a interatividade do sistema**. Uma frequência baixa de iterações por segundo significa uma interatividade baixa. Para uma mesma capacidade de processamento, se for desejado aumentar esta frequência, será necessário diminuir o tempo de processamento de cada interação. Ora, esta diminuição implicará numa vividez

¹A *Dataglove* é uma marca de luva, fabricada pela *VPL Research Inc.*

menor, pois o algoritmo executado a cada iteração deverá ser simplificado para ser executado num menor tempo. Em outras palavras, enquanto a maior vividez implica em maior processamento por ciclo, a maior interatividade implica em menor processamento por ciclo.

O tempo de latência (*time lag*) de um sistema de Realidade Virtual é o tempo que transcorre entre uma ação do participante e a reação do sistema. Na figura 3.2, para fins de exemplo, o transdutor, o simulador e o *renderer* processam em paralelo, e cada um destes tem um tempo de processamento fixo de 50 ms. Neste caso, o tempo entre dois quadros é de 50 ms, a frequência de quadros é de 20 Hz e o tempo de latência é de 150 ms.

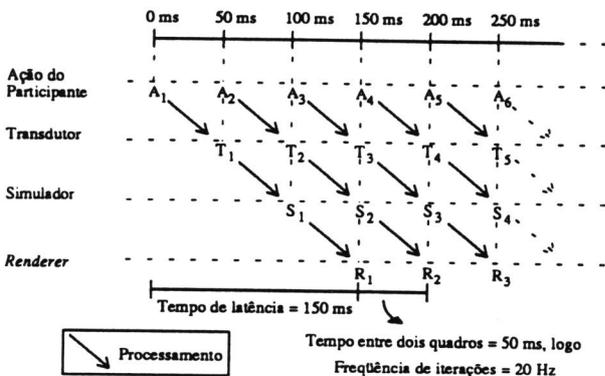


Figura 3.2: Tempo de latência e tempo entre dois quadros

Os objetos presentes no Mundo Virtual podem possuir roteiros de ação associados que descrevem o comportamento dos objetos e como eles interagem com outros objetos ou com o participante [Isdale (1993)]. Um roteiro gatilho é disparado após a ocorrência de um evento gatilho, *i.e.*, após a detecção de uma colisão. Um roteiro de conexão fornece a ligação entre um dispositivo de entrada (transdutor) e um objeto virtual, *i.e.*, a luva e a mão virtual. Desta forma podem ser associados diferentes corpos virtuais a um participante. Um roteiro de comportamento independente descreve os eventos que ocorrem em relação a um objeto, que ocorrem à revelia de qualquer forma de interação.

4 Proposta e Implementação de um Sistema de Realidade Virtual

A primeira decisão de projeto tomada foi a escolha entre qual das duas características privilegiar, interatividade ou vividez, dado o compromisso entre elas. Em primeiro lugar, as técnicas de visualização utilizadas nos atuais sistemas de Realidade Virtual são problemas bem conhecidos de Computação Gráfica,

i.e., o uso de polígonos sombreados com o modelo de Gouraud, devido ao baixo tempo de processamento disponível. Por outro lado, o alto grau de interatividade de um sistema de Realidade Virtual permite o estudo das novas possibilidades de uma interface deste tipo. Devido a estas considerações foi escolhido privilegiar a interatividade em um sistema que explorasse as potencialidades da Realidade Virtual.

O uso das bibliotecas de rotinas disponíveis para Realidade Virtual, mesmo as que incluem código fonte, foi descartado para ter-se controle total sobre a demanda de processamento e evitar o surgimento de problemas no uso da biblioteca.

4.1 Transdutor

O transdutor característico de Realidade Virtual escolhido para uso no sistema foi a luva, que transforma os movimentos da mão do participante em informações utilizáveis em um computador.

número	1	2	3	4	5	6	7
ação	translação	translação e rotação	rotação	—	pegar	tocar piano	nada
gesto	apontar	apontar duplo	apontar triplo	apontar quádruplo	mão fechada	indicador flexionado	mão aberta

Figura 4.1: Repertório de gestos proposto

O uso da luva permite a interação direta do participante com os objetos do mundo virtual, ou seja, não é necessário o uso de transdutores tradicionais² para a interação. Foi proposta uma linguagem gestual cujo repertório fosse suficiente para as interações. Na figura 6.1 pode-se ver os sete gestos propostos. A convenção utilizada nesta figura é a representação esquemática do dorso da mão direita, o quadrado representa a palma, e os traços representam os dedos. Quando o traço é desenhado, o dedo está esticado, e quando o traço não está desenhado, o dedo está flexionado. Os três primeiros gestos dizem respeito à movimentação, tanto translação quanto rotação, que se dão na direção apontada. O quarto gesto não é utilizado, sendo reservado para uma necessidade futura. O quinto gesto é usado para segurar objetos. O sexto gesto é usado para tocar piano. O sétimo gesto é o gesto nulo, ou seja, nenhuma ação a tomar.

²Teclado, mouse, joystick e demais posicionadores 2D ou 3D.

4.2 Simulador

Foi escolhida a implementação de uma sala de jogos virtual, chamada SKYROOM. A idéia do SKYROOM é simular uma sala onde possam ser feitas diversas interações com finalidades lúdicas. O SKYROOM foi modelado com tamanho correspondente a uma sala real, para permitir a simulação da presença humana em escala natural e possui quatro paredes, teto e chão (figura 4.2).

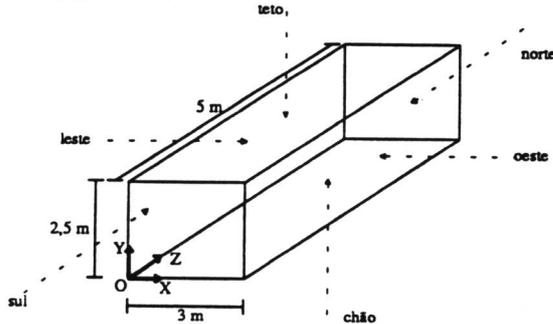


Figura 4.2: A sala de jogos virtual (SKYROOM)

Esta sala virtual foi projetada para manter uma coerência, ou seja, uma série de expectativas podem ser criadas pelo participante acerca do SKYROOM, pois suas leis possuem um comportamento fixo. Os objetos que existem no SKYROOM são:

- a própria sala,
- o plano virtual,
- a marionete,
- o iô-iô,
- a mesa e um cubo sobre ela,
- a porta de saída, além do
- corpo virtual do participante.

As leis de interação propostas formam um conjunto simples de leis não fisicamente embasadas. O participante pode movimentar-se dentro da sala, mas não pode sair de seus limites. A lei de interação principal é a detecção de colisão. A cada iteração, o simulador testa a colisão entre o participante e os objetos. Primeiramente é testada a colisão do participante com os limites da sala. Em seguida, com os demais objetos. Para a detecção de colisão, foi criado um envelope em forma de paralelepípedo em torno do objeto, chamado envelope de ação. Se o participante colidir com o envelope de ação do objeto, a interação entre participante e objeto é iniciada. Esta interação se encerra quando o participante deixa de colidir com o envelope de ação do objeto. Os objetos não são sólidos, e nem possuem faces sólidas. Sua existência se dá através de arestas que formam faces imaginárias.

A figura 4.3, que é uma vista superior da sala, mostra a localização das interações que estão colocadas,

cada uma delas, em frente a uma parede. O plano virtual está localizado na parede norte, o marionete e a porta de saída na parede oeste, o iô-iô na parede sul e a mesa na parede leste.

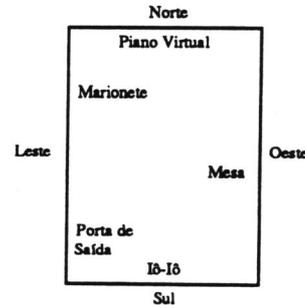


Figura 4.3: Localização das interações na sala

4.2.1 Participante

Um corpo virtual (figura 4.4) é criado pela combinação dos dois olhos virtuais (câmeras sintéticas) com a mão virtual. Este corpo é espacialmente correspondente aos olhos e à mão do participante. A distância entre os olhos é regulável para diferentes participantes e inicialmente possui o valor de 5,8 cm. O eixo horizontal dos olhos sempre está paralelo ao plano xz (horizontal). Existe um grau de liberdade de rotação dos olhos em torno deste eixo que corresponde ao olhar para baixo e para cima, até 90°. A mão movimenta-se em um volume de trabalho que possui um plano central situado 50 cm abaixo dos olhos. O volume de trabalho é um cubo de aresta igual a 80 cm. Este volume de trabalho está à frente dos olhos. Os olhos e o volume de trabalho estão ligados por um eixo vertical do corpo que sempre está paralelo ao eixo dos y.

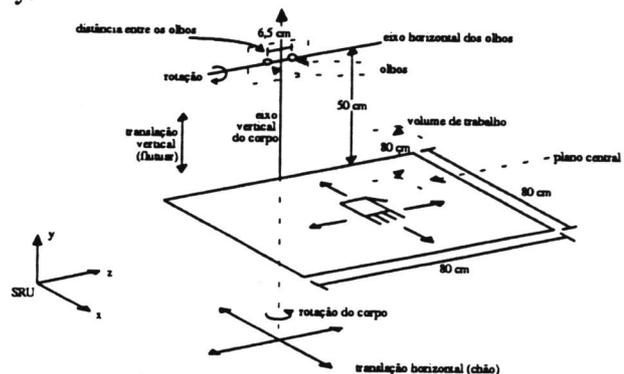


Figura 4.4: O corpo virtual

O participante movimenta-se pela sala mantendo uma orientação de seu corpo na vertical e inicialmente seus olhos estão a uma altura de 1,70 m. A movimentação pode ser dar através do caminhar paralelamente ao chão (plano xz), ou através do flutuar

(eixo dos y). Existe uma limitação em relação à altura em que o participante pode estar na sala, que é a 50 cm de distância do chão ou do teto. Não são implementados os dois graus de liberdade referentes à rotação do corpo do participante nos eixos dos x e dos z para que o participante permaneça ereto, para não perder o seu senso de direcionamento, de acordo com a realidade.

Os graus de liberdade do corpo virtual, num total de 16, são:

- 6 graus de liberdade para a movimentação da mão (posição, orientação),

- 5 graus de liberdade para a flexão dos dedos,

- 1 grau de liberdade para a rotação em torno do eixo vertical do corpo, (girar),

- 2 graus de liberdade para a translação do corpo no plano xz (andar),

- 1 grau de liberdade para a translação do corpo no eixo y (flutuar),

- 1 grau de liberdade para a rotação do eixo dos olhos (olhar para baixo e para cima),

Quase todos os graus de liberdade podem ser controlados através da linguagem gestual proposta. A mão aponta na direção desejada de rotação ou translação, movimentando-se no próprio volume de trabalho que é o espaço físico em frente ao participante na realidade. O único grau de liberdade não previsto na linguagem gestual foi a rotação do eixo horizontal dos olhos. Este grau de liberdade corresponde a um movimento que pode ser lido por um sensor de rastreamento ligado à cabeça.

Um roteiro de conexão liga a luva ao corpo virtual do participante.

O conceito do plano central foi introduzido durante a simulação do uso da luva para a associação da movimentação da mão com a movimentação do mouse (dois graus de liberdade). O terceiro grau de liberdade de translação da mão, no eixo dos y, poderia ser associado aos botões do mouse, porém torna-se natural associar os botões aos dedos da mão. Desta forma, o apertar do botão esquerdo do mouse está associado ao flexionar do polegar; o botão central, ao indicador e o botão direito, aos outros dedos, que se movem em conjunto. Este uso é diferente do uso convencional de um mouse, já que o botão da esquerda deve ser acionado pelo polegar do participante.

Os dois graus de liberdade de rotação da mão, em torno dos eixos x e y, são associados ao movimento do joystick. A rotação em torno destes dois eixos foi escolhida porque permite o apontar em qualquer direção. Para o apontar, a rotação em torno do eixo dos z é desnecessária. Os botões do joystick podem ser associados à translação da mão no eixo dos y. Desta forma, dois transdutores tradicionais são usados para

simular a maior parte dos graus de liberdade de uma mão.

A mão virtual é modelada para ter o tamanho correspondente à mão de uma pessoa adulta, conforme a figura 4.5. A mão virtual apresenta um grau de liberdade adicional por dedo que corresponde à flexão dos dedos, captada pela luva. Esta característica não foi implementada na mão virtual, porém basta a inclusão de um ponto intermediário no meio de cada dedo virtual, transformando uma aresta em duas. O ângulo de flexão dos dedos corresponderia ao ângulo formado por estas arestas.

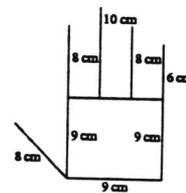


Figura 4.5: A mão virtual

A detecção de colisão do participante é feita a partir da posição central de seus dois olhos e da posição da ponta do indicador da mão em relação às paredes da sala. Quando o participante colide com uma parede um som indicativo é sintetizado. A detecção de colisão do participante com os objetos é feita a partir da posição da ponta do indicador em relação aos envelopes de ação dos objetos.

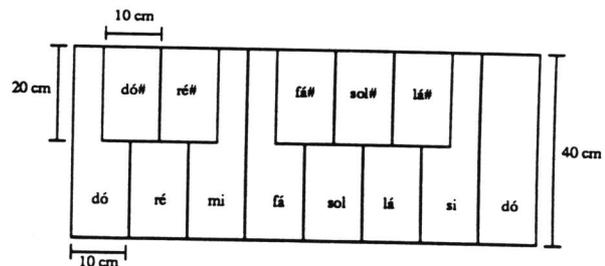


Figura 4.6 - O piano virtual

4.2.2 Piano virtual

O piano virtual é um instrumento musical que simula um piano, podendo ser tocado pelo participante. Este piano foi modelado com um tamanho de teclas maior que o usual para facilitar o seu uso, conforme a figura 4.6. As arestas formam as teclas, que formam o piano. O piano corresponde a uma oitava completa de uma escala cromática e a frequência de cada nota segue uma progressão geométrica de ordem $\sqrt[2]{2}$, onde o lá central tem a frequência de 440 Hz [Stevens (1970)]. A frequência das notas é associada à tecla correspondente e a nota soa enquanto o dedo indicador estiver flexionado.

O envelope de ação do piano é formado pela projeção do plano em que está colocado no eixo dos y, ou seja um paralelepípedo que engloba tudo o que está diretamente acima ou abaixo dele. Um **roteiro gatilho** faz o piano ser tocado pelo ato de colocar a mão dentro do seu envelope de ação em conjunto com a flexão do indicador. Tanto este volume quanto o tamanho das teclas visa facilitar o seu uso, dada a dificuldade do controle fino de movimentos com os transdutores usados.

4.2.3 Marionete

A **marionete** permanece presa à parede e seu envelope de ação é um cubo de aresta igual a 1 m que está à frente de seu centro. A marionete é formada por arestas que formam sua cabeça, olhos, boca, tronco, braços e pernas (figura 4.7). Sua altura é de 60 cm e a largura de 40 cm. A marionete permanece com sua fisionomia triste até que o participante entre em seu envelope de ação, iniciando-se o **roteiro gatilho**, quando sua fisionomia torna-se feliz. Neste momento, o participante pode controlar a marionete através da rotação da mão. Os dois graus de liberdade de rotação da mão disponíveis são usados para controlar os braços e as pernas. Os braços movem-se conjuntamente para a frente e para trás. As pernas movem-se conjuntamente para cima e baixo, no plano do corpo da marionete. Quando a mão do participante deixa o envelope de ação da marionete esta volta a ter a fisionomia triste.

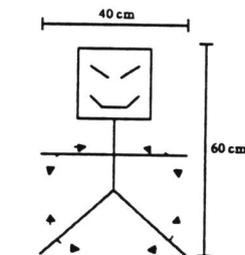


Figura 4.7 - A marionete

4.2.4 Iô-iô

O **iô-iô** é um cubo de lado igual a 20 cm que pica até uma altura de 1 m constantemente e fazendo um som quando toca o chão. Um **roteiro de ação independente** faz o iô-iô movimentar-se 10 cm a cada iteração e sem correlação com o tempo real. O iô-iô não interage com o participante e é um exemplo de comportamento autônomo.

4.2.5 Mesa e cubo

A **mesa** é formada por quatro arestas que formam seu tampo e quatro pés e não interage diretamente com o

participante. Sobre a mesa está colocado um **cubo** de aresta igual a 12 cm cujo envelope de ação é igual ao seu volume. O cubo pode ser apanhado e movimentado pelo participante. Um **roteiro gatilho** inicia-se quando a ponta do indicador do participante entra dentro do cubo. O sistema começa então a emitir um ruído contínuo, indicando que o cubo pode ser apanhado. O participante apanha o cubo fechando sua mão. O ruído cessa quando o participante apanha o cubo ou tira o dedo indicador de dentro dele. Após apanhar o cubo, este acompanha os movimentos do participante, ou seja, é carregado. O cubo é solto pelo abrir da mão, e neste momento permanece onde foi largado, mesmo em pleno ar, já que não há lei de interação gravitacional. O cubo é posicionado inicialmente sobre a mesa, porém pode permanecer em qualquer posição quando solto, mesmo no espaço já ocupado por outro objeto.

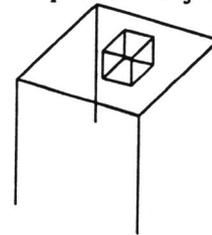


Figura 6.9 - A mesa e o cubo

4.2.6 Porta de saída

A **porta de saída** é formada por 3 linhas que a demarcam e seu envelope de ação é o volume formado pela projeção de 20 cm da porta para a sua frente. Quando o participante entra no envelope de ação da porta de saída, um **roteiro gatilho** (ver seção 5.3) encerra a simulação.

4.3 Renderer

Em relação à qualidade das imagens, optou-se pela máxima simplificação possível dos aspectos de visualização que, conforme dito anteriormente, são temas bem conhecidos da Computação Gráfica. O **modelo de visualização** escolhido para o **renderer** foi a geração de quadros *wireframe* estereoscópicos com a técnica de anaglifos. A geração de anaglifos implica no uso de óculos pelo participante. O modelo não incluiu a remoção de elementos ocultos, visando uma maior simplificação do algoritmo, para privilegiar a interatividade. Foi desenvolvido um algoritmo de visualização que apresenta redundância de dados e de código. A redundância de dados visa a diminuição do tempo de processamento, através do uso de variáveis auxiliares. A redundância de código também visa a diminuição do tempo de processamento, através da repetição do mesmo código em diferentes partes do

algoritmo, evitando, onde possível, a chamada de funções no algoritmo de *rendering*.

O *display* escolhido foi um monitor de vídeo convencional, portanto os olhos do participante permanecem no mundo real, em frente ao monitor e não há a criação da sensação de imersão total. Todavia, a presença de uma mão virtual no SKYROOM, em conjunto com o uso da luva, traz uma sensação de imersão parcial.

O *renderer* também gera os sons de colisão do participante com as paredes da sala, com o cubo, do tocar do piano e do picar do iô-iô.

4.4 Aspectos de Implementação

O SKYROOM foi implementado em plataforma PC com a linguagem 'C'. O número de linhas do código fonte é de aproximadamente 2800. No presente momento a adaptação da conexão entre a Nintendo Power Glove, originalmente construída para uso com o videogame Nintendo, e o PC está sendo implementada e seu uso é simulado com teclado, *mouse* e *joystick*.

Foram usados dois modos de resolução: baixa (640 x 200 *pixels*) e média (640 x 350 *pixels*). O modo de alta resolução (640 x 480 *pixels*) apresenta uma movimentação truncada devido à falta de memória para o chaveamento de duas páginas de vídeo.

A faixa de frequências obtida (tabela 4.1) leva à sensação de movimentação contínua, na ordem do cinema e da televisão. O número de linhas médio é baixo para a representação de um mundo complexo. A taxa obtida deve-se à simplificação da visualização e dos próprios objetos.

visualização	modo VGA	quadros/s (Hz)	linhas/quadro
estéreo	baixa	28	60
estéreo	média	19	60
mono	baixa	32	30
mono	média	21	30

Tabela 4.1 - Valores aproximados de quadros/s e de linhas/quadro

O tempo do transdutor tomou de 5 a 25% do tempo total de processamento. O tempo de simulação pode ser desprezado, logo mundos com leis de interação mais complexas podem ser criados sem grande custo computacional. O tempo de *rendering* ocupou de 75 a 95% do tempo total de processamento. O tempo de latência é igual ao tempo de geração de um quadro.

5 Análise dos Resultados

O participante tem uma expectativa acerca das leis físicas no mundo virtual e espera que as leis de interação correspondam às leis físicas. Este fenômeno

foi observado em dois momentos: quando o participante solta o cubo que pegou sobre a mesa e este não cai; e quando o mesmo cubo passa a ocupar o mesmo lugar no espaço do que outro objeto. Este aspecto de percepção não foi previsto na proposta e apareceu como resultado do uso do sistema.

O desenvolvimento do envelope de ação foi útil para a detecção de colisão, facilitando a interação com os objetos.

O algoritmo de visualização foi bastante simplificado deixando de lado até mesmo a remoção de elementos ocultos. Na implementação, esta simplificação mostrou-se vantajosa pelo aumento do número de quadros por segundo (interatividade) e pelo uso de estereoscopia (vividez), e ambos contribuindo para o aumento da imersão.

A partir de cada interação na sala virtual podem ser feitas uma série de observações. O grau de imersão aumenta com a interatividade. O piano soa, a marionete sorri e movimenta-se, o cubo pode ser apanhado, as paredes da sala impedem que o participante saia de seus limites indicando esta restrição através da emissão de um aviso sonoro no momento da colisão, e a porta de saída encerra a aplicação. Os demais objetos não têm interatividade.

A marionete é uma interação natural que reflete um objeto existente. A adição de uma fisionomia triste ou feliz traz um grau de vividez ao marionete e indica a proximidade da mão.

O iô-iô tem comportamento autônomo e no seu movimento constante de vaivém não perde energia. Este aspecto não traz uma sensação desagradável ao participante, pois existem objetos que se comportam desta maneira no mundo real, como um pêndulo ou um objeto movido por um motor. Além disto o participante normalmente sente falta de interagir com o iô-iô, perguntando o que é possível fazer com ele. Como trabalho futuro, o iô-iô poderia ter a sua velocidade controlada, ter sua movimentação interrompida pela mão e obedecer a leis físicas.

O piano é uma interação agradável ao usuário permitindo o uso de um computador como um teclado virtual. Neste caso, faz falta a luva, que tonaria o uso do piano mais natural. Todavia seu grau de realismo é satisfatório, pois o grau de interatividade permite tocar o piano como um instrumento usual.

O cubo sobre a mesa desaponta o participante por não cair após ser solto e por não rotacionar juntamente com a mão, mantendo-se orientado à parede. Os leigos em informática perguntaram porque o cubo não caia no chão após ser solto. Como trabalho futuro, o cubo poderia obedecer às leis físicas, caindo após ser solto, colidindo com outros objetos e rotacionando.

A porta é uma interação natural que corresponde a uma porta real que permite a saída da sala e da aplicação.

A síntese de sons utilizando o alto-falante interno do PC traz um repertório limitado de timbres simples de sons. Como trabalho futuro, poderia ser usada uma placa MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) que permitiria a conexão com um teclado musical com a emissão de sons digitalizados ou sintetizados.

Seria interessante, como laboratório de estudo, elaborar interações que fossem contra as expectativas do participante acerca das leis físicas nas leis de interação, *i.e.*, a anti-gravidade.

Outro conceito utilizado foi a movimentação do participante com o seu corpo virtual mantendo-se ereto assim como no mundo real, exceto em situações especiais, como o mergulho. Isto está de acordo com o cotidiano e o vôo livre poderia causar a perda da noção de posicionamento espacial.

A criação de um sistema de Realidade Virtual deve ser suportada por uma biblioteca de rotinas que abranja os aspectos do transdutor, simulador, *renderer*, banco de dados e modelagem. O uso de uma biblioteca pronta permitiria a concentração no esforço de implementação dos aspectos intrínsecos da aplicação de Realidade Virtual. A maior parte do esforço empreendido foi na implementação de funções desse tipo, o que era o desejado na experiência.

A falta de imersão visual faz com as dimensões aparentes dos objetos sejam inferiores às que foram modeladas, pela comparação das dimensões com objetos do mundo real. Este efeito não é esperado num mundo virtual e pode ser evitado com o uso de um *head-mounted display*.

O SKYROOM poderia ser implementado em uma interface gráfica tradicional com a divisão da tela em quatro janelas onde as interações estariam colocadas separadamente, além de um botão de término. Porém não haveria a criação de um mundo virtual e de um corpo virtual com movimentos nesse mundo.

6 Conclusão

Entre os conhecimentos possibilitados pela experiência da implementação do SKYROOM inclui-se:

- que é possível a geração de quadros estereoscópicos *wireframe* em um computador PC a uma taxa de 32 Hz, o grau de interatividade desejado,

- que o grau de vividez perdido pela falta da remoção de elementos ocultos é compensado pela estereoscopia,

- que interações que simulam a realidade podem ser implementadas, e

- que o participante dessas interações tem expectativas semelhantes às que tem acerca da realidade, e que as interações geram reações emocionais.

A situação atual é a de baixo grau de realismo visual, baixa vividez, sem a geração de presença, porém com interatividade alta. O objetivo final seria o realismo visual (texturas, sombras, etc.), realismo de interação (conjunto convincente de leis de interação), realismo sonoro (som 3D) e realismo tátil e de força (sensações mecanorreceptivas), gerando um alto grau de imersão.

O SKYROOM foi implementado com uma arquitetura aberta e novas interações podem ser facilmente implementadas. O experimento pode ser continuado e está disponível para os interessados.

7 Referências

- Bishop, G. et al. Research Directions In Virtual Environments. *Computer Graphics*, New York, v.26, n.3, p.153-177, Aug. 92.
- Benedikt, M. (Editor) *Cyberspace: First Steps*. Cambridge: MIT Press, 1991. 436p.
- Bricken, W. Virtual Reality: Directions Of Growth. *ftp*, milton.u.washington.edu, /pub/virtual_worlds/papers, Sep. 1990.
- Davis, D. B. Reality Check. *Computer Graphics World*, Westford, v.14, n.6, p.49-54, Jun. 91.
- Foley, J. D. Interfaces For Advanced Computing. *Scientific American*, New York, v.257, n.4, p.82-90, Oct. 87.
- Isdale, J. What Is Virtual Reality? A Homebrew Introduction. *ftp*, milton.u.washington.edu, /pub/virtual_worlds/papers, Mar. 1993.
- Krueger, M. W. *Artificial Reality II*. Reading: Addison-Wesley, 1991. 286p.
- Potka, J. Virtual Egocenters as a Function of Display Field of View and Viewing Station Point. *ftp*, milton.u.washington.edu, /pub/virtual_worlds/papers, 1992.
- Rheingold, H. *Virtual Reality*. New York: Simon & Schuster, 1991. 415p.
- Sclovsky, L. *Uma Análise Introdutória da Realidade Virtual*. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1994, 145p.
- Stevens, S. S.; Warshofsky, F. *Som e audição*. Rio de Janeiro: José Olympio Editora, 1970. 208p.