SERVIÇO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO ICMC-USP

Data de Depósito: 23/04/2001

Assinatura: *Dr. Paulo Jampaio Freire*

Uma Ferramenta de Sonificação para Visualização Distribuída na Internet

Bruno Sousa Freitas

Orientadora: *Profa. Dra. Rosane Minghim*

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação - ICMC-USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Computação e Matemática Computacional.

USP – São Carlos
Abril/2001

A Comissão Julgadora:

Profª. Dra. Rosane Minghim

Prof. Dr. Luis Gustavo Nonato

Prof. Dr. Antonio Cesar Germano Martins

Rosane Minghim

Luis Gustavo

Anto Cesar

Aos meus pais:
Sérgio Roberto de Freitas e
Elisabete Sousa Freitas

Agradecimentos

À Prof. Rosane, pela orientação, ensinamentos, apoio e amizade no transcorrer deste trabalho.

Aos meus pais, Sérgio e Elisabete, pelo apoio, carinho, confiança, compreensão, paciência e tudo mais o que possa ter surgido durante toda minha vida. A minha irmã Mariana por todo carinho, amizade, e por ela ser como ela é.

Aos “piores”, amigos para toda vida, Fellow, Funny, Cinho, Ted e Zé por toda amizade.

À Rebecca por toda amizade e carinho.

Ao meu amigo Miguel, pelo apoio quando cheguei em São Carlos, pelas conversas, desa-bafos, conselhos, bagunças, mini-terras, terras mesmo, arrumações, problemas, madrugadas de estudo e, principalmente, por todo respeito e amizade.

Aos pilantras Kenji, Giovani, Drake, Alessandre, Zé Roberto, Benê, Omar, Mané, André, Régis pelas festas, churrascos, tardes de tererê, “RDT X RCV”s, pela acolhida em São Carlos e pela amizade.

Aos amigos do grupo de Computação Gráfica Dani, Marcelo, Rogério, Igor, Veri, Alex, Helton, Teddy, Billy e Luís Fernando pela amizade e apoio.

Aos professores do grupo de Computação Gráfica Castelo, Cristina, Gustavo, pela amizade e apoio.

Aos funcionários do ICMC em especial à Adriana, Sandra, Beth, Laura e Marília pela atenção dedicada.

À FAPESP pelo apoio financeiro.

Conteúdo

1	Conceitos de Visualização	1
1.1	Visualização Científica - Visão Geral	2
1.2	Tipos e Organização dos Dados	3
1.3	Classificação dos Dados	5
1.4	Técnicas de Visualização	6
1.4.1	Técnicas para Entidades Escalares (E_n^S)	6
	Domínio Bidimensional (E_2^S)	7
	Domínio Tridimensional (E_3^S)	7
1.4.2	Técnicas para Entidades Vetoriais (E_n^V)	10
	Hedgehogs e Glyphs Orientados	10
1.5	Visualization Toolkit (VTK)	10
2	Conceitos de Sonificação	13
2.1	O Uso do Som	13
2.2	Propriedades do Som	14
2.2.1	Acústica	15
	Volume do Som (<i>Loudness</i>)	16
	Entoação (<i>pitch</i>)	17
	Timbre	17
2.3	Síntese de Sons por <i>Software</i>	18
2.3.1	Síntese Digital de Sons	19
2.3.2	CSound	20
2.4	Motivação para a Sonificação em Visualização	21
2.5	Estudos em Sonificação	22
2.5.1	<i>Earcons</i>	22
2.5.2	Auditory Icons	23
2.5.3	Mapeamento de Parâmetros	24

2.6	Revisão de Trabalhos em Sonificação	24
2.6.1	Listen	28
2.6.2	Porsonify	28
2.6.3	SSound	29
2.6.4	MUSE	29
2.6.5	Sonificação de Imagens Texturizadas	30
3	Visualização Distribuída e na Internet	33
3.1	Arquiteturas Distribuídas	34
3.1.1	Thin Client	34
3.1.2	Fat Client	35
3.2	Um modelo de Referência para Visualização Cliente/Servidor	35
3.2.1	Cenário 1	36
3.2.2	Cenário 2	37
3.2.3	Cenário 3	37
3.2.4	Cenário 4	38
3.3	Visualização na Web	39
3.3.1	Primórdios da Visualização na Internet	40
3.3.2	VRML	41
3.3.3	Visualização com Java	41
3.3.4	Java3D	42
3.3.5	Novas Tendências	43
3.4	Recursos de Distribuição na Área de Visualização	43
3.4.1	COM/DCOM	44
3.4.2	JAVA/RMI	44
3.4.3	CORBA	45
3.5	Sistemas de Visualização Distribuída e na Internet	46
4	DSVol - Implementação	51
4.1	Implementação do DSVol - Visão Geral	52
4.2	Módulo de Interface Indireta	54
4.3	Módulo de Visualização	57
4.3.1	Extração de Isosuperfícies	58
4.3.2	Rendering Volumétrico Direto	60
4.4	Módulo de Sonificação	64
4.4.1	Síntese de Som em DSVol	65

	MIDIKernel	65
	SoundTools	65
4.4.2	<i>Display</i> Progressivo	66
4.4.3	Sonda Sonora	69
4.4.4	<i>Display</i> de Malha	73
4.5	Módulo de Interação	77
4.5.1	<i>Display</i> Progressivo	78
4.5.2	Sonda Sonora	78
4.5.3	<i>Display</i> de Malha	81
4.6	DSVol na Internet	81
4.7	Distribuição do DSVol	87
4.7.1	Definição da Interface IDL	87
	Servidor de Sonificação	87
	Servidor de Visualização de Isosuperfícies	88
4.7.2	Definição dos Arquivos <i>Stub</i> e <i>Skeleton</i>	88
4.7.3	Definição do Servidor CORBA	88
	Servidor de Sonificação	89
	Servidor de Visualização de Isosuperfícies	90
4.7.4	Definição do Cliente CORBA	91
4.8	Resumo dos Resultados Obtidos	93
5	Conclusões	95
A	Arquivos .h de DSVol	105
A.1	SV_Kernel.h	105
A.2	SV_Visual_Kernel.h	106
A.3	SV_Visual_Iso.h	108
A.4	SV_Visual_DVR.h	110
A.5	Sound_Tool.h	112
A.6	SV_Sound_Kernel.h	120
A.7	SV_Sound_Coord.h	122
A.8	SV_Sound_Probe.h	123
A.9	SV_Sound_Grid.h	126
A.10	SV_Interactor_Kernel.h	128
A.11	SV_Interactor_Coord.h	129
A.12	SV_Interactor_Probe.h	130

A.13 SV_Interactor_Grid.h	130
A.14 VKThread.h	131
A.15 Vizualization.idl	136
A.16 Sound.idl	137
A.17 VizualizationImpl.h	138
A.18 SoundImpl.h	139
A.19 ClientVizualizationObj.h	141
A.20 ClientSoundObj.h	142

Lista de Figuras

1.1	Estrutura de Conexão de Módulos no VTK - Adaptada de [6]	11
2.1	Exemplo onda sonora	15
2.2	Duas ondas sonoras com amplitudes diferentes	16
2.3	Exemplo de como os sons são gerados pelo CSound - Adaptada de [31]	21
3.1	Esquema da Área de Visualização	36
3.2	Cenário 1 - Exibindo imagens através da Web	36
3.3	Cenário 2 - Exibindo mundos 3D através da Web	37
3.4	Cenário 3 - Exibindo visualizações através da Web	38
3.5	Cenário 4 - Criando visualizações através da Web	39
3.6	Comunicação entre objetos RMI - Adaptada de [45]	45
3.7	Comunicação entre objetos CORBA - Adaptada de [45]	46
4.1	Esquema Geral de Classes de DSVol	55
4.2	Interface de Entrada de Parâmetros de DSVol	56
4.3	Interface de Definição de Parâmetros de Som	56
4.4	Interface do Método Visualização de Isosuperfícies	59
4.5	Visualização de Isosuperfícies	60
4.6	Interface de Visualização através do Método de <i>Rendering</i> Volumétrico Direto	62
4.7	Definição de Parâmetros para o <i>Rendering</i> Volumétrico Direto	63
4.8	<i>Rendering</i> Volumétrico Direto	63
4.9	Sonificação de Coordenadas	67
4.10	Interface do método de Sonificação de Coordenadas	69
4.11	Interface de definição de incremento para o <i>Display</i> Progressivo	69
4.12	Sonda Sonora	70
4.13	Interface do método de Sonda Sonora	72
4.14	Interface de definição do tamanho inicial da Sonda Sonora	72
4.15	Orientação no <i>Display</i> de Malha - Adaptada de [9]	74

4.16	Sonificação de Malha	75
4.17	Interface do método de Sonificação de Malha	76
4.18	Exploração através da Sonda Sonora	79
4.19	Esquema Simplificado da Arquitetura Distribuída de DSVol	87
4.20	Esquema de Organização das Classes no Programa Cliente	92

Lista de Tabelas

4.1	Pseudo-Código - Visualização com Sonificação em DSVol	57
4.2	Pseudo-Código - Isosuperfícies	58
4.3	Principais Métodos de SV_Visual_Iso	60
4.4	Pseudo-Código - <i>Rendering</i> Volumétrico Direto	61
4.5	Principais Métodos de SV_Visual_DVR	64
4.6	Principais Métodos de SV_Sound_Coord	68
4.7	Principais Métodos de SV_Sound_Probe	73
4.8	Principais Métodos de SV_Sound_Grid	75
4.9	Tabela DSVol	76
4.10	Percepção de mapeamentos para frequência em DSVol	77
4.11	Teclas de acesso à interação através do processo da Sonda Sonora	80
4.12	Pseudo-Código - Chamada a uma função nativa C++ a partir do Código Java	84
4.13	Pseudo-Código - Exemplo de como realizar chamadas em DSVol a partir da classe VTKThread	84
4.14	Funções Nativas Acessadas a partir do código Java	85
4.15	Funções Nativas Acessadas a partir do código Java	86
4.16	Servidor de Sonificação - Principais Métodos	90
4.17	Servidor de Visualização - Principais Métodos	91

Resumo

O presente trabalho de mestrado é parte de um projeto em andamento ICMC-USP denominado *PowerVis* que desenvolve pesquisa nas áreas de visualização científica, sonificação de dados e em aplicações reais das técnicas desenvolvidas.

A visualização científica é uma área da computação gráfica que abrange um conjunto de técnicas para a geração de representações gráficas a partir de um conjunto de dados.

Algumas vezes esses conjuntos de dados formam imagens complexas e de difícil entendimento, o que torna difícil sua apresentação em um ambiente bi-dimensional como a tela do computador. Uma alternativa para amenizar tais problemas é o uso de som como apoio às técnicas visuais. A área da computação responsável pelo estudo de mapeamentos sonoros de conjuntos de dados com o objetivo de exibir algum tipo de informação é conhecida como sonificação.

Este trabalho apresenta uma evolução de um trabalho em sonificação desenvolvido anteriormente (SVol) para apoio à visualização de dados científicos volumétricos. Os processos visuais apoiados pela sonificação neste trabalho são a geração de isosuperfícies e o *rendering* volumétrico direto.

A versão aqui implementada, além de reorganizar o código e aumentar sua funcionalidade, implementa duas estratégias para a evolução do sistema: o acesso às suas funções pela *internet* usando Java, e a distribuição de algumas funções de geração de sons e imagens usando CORBA.

Abstract

Scientific Visualization comprehends a series of techniques and methods to support data analysis, mainly through graphical mappings.

Some limitations imposed by the bidimensional nature of software and hardware for graphical displays make the interpretation of highly complex images difficult. An alternative to handle some of these problems is the use of sound as support for visual techniques. The computational field of sound mappings from data sets with the intent of displaying information is called **sonification**.

This work presents an evolution of a sonification system previously developed (SVol) to support visualization of volumetric data. The graphical processes supported by the sonifications are Isosurface Extraction and Direct Volume Rendering.

Besides providing reorganization of the former code and increasing its functionality, the version implemented here adds two strategies for the development of the system: internet access to its functions using Java, and distribution of aural and visual components of the system using CORBA.

Introdução

A visualização científica é a área da computação que estuda a geração de representações gráficas a partir de um conjunto de dados, geralmente obtidos através de simulações e de dispositivos de medição. A idéia de se criar representações gráficas aparece como uma tentativa de oferecer ao usuário uma interação com tais conjuntos de dados, possibilitando assim sua interpretação, bem como a dos processos e fenômenos que os geraram. Apesar de algumas limitações, as técnicas de visualização são de grande ajuda a cientistas e outros profissionais que de outra forma ficariam impossibilitados de analisar e entender conjuntos de dados estritamente numéricos.

Um dos problemas em visualização é a dificuldade de se conseguir representações eficientes de informação que possuem dimensões mais altas. A própria natureza dos dispositivos de *display* gráfico impõe uma apresentação bi-dimensional, o que pode causar ambigüidade e perda ou ocultação de informações. Para solucionar tais problemas, novos mecanismos de mapeamento dos dados são estudados, tendo como principal objetivo encontrar representações que são, ao mesmo tempo, precisas em seu conteúdo, e de fácil interpretação. Pesquisas nessa área têm se voltado para o estudo dos aspectos perceptivos dos seres humanos e também para o uso de técnicas alternativas à visual para representação dos dados. Uma delas é a utilização de sons de uma maneira estruturada para auxílio à interpretação da informação contida nos dados.

Existem diversas maneiras através das quais o uso do som pode ser útil em interfaces computacionais e sistemas de computação gráfica. Uma das vantagens do som é o fato de que os seres humanos estarem acostumados a utilizar e interagir com estímulos sonoros em muitas de suas atividades cotidianas (como responder ao telefone ou detectar a aproximação de pessoas). Outro fator importante é a riqueza e o poder do senso auditivo humano. Seres humanos são capazes de reconhecer fontes sonoras e suas propriedades físicas a partir dos sons que produzem, e também são capazes de separar algumas propriedades particulares como frequência, intensidade, timbre, e assim por diante, a partir de um determinado estímulo sonoro [8]. Assim, sinais sonoros carregam quantidades signifi-

cativas de informação e podem ser usados de maneira eficiente para aumentar o nível de interação entre o ser humano e o computador. Juntamente com *displays* gráficos, *streams* sonoros ¹ podem ser utilizados tanto de uma forma suplementar (onde o som apresenta informações que não são vistas, mas apenas associadas ao *display* visual) quanto complementar, onde se utiliza de redundância para confirmar detalhes visuais nas figuras formadas [8].

O mapeamento de algum conjunto de dados numéricos para som com a intenção de transmitir informação é conhecido como sonificação.

A idéia por trás de sonificação é a de que sons não falados sintéticos podem representar dados numéricos e oferecer suporte a diversas atividades de exploração de algum tipo de informação [11].

Este trabalho apresenta conceitos e sistemas para a sonificação de dados com o objetivo de ajudar o usuário a reconhecer e interpretar algum tipo de informação em algum contexto. Isso inclui números, cálculos, objetos e eventos.

Uma outra área que tem evoluído muito nesse campo de exploração de dados é a de visualização distribuída. Através de técnicas e conceitos de distribuição de informação, pode-se criar bancos de dados remotos e permitir que vários usuários, localizados em diversos lugares possam acessar e trabalhar com esses dados. Adicionalmente, através de arquiteturas de distribuição é possível aproveitar recursos computacionais para processamento em máquinas remotas. Isso contribui não apenas com o nível e a capacidade de interação dos usuários com os dados, mas também com a capacidade de armazenar conjuntos de dados muito grandes em diferentes máquinas.

A área de visualização distribuída tende a se integrar ao avanço da Internet por todo mundo. O objetivo principal da visualização na Internet é o de que usuários de qualquer parte do mundo possam ter acesso a técnicas de visualização e dados antes não disponíveis. Assim, conjuntos de pesquisadores e usuários podem, mesmo sem estar localizados em um mesmo lugar físico, estudar em conjunto e chegar a conclusões mais precisas e melhor discutidas sobre a informação na qual estão interessados.

Este trabalho é parte de um projeto em andamento ICMC-USP denominado *PowerVis* [5] [7]. O *PowerVis* surgiu com base nos resultados obtidos da tese de doutorado da orientadora deste projeto [3] e nos últimos avanços na área de visualização. Seus principais objetivos são: estender os resultados obtidos com som, desenvolver funções gráficas de visualização baseadas na sua usabilidade, utilizar técnicas de visualização para analisar

¹Um “*stream*” sonoro é um estímulo audível apresentado com o objetivo de provocar uma reação no usuário

dados específicos e promover a visualização e exploração de dados através da Internet.

Vários trabalhos já foram desenvolvidos dentro do projeto *PowerVis* e entre esses pode-se citar o SVol [9] [8]. O SVol é um protótipo de um sistema de sonificação para técnicas volumétricas de visualização com o objetivo de disponibilizar ferramentas sonoras que auxiliem o entendimento e estudo de dados.

Também dentro desse projeto, foi desenvolvido um trabalho de mestrado, com o objetivo de disponibilizar e possibilitar a interação do usuário com ferramentas de visualização e dados pela Internet [40].

Ainda na área de sonificação e visualização distribuída, está sendo desenvolvido um trabalho de doutorado intitulado "Desenvolvimento de um Modelo para Exploração em Visualização Científica Distribuída usando Som", em cujo contexto o presente trabalho se insere (proc. FAPESP no. 98/13879-9).

Nesse contexto, este trabalho de mestrado mescla os conceitos dos trabalhos já desenvolvidos no projeto *PowerVis* para a obtenção, em uma primeira instância, de uma versão do sistema SVol em um ambiente distribuído e mais especificamente na Internet. Um segundo passo foi o uso de conceitos e técnicas que possibilitassem a implementação de um esquema de distribuição de visualização, incluindo também sons. Em terceira instância, esse projeto buscou aumentar a funcionalidade de SVol através da inclusão de novas funções no mapeamento e apresentação dos dados através de sons. Ao sistema resultante deste trabalho foi dado o nome DSVol (*Distributed Sound for Volumes*).

Para atingir esses objetivos, vários conceitos importantes foram estudados, e são apresentados nesta monografia, juntamente com o levantamento bibliográfico referente às áreas afins e as implementações realizadas.

O capítulo 1 apresenta conceitos e conhecimentos na área de visualização científica. O capítulo 2 deste trabalho apresenta alguns conhecimentos essenciais para sonificação, e algumas propriedades do som. O capítulo 3 apresenta um estudo sobre visualização distribuída, incluindo conceitos de visualização na Internet. O capítulo 4 apresenta o sistema de sonificação para apoio à tarefas de visualização DSVol desenvolvido como extensão ao SVol [9] no contexto de um sistema de visualização de propósito geral, o VTK [1]. O capítulo 5 apresenta as conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros incentivados por este projeto.

Conceitos de Visualização

Durante a última década, a quantidade de informações produzidas no chamado mundo dos computadores tem sido tão grande que a tarefa de processá-las em tempo hábil é realmente complexa. Verificada a necessidade de se interpretar informações (principalmente em grandes fontes de dados) de forma mais rápida e eficiente, foi adicionada à área de computação gráfica, a visualização de dados, também chamada visualização computacional [1][6]. Essa área usa técnicas de computação gráfica para representar informação, de forma a facilitar o entendimento de conjuntos de dados numéricos de alta complexidade. Exemplos de áreas de aplicação são: visualização de imagens médicas, meteorologia, dados financeiros, visualização de programas, dinâmica dos fluidos, e muitas outras. A visualização científica é a área da computação, inserida na área de visualização de dados, que estuda a geração de representações gráficas para conjuntos de dados geralmente obtidos através de simulações e de dispositivos de medição. A idéia de se criar representações gráficas aparece como uma tentativa de oferecer ao usuário uma interação com tais conjuntos de dados, possibilitando assim sua interpretação, bem como a dos processos e fenômenos que os geraram.

A seção 1.1 deste capítulo apresenta uma visão geral sobre a área de visualização científica e conceitos e técnicas básicas nessa área. As seções 1.2 e 1.3, apresentam um estudo sobre tipos, organização e classificação de conjunto de dados. As principais técnicas de visualização são apresentadas na seção 1.4. A seção 1.5 é destinada à apresentação do VTK [1], a biblioteca utilizada neste trabalho para a geração de visualizações.

1.1 Visualização Científica - Visão Geral

Um dos principais objetivos da visualização é o de oferecer meios para que o usuário possa extrair a informação importante “escondida” nos dados e apresentá-la de forma a ser compreendida mais facilmente. Isso é possível porque a visualização tira vantagem da habilidade natural do sistema visual humano, que é capaz de reconhecer e processar imagens mais rapidamente. Dessa forma, pode-se representar dados de forma gráfica, mais natural ao ser-humano, gerando assim um aumento na capacidade de interpretação desses dados.

A visualização não procura entender somente os dados em si mas também o fenômeno que os gerou e, para isso, utiliza uma série de técnicas dentro de um contexto de investigação científica [6]. Os passos envolvidos nessa investigação são apresentados a seguir.

O primeiro passo dentro do processo de visualização é a criação de um modelo empírico que reflita a realidade do fenômeno observado e a coleta dos dados (que podem ser obtidos por medições experimentais ou por simulações computacionais). Os dados obtidos servem para verificar e refinar o modelo criado, chegando-se a um modelo matemático e a um computacional. O próximo passo é aplicar alguma técnica que possa mapear o modelo para uma representação gráfica, como uma imagem, podendo-se acrescentar funções de interação para a exploração do modelo gráfico. A representação gráfica pode então ser analisada e fornecer dados (*feedback*) para os passos de modelagem e visualização. Esse processo de investigação pode ser continuado pelo usuário do sistema de visualização que, através de interfaces, interage com o sistema fornecendo novos dados. Como resultado, o usuário aumenta seu conhecimento sobre a validade da hipótese originalmente formulada e sobre o fenômeno estudado.

Dentro do processo de visualização existem várias etapas onde os dados originais podem ser modificados e alterados, gerando erros. O processo de aquisição dos dados pode introduzir erros aleatórios, fazendo com que os dados necessitem ser “filtrados”. A filtragem pode distorcer os dados, retirando características interessantes ou acrescentando informações espúrias. Outros tipos de erros que podem ser introduzidos são os de interpolação. Muitas vezes é necessário que valores para esses dados sejam obtidos em regiões onde seu valor não é conhecido. Para resolver esse problema, são utilizadas técnicas de interpolação, que inferem o valor do dado em um certo ponto baseando-se em informações sobre os dados “próximos” a ele. O processo de interpolação é também uma fonte bastante comum de erros em visualização.

1.2 Tipos e Organização dos Dados

Para visualizar dados é importante conhecer suas características para que modelos de dados úteis e sistemas de visualização eficientes possam ser criados.

Os conjuntos de dados em visualização são definidos por uma estrutura de organização e atributos associados a essa estrutura, composta por uma topologia e uma geometria. A topologia é o conjunto de propriedades que não variam quando sofrem transformações geométricas (rotação, translação e escala não uniforme). A geometria é a instanciação da topologia, pela especificação de posições no espaço $3D$. Atributos associados a uma estrutura para conjuntos de dados, compreendem informações associadas à geometria e à topologia.

Modelos de conjunto de dados, como por exemplo o adotado por Schroeder et al [1], podem assumir que a estrutura de organização para os dados consiste de células e pontos. Dessa forma, as células especificam a topologia e os pontos a geometria. Células são a unidade básica em sistemas de visualização. Elas são definidas especificando-se um tipo em conjunto com uma lista ordenada de pontos (também chamada de lista de conectividade). A lista de pontos e o tipo da célula definem a topologia da célula e as coordenadas $x - y - z$ dos pontos definem sua geometria. Os tipos mais comuns de célula são:

- **Vértice:** é definido como um único ponto.
- **Poli-vértice:** é uma lista de pontos arbitrariamente ordenada.
- **Linha:** é definida por dois pontos, sendo que a direção vai do primeiro para o segundo ponto.
- **Poli-linha:** é um conjunto de $n+1$ pontos onde n é o número de linhas na poli-linha. Cada par de pontos $(i, i+1)$ define uma linha.
- **Triângulo:** é definido por uma lista de três pontos ordenados em sentido anti-horário. A ordem dos pontos especifica a direção da superfície normal pela regra da mão direita.
- **Tira de triângulos (*triangle strip*):** é uma célula bi-dimensional consistindo de um ou mais triângulos. Os pontos definindo uma tira não necessitam estar em um mesmo plano. A tira de triângulos é definida por uma lista ordenada de $n+2$ pontos, onde n é o número de triângulos. A ordem dos pontos em cada conjunto de três pontos $(i, i+1, i+2)$ com i entre 0 e 1 define um triângulo.

- **Quadrilátero:** é definido como uma lista ordenada de quatro pontos que se encontram em um plano. O quadrilátero é convexo e as arestas não se interceptam. Os pontos são ordenados em sentido anti-horário, definindo a normal à superfície pela regra da mão direita.
- **Pixel:** um pixel é uma célula topologicamente idêntica ao quadrilátero, com a adição de restrições geométricas. Toda aresta é perpendicular às aresta adjacentes e paralela a um dos eixos principais.
- **Polígono:** é definido com uma lista ordenada de três ou mais pontos em um plano. O polígono pode ser côncavo mas não pode ter *loops* internos e não pode auto-interceptar-se. Um polígono tem n aresta onde n é o número de pontos no polígono.
- **Tetraedro:** é definido com uma lista de quatro pontos não planares. Um tetraedro tem seis aresta e quatro faces triangulares.
- **Hexaedro:** é uma célula cujas seis faces são quadriláteros e possui doze arestas e oito vértices. As faces e arestas não devem se interceptar com quaisquer outras faces ou arestas e o hexaedro deve ser convexo.
- **Voxel:** um voxel é topologicamente equivalente a um hexaedro com algumas restrições geométricas. Cada face do voxel é perpendicular a um dos eixos x , y ou z .

Os atributos para um conjunto de dados são categorizados de acordo com os tipos de dados que representam. Tais dados podem ser escalares, vetoriais, normais, coordenadas de textura, tensoriais e, definidos pelo usuário. Esta divisão tem influência na organização dos algoritmos de visualização, que são categorizados de acordo com os dados sobre os quais operam. A seguir são apresentados exemplos dos tipos de dados mais comuns em visualização. Uma descrição mais detalhada sobre conjunto de dados, células e atributos pode ser encontrada em [1].

- **Escalares:** Dados escalares são dados que possuem um único valor em cada posição do conjunto de dados. É a forma mais simples e mais comum dos dados de visualização. Exemplos desse tipo de dados são: temperatura, pressão e densidade.
- **Vetores:** são dados que possuem magnitude e direção. Exemplos são fluxo, trajetória de partículas, movimento do vento e função gradiente.

- **Tensorões:** são generalizações matemáticas de vetores e matrizes. Um tensor de rank k pode ser considerado uma tabela k -dimensional. Um tensor de rank 0 é um escalar, um tensor de rank 1 é um vetor, um tensor de rank 2 é uma matriz e um tensor de rank 3 é um array retangular tridimensional. Tensorões com rank maior que 3 são arrays retangulares k -dimensionais.

Um conjunto de dados normalmente segue alguma organização, geralmente consistindo de uma malha de células. Os dados são posicionados nos vértices de cada célula e os valores no interior das células podem ser obtidos por interpolação. Assim, a estrutura de um conjunto de dados está implicitamente definida por pontos (que associam informação geométrica aos itens de dados) e células (que associam propriedades topológicas). Os dados propriamente ditos são atributos associados aos elementos (pontos e células) dessa estrutura. Dependendo da organização definida pela estrutura, pode-se ter vários tipos de malhas.

A principal distinção para conjuntos de dados é que eles podem ser regulares (estruturados) ou irregulares (desestruturados). Conjuntos regulares possuem algum relacionamento entre os pontos. Em malhas totalmente regulares (cartesianas), por exemplo, não é necessário armazenar explicitamente as posições de todos os pontos, bastando manter a posição inicial, o espaçamento entre os pontos e o número total de pontos horizontal e verticalmente. Isso torna sua representação computacional compacta. Conjuntos irregulares, por outro lado, precisam armazenar explicitamente as posições de todos os pontos e células, porém, são mais flexíveis e permitem representações adaptativas [6].

1.3 Classificação dos Dados

Em visualização, como a variedade de conjuntos de dados possíveis é grande, nem sempre a técnica utilizada para uma situação é adequada para outra. Dessa forma, se faz necessário obter uma classificação que mostre quais técnicas são mais adequadas para cada situação. Na área de visualização, ainda não existe uma forma suficientemente abrangente de classificação dos dados. A classificação apresentada a seguir foi elaborada a partir de uma notação concisa introduzida por Brodlie et al [2]. Essa classificação será utilizada para situar as técnicas de visualização.

Um conjunto de dados pode ser considerado como uma entidade com algumas propriedades, com a seguinte notação:

$$E_n^S$$

Onde a entidade E é uma entidade escalar (S) definida sobre um domínio de dimensão n . Da mesma forma, os sobrescritos V , T e P indicam entidades vetoriais, tensoriais e pontos esparsos, respectivamente.

Assim, a notação

$$E_2^V$$

indica uma entidade vetorial definida sobre um domínio $2D$. Acrescentado sufixos pode-se determinar a dimensão das entidades vetoriais, por exemplo, se na notação anterior for utilizado o sobrescrito V_2 em lugar de V , tem-se uma entidade vetorial de dimensão 2 definida sobre um domínio $2D$.

A dimensão do domínio é usada como sub-classificação e permite estabelecer distinções adicionais de acordo com a natureza do domínio. Por exemplo, a entidade pode ser definida ponto a ponto ou sobre regiões em um domínio contínuo, ou pode ser definida sobre um conjunto enumerado. Dessa forma, a notação $E_{[n]}$ indica um domínio n -dimensional com a entidade definida sobre regiões, e $E_{\{n\}}$ indica um domínio n -dimensional consistindo de um conjunto de valores enumerados.

A situação onde uma entidade contém mais de um conjunto de valores é muito comum e pode ser expressa em uma mesma representação gráfica.

Nesse caso, a notação

$$E_n^{mS}$$

indica um conjunto de m campos escalares definidos sobre um domínio n -dimensional.

1.4 Técnicas de Visualização

Até agora, foi vista uma forma de definição e algumas maneiras de representação dos diversos tipos de dados de visualização. Este capítulo fornece uma noção das técnicas que transformam esses dados e criam representações que permitam sua visualização. São apresentadas algumas das técnicas de visualização mais utilizadas e difundidas no campo de visualização científica. Os dados aos quais essas técnicas de visualização se aplicam estão classificados nesse capítulo segundo o modelo definido nos capítulos anteriores.

1.4.1 Técnicas para Entidades Escalares (E_n^S)

Escalares são valores de dados associados a cada ponto e célula de uma conjunto de dados [1]. A seguir, são apresentadas algumas técnicas de visualização de dados escalares, tanto para dados definidos em um domínio $2D$ quanto $3D$.

Domínio Bidimensional (E_2^S)

Mapeamento de Cores (*Color Mapping*)

O mapeamento de cores é uma técnica de visualização de escalares muito comum e que tem como idéia principal fazer o mapeamento de escalares em cores. Esse mapeamento dos dados é feito através de uma indexação a uma tabela de cores conhecida como *color lookup table*, onde os valores associados a cada escalar definido no domínio serve como índice para essa tabela.

Imagens

A idéia básica dessa técnica é a de fazer uma associação entre os escalares definidos sobre o plano $2D$ que representa o domínio e os pixels da tela. Essa associação é feita através da divisão do domínio em uma grade de células (onde geralmente cada célula corresponde a um pixel da tela) e uma posterior escolha do valor de cor de cada célula de acordo com o valor da função de definição dos escalares no ponto correspondente. Como exemplo de utilização dessa técnica, podemos citar a visualização de dados obtidos por *scanners* e por satélites.

Isolinhas (Mapas de Contornos)

A partir de um conjunto de valores escalares definidos sobre um plano $2D$, pode-se traçar isolinhas de valores constantes (valores de interesse) sobre esse plano.

Um exemplo de utilização dessa técnica é o traçado de isotermas (linhas de temperatura constante) em mapas de previsão do tempo.

Mapeamento Sobre Superfícies

Essa técnica gera uma superfície que representa os dados escalares definidos sobre um plano $2D$. Essa superfície é gerada através da atribuição de valores de altura associados ao conjunto de dados e pode ser apresentada na forma fio-de-aramé ou até mesmo tonalizada. Uma variação dessa técnica são os *height-fields* que possibilitam a exibição de dois campos escalares definidos sobre um domínio $2D$. A idéia de *height-fields* é exibir um campo escalar como uma malha que descreva uma superfície e o outro na forma de contornos posicionados sobre a superfície.

Domínio Tridimensional (E_3^S)

As próximas técnicas a serem representadas operam sobre dados escalares definidos sobre um domínio $3D$. Em muitas aplicações estudadas estão definidos, sobre os vértices de uma malha $3D$ regular e as técnicas de visualização associadas são conhecidas como técnicas

de visualização de volume (VV)[6].

As técnicas de visualização de escalares definidos no espaço, podem ser subdivididas basicamente em duas classes: a primeira procura gerar superfícies dentro do volume de dados, e a segunda que inclui técnicas de *rendering* volumétrico direto, cujo princípio é observar diretamente o conjunto de dados sem a necessidade da criação de uma representação intermediária.

Extração de Isosuperfícies de Interesse

As técnicas para traçado de isosuperfícies são compostas basicamente de três passos: numa primeira etapa, é aplicado um detector de superfícies ao volume de pontos amostrados; Em seguida, é feito o ajuste de primitivas geométricas sobre as superfícies detectadas que são posteriormente renderizadas por técnicas tradicionais.

Os métodos para o ajuste das primitivas geométricas incluem métodos de conexão de contornos e métodos de intersecção de células.

Métodos de conexão de contorno envolvem a identificação de contornos por um valor de interesse em fatias do volume de dados (planos que cortam o volume). Em seguida, as curvas em fatias adjacentes são conectadas em uma abordagem denominada tecelagem (*patching*) ou triangulação.

Técnicas de intersecção de células operam em cada célula do volume de dados procurando fazer uma aproximação da superfície de interesse naquela célula. Essas aproximações são posteriormente conectadas para formar a superfície definida pelo usuário.

A seguir, é apresentado o algoritmo Marching Cubes utilizado na geração de isosuperfícies para um conjunto de dados através da técnica de intersecção de células. Podemos citar também nessa classe de algoritmos, o Marching Tetraedra [6] e o Dividing Cubes [6] como extensões do Marching Cubes.

- Marching Cubes

A idéia básica desse algoritmo é processar cada célula do volume de dados independentemente, associando a cada uma delas uma aproximação à isosuperfície de interesse. O método *marching cubes* classifica as células de um volume de dados como completamente fora da isosuperfície, completamente dentro e células que são interceptadas pela isosuperfície. Para as células que são interceptadas pela isosuperfície, o algoritmo determina (através de técnicas de interpolação) os pontos de intersecção da isosuperfície como célula (finitos) e liga esses pontos para formar aproximações para isosuperfície na célula que está sendo processada.

Na ligação dos pontos em uma célula o algoritmo utiliza uma tabela de casos de

intersecção para evitar a ocorrência de ligações ambíguas que podem até mesmo gerar buracos na superfície visualizada.

Depois que todas as células do volume de dados foram visitadas, a isosuperfície, definida em termos de uma malha poligonal, está pronta para ser renderizada.

A principal vantagem da técnica de geração de isosuperfícies é a possibilidade de se utilizar *hardware* especializado no *rendering* das superfícies geradas, aumentando com isso a velocidade da geração de imagens e possibilitando ao usuário uma interação em tempo real com as visualizações. Outro fator importante é que através da geração de isosuperfícies pode-se identificar estruturas nos dados de medição e simulação [6].

Uma desvantagem dessa classe de técnicas é a perda natural do conteúdo total do conjunto de dados na visualização, visto que apenas uma parte desse conjunto estará sendo apresentado. Além disso, nem sempre os dados podem ser descritos em termos de superfícies, como é o caso de objetos amorfos (como nuvens ou fumaça).

Rendering Volumétrico Direto (DVR)

Técnicas DVR geram imagens 3D dos objetos diretamente a partir dos dados, sem a utilização de uma estrutura intermediária. Essas técnicas podem ser agrupadas em duas categorias: as que operam na ordem dos objetos e as que operam na ordem das imagens. Técnicas que operam no espaço do objeto tem como principal característica a de calcular, para cada objeto do volume de dados (células de malha onde estão representados os dados) sua contribuição na formação da visualização. Como exemplo dessa técnica, podemos citar o algoritmo *splashing* cuja principal característica é a utilização de um núcleo (*Kernel*) no cálculo de contribuição de cada voxel para formação de imagem.

Uma outra abordagem para algoritmos DVR é as classes de métodos que operam na ordem das imagens. Nessas classes de algoritmo DVR, é calculada para cada pixel, a contribuição do volume de dados em sua cor.

A seguir, é apresentado um algoritmo clássico de DVR que opera na ordem da imagem conhecido como Ray-Casting.

- Ray-Casting (Disparo de Raios)

No algoritmo de ray-casting, são traçados raios partindo de cada pixel da tela em direção ao volume de dados. O raio é então amostrado no volume de dados em valores discretos, separados por uma distância com especificada. O valor associado ao interior de célula é calculado por interpolação constante ou por interpolação linear a partir dos vértices da célula. Em seguida, são utilizadas tabelas de mapeamento para determinar os valores de cor e opacidade que são adicionados ao valor do raio. Depois disso, o raio prossegue para

o próximo ponto de amostragem. Esse processo é encerrado quando o raio deixa o volume de dados, ou atinge um valor 1 de opacidade [6].

Como vantagens desse método pode-se citar a capacidade de visualização do volume como um todo e principalmente sua facilidade de se paralelização. Uma desvantagem é seu alto custo computacional.

1.4.2 Técnicas para Entidades Vetoriais (E_n^V)

Dados vetoriais são representações tridimensionais que possuem uma direção e uma magnitude. Dados vetoriais geralmente são resultados de estudos na área de que envolve fluxo. Esses dados vetoriais podem ter duas, três ou mais direções e podem estar definidas em domínio planares ou volumétricos.

A seguir são apresentadas duas técnicas para visualização de entidades vetoriais que se enquadram tanto na categoria $E_2^{V_2}$ quanto $E_3^{V_3}$.

Hedgehogs e Glyphs Orientados

Uma técnica natural de visualização de vetores é desenhar um segmento de reta para representação de cada valor de dados. O segmento de reta começa no ponto com o qual o vetor está associado e é orientado de acordo com a direção das componentes (u_x, u_y, u_z) do vetor. Essa técnica é conhecida como visualização através de Hedgehogs.

Existem muitas variações dessa técnica. Setas podem ser adicionadas para indicar a direção de um segmento, as linhas podem ser coloridas de acordo com a magnitude do vetor ou alguma outra entrada escalar (por exemplo, pressão ou temperatura).

Uma idéia para o aperfeiçoamento dessa técnica é o uso de *glyphs orientados* ao invés de segmentos de retas, onde um *glyph* pode ser qualquer representação geométrica 2D ou 3D (como um triângulo ou cone).

A próxima seção apresenta uma introdução à biblioteca VTK, que tem sido utilizada como base para implementação das funções de visualização e sonificação no *PowerVis*.

1.5 Visualization Toolkit (VTK)

O VTK [1] oferece uma biblioteca de rotinas que executam funções gráficas 3D e de visualização. O ambiente foi projetado segundo a metodologia orientada a objetos, e escrito em C++ (com código disponível), podendo ser programado em C++, Tcl/Tk ou Java.

O VTK utiliza uma técnica de programação baseada na conexão de módulos para gerar as visualizações. O processo de criação de uma representação gráfica de um conjunto de dados é dividido em dois conjuntos principais: a parte dos módulos que controlam o *pipeline* de visualização, responsável pela transformação dos dados originais para uma representação visual; e a parte que controla o *pipeline* de *rendering*, responsável pela exibição da representação gráfica na tela, segundo atributos visuais selecionados pelo programador. A figura 1.1 apresenta um esquema da estrutura de módulos do VTK.

Figura 1.1: Estrutura de Conexão de Módulos no VTK - Adaptada de [6]

Na estrutura de módulos, os objetos são conectados de acordo com suas entradas e saídas. Assim, a saída de um objeto (ou módulo) deve ser compatível com a entrada de outro para que a conexão entre eles seja possível.

Existem no VTK, basicamente dois tipos de objetos:

- **Objetos de Dados (*Data Objects*):** são objetos que implementam os tipos de dados: grids (malhas), valores, vetores, tensores, meta-dados (como fontes de luz, dimensões, transformações) e muitos outros.
- **Objetos de Processo (*Process Objects*):** são objetos que executam a criação e a transformação de dados. Esses objetos podem: gerar dados (fontes - *sources*), transformar e manipular esses dados (filtros - *filters*), ou gravar informações em arquivos (*writers*).

O último tipo de módulo a ser conectado ao *pipeline* de visualização é um mapeador (ver figura 1.1), que é o início do *pipeline* de *rendering* e é responsável pela transformação dos dados em primitivas compatíveis com a biblioteca gráfica em uso. O próximo passo é então criar atores que representam as estruturas criadas a partir do conjunto de dados.

Um das principais vantagens do VTK são seus recursos para interação com os gráficos 3D gerados. Tais recursos possibilitam que o usuário “navegue” através dessas imagens, e conseqüentemente, através dos dados.

A classe do VTK chamada *vtkRenderWindowInteractor* é a responsável por transformar eventos do *mouse* e teclado em modificações aos atores e câmeras que compõem a visualização. Através dessa classe é possível realizar interações como rotação, walk-through e LOD. Outra vantagem é a capacidade dos usuários capturarem os eventos gerados por essa classe e implementarem as interações da maneira mais adequada à seus fins.

A classe *vtkStructuredPoints* é o objeto do VTK que representa o tipo de dados malha estruturada, e é utilizado nas implementações associadas a este trabalho de mestrado.

Este capítulo apresentou alguns conceitos e técnicas em visualização científica essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. O próximo capítulo é destinado ao estudo da área de sonificação de dados.

Capítulo 2

Conceitos de Sonificação

Conforme mencionado anteriormente, pode-se definir sonificação como sendo a área da computação que estuda o mapeamento de algum conjunto de dados para sons com o objetivo de fornecer ao usuário alguma informação sobre esses dados.

Estudos em sonificação são de fundamental importância e fornecem a base para o desenvolvimento deste trabalho. Os estudos realizados com esse objetivo são apresentados aqui.

A seção 2.1 deste capítulo apresenta algumas formas de apresentação de sons no dia-dia das pessoas. A seção 2.2 apresenta as principais características do som. A seção 2.3 descreve o processo de criação e manipulação de sons, conhecido como síntese de sons. A seção 2.4 descreve maneiras através das quais a sonificação pode ser utilizada em conjunto com a visualização. A seção 2.5 e 2.6 são destinadas à apresentação de trabalhos de sonificação.

2.1 O Uso do Som

O som é uma forma de transmissão de informações muito presente na vida das pessoas. Uma das principais vantagens dos estímulos sonoros é o fato das pessoas já estarem familiarizadas com eles e serem capazes de identificar informações transmitidas dessa forma no seu dia-dia.

A forma mais comum de se trocar informações é através da fala. Porém, o canal auditivo não está restrito somente a esse meio. Existe uma grande variedade de outras formas de interação baseadas em sons não falados que são reconhecidas e utilizadas pelas pessoas.

Os sons são fundamentais em diversas situações da vida das pessoas, podendo ajudar

a diagnosticar doenças e até mesmo a salvar vidas. Na área da medicina, por exemplo, médicos utilizam-se de aparelhos (como o estetoscópio) para ouvir nosso organismo e identificar possíveis problemas. Estudantes de medicina são ensinados a ouvir sons como os de gases no intestino e do sangue fluindo pelas veias. Algumas outras informações sobre o corpo humano (como temperatura) podem ser medidas e mostradas através de gráficos. Entretanto, os gráficos podem se tornar cansativos aos usuários durante longas tarefas de observação, e a solução para esse problema pode ser, algumas vezes, o uso de sons.

O campo cinematográfico é outro onde o som possui grande importância nos dias de hoje, sendo a parte de trilha e efeitos sonoros uma das partes de um filme mais estudadas e projetadas. A música, o som, os efeitos sonoros de um filme podem sugerir ao usuário sentimentos como medo, expectativa, calma ou humor. Esse fato ilustra muito bem o quanto é necessária a presença de estímulos sonoros na apresentação de algum tipo de informação e o quanto os seres humanos já estão acostumados a responder a esses estímulos.

Atualmente, jogos de computador e aplicações multimídia também fazem uso de sons para facilitar a transmissão de informações aos usuários. Quando se joga um jogo de computador o primeiro aspecto que se observa é a qualidade dos gráficos. Hoje em dia, essa deixou de ser a única preocupação dos fabricantes desse tipo de *software*. A qualidade e definição dos sons tem, juntamente com os gráficos 3D, uma grande importância no mundo dos jogos e requerem de seus projetistas muitas horas de trabalho e pesquisa. Uma boa forma de se entender a importância do som nos jogos e aplicações é experimentando jogar um desses jogos de luta ou suspense com o sistema de som do microcomputador desligado. Outras áreas da computação que se beneficiam e fazem muito uso do som são os sistemas operacionais e também as aplicações via *Internet*. Na área de visualização e interpretação de dados, várias tentativas têm sido feitas de incluir som como forma de apresentação (ver seção 1.4).

O estudo do som e suas propriedades é fundamental para um bom mapeamento dos dados. A próxima seção apresenta as principais características dos sons.

2.2 Propriedades do Som

Recentemente, o uso do som como forma de representação de informação passou de uma possibilidade quase remota em sistemas computacionais a uma área intensamente estudada e de grande desenvolvimento tecnológico.

Um dos principais motivos para que o som ainda não seja muito utilizado em sistemas

computacionais é o fato de ainda existirem características de percepção sonoras desconhecidas pelo ser humano. No contexto de aplicações computacionais, pode-se distinguir duas classes de som: a dos sons falados e a dos sons não falados. Um fator importante é que os sons não falados não dependem tão fortemente de uma linguagem ou cultura e por esse motivo apresentam e codificam melhor as informações a serem observadas (evitando ambigüidades lingüísticas e diferenças culturais)[9].

2.2.1 Acústica

O que se ouve em forma de som é uma classe da energia cinética física denominada energia acústica, que resulta de ondas de pressão que se propagam em um meio físico, geralmente o ar. Essas ondas de pressão provocam movimentos do ar que são percebidos pelos nossos ouvidos na forma de sons. Portanto, para que um som seja percebido por seres humanos, um meio, como por exemplo o ar, deve ser deslocado em movimentos “para frente” e “para trás”, resultando assim em ondas de movimento. Essas ondas podem ser descritas em termos da quantidade de ar que é movida, o quão freqüente é esse movimento do ar, e como é esse movimento. A figura 2.1 apresenta um exemplo de uma onda sonora descrita através da pressão (eixo y) em função do tempo (eixo x). A onda exibida na figura é chamada de onda senoidal e raramente é resultado de algum evento natural. A maioria dos sons possuem energias e freqüências diferentes, gerando assim, ondas sonoras bem mais complexas e irregulares.

Figura 2.1: Exemplo onda sonora

Em instrumentos acústicos, o movimento do ar (onda sonora) é realizado por alguma vibração física, como a de uma corda, ou por qualquer outra parte do instrumento. Já em instrumentos eletrônicos, onde se encaixam os sintetizadores, o movimento do ar é realizado por um auto-falante. Essas ondas chegam ao ouvido humano, onde se encontra o tímpano, e fazem com que ele vibre. Mudanças fisiológicas ocorrem e transformam o

movimento físico do tímpano em sinais elétricos analógicos que caminham pelos nervos em direção ao cérebro. Quando esses sinais chegam ao cérebro, o som é finalmente percebido.

Apesar de existir um número limitado de características sonoras, essas podem ser manipuladas para formar um rico conjunto de sons.

A percepção e o reconhecimento de um som em sua existência podem ser descrita em termos de três parâmetros:

- Entoação (*pitch*)
- Volume (*loudness*)
- Timbre

Um fator interessante é que esses não são os únicos parâmetros que identificam um determinado som; porém, pode-se interpretar as propriedades de todo som através de cada uma dessas três variáveis. A seguir, é apresentada uma descrição de cada uma dessas propriedades que identificam os sons.

Volume do Som (*Loudness*)

O volume de um som é uma característica diretamente ligada à sua amplitude, e representa a quantidade de ar que é movido em um determinado momento, na formação da onda sonora. Mais especificamente, o volume representa a altura de uma onda sonora acima e abaixo de seu ponto central. A figura 2.2 apresenta um exemplo de variações de volume através de duas ondas senoidais - uma representando um som de volume alto, e outra, o mesmo som com um volume baixo.

Figura 2.2: Duas ondas sonoras com amplitudes diferentes

Uma característica importante do volume é que ele sempre se altera no período de duração de um som. Assim, não se pode encontrar ondas sonoras onde a altura permaneça sempre constante. Um exemplo disso é o som gerado por um tambor, que se inicia repentinamente em um alto volume e então desaparece rapidamente.

Entoação (*pitch*)

A entoação é uma impressão subjetiva que corresponde bem à frequência e indica o quão grave ou agudo é um som. A entoação representa, portanto, o quão frequente são realizados os movimentos de ar que geram os sons, ou seja, qual a frequência de ocorrência de uma onda sonora em um determinado período de tempo.

Pode-se perceber na figura 2.1 que cada parte superior da onda é seguida de uma porção inferior, e que a primeira é um espelho da segunda, criando assim uma forma de “pico e vale”. A quantidade de tempo que uma onda leva para produzir um pico seguido de um vale é denominado período de uma onda, e um *ciclo de onda* é gerado em cada período. O número de ciclos gerados em um segundo determina a frequência, ou entoação, de uma onda sonora. Nem toda onda sonora é periódica, entretanto.

A faixa de valores de frequência capazes de serem ouvidos pelos seres humanos vai de 20 a 20.000 Hz.

Na realidade, sons não são formados apenas por uma frequência, mas por uma união de muitas. Normalmente, uma onda com determinada frequência se sobressai em relação as demais de um som por ser apresentada com uma amplitude maior. A essa onda, dá-se o nome de frequência fundamental ou básica [27]. A natureza das frequências secundárias, ou *overtones*, e sua contribuição na percepção de um som será discutida na seção que estuda o timbre de uma onda sonora.

A frequência de um som, assim como sua amplitude, sempre se altera durante sua duração, apesar de serem alterações bastante sutis.

Timbre

Também conhecido como “a cor do som”, pode ser definido como “o atributo da sensação auditiva que permite que dois sons similares com o mesmo volume e a mesma entoação possam ser julgados como sendo diferentes” [9]. O que torna possível, por exemplo, que se possa diferenciar os sons dos diversos instrumentos acústicos (como violão e flauta) é o fato de cada instrumento possuir um timbre característico.

Apesar de parecer uma característica puramente subjetiva ou um aspecto ilusório dos sons, o timbre pode ser precisamente definido em termos matemáticos. Isso se deve ao fato dele representar as relações entre as frequências secundárias (*overtones*) de uma onda sonora e sua relação com a frequência básica da onda.

Portanto, o que caracteriza o timbre de um som são seus *overtones*, e essa alteração no timbre pode ser percebida como mudanças na forma de uma onda sonora. Assim, um som suave, ou seja, um que contenha poucos *overtones*, irá produzir uma onda sonora

suave [27].

Além das propriedades anteriores, algumas outras características do som e da audição influenciam na percepção do som pelo canal auditivo humano. Entre estas, podemos citar:

- Duração: o tempo do som
- Ritmo: a “batida” de sons longos
- Mascaramento: a influência de um som na percepção de outros
- Localização Espacial: a capacidade humana de localizar a posição da fonte de um som
- Segregação de Sons: a capacidade humana de distinguir dois sons, quando apresentados simultaneamente
- Agrupamento de Sons: a característica humana de entender sons gerados separadamente como um único som

Os conceitos acústicos e princípios de percepção apresentados neste capítulo são fundamentais na escolha de sons e suas propriedades para sonificação. Mais ainda, o poder de representação de um projeto sonoro depende diretamente da manipulação correta dos aspectos perceptivos e propriedades sonoras apresentadas.

A próxima seção apresenta um estudo sobre algumas formas de se e manipular esses parâmetros sonoros na criação e projeto de um determinado som. A tal tarefa dá-se o nome de síntese de sons.

2.3 Síntese de Sons por *Software*

A tarefa exercida por aparelhos que realizam a síntese de sons (sintetizadores) é a de produzir sons (tanto musicais quanto não musicais) e permitir que o usuário interaja com os parâmetros que determinam o som para obtenção dos resultados sonoros desejados [27]. Existem duas formas principais de se realizar a síntese de sons. Uma delas é através de *hardware* com dispositivos e instruções que permitem ao usuário criar e manipular seus sons. A outra é através de sistemas de computador que simulam o *hardware* de som.

Dispositivos que realizam síntese de sons por *hardware* manipulam um conjunto reduzido de características sonoras, o que limita a capacidade do usuário de criar e compor sons [28]. Uma maneira de se melhorar a capacidade de interação do usuário com os sons por

ele gerados é através do uso de elementos *software* que manipulem certas características sonoras e possibilitem ao usuário a síntese de sons mais detalhados.

Nesta seção são apresentados os conceitos básicos envolvidos na síntese de sons por *software*. Nesse contexto, é apresentado um *software* para síntese de sons no apoio à tarefa de sonificação, o CSound.

2.3.1 Síntese Digital de Sons

Síntese digital de sons pode ser definida como a forma de gerar conjuntos de números que representam amostras (*samples*) de uma onda sonora. Na realização dos sons, essas amostras são enviadas a um aparelho denominado DAC (*digital-to-analog-converter*) cuja função é a de converter sinais digitais em analógicos. Esse conversor é responsável pela conversão dos números da amostra para uma voltagem variando continuamente no tempo, que pode ser amplificada e enviada às caixas de som.

O processo de síntese digital de sons pode ser visto da seguinte forma: pode-se imaginar um programa de computador que calcula as amostras de acordo com uma fórmula matemática e envia esses valores, um após o outro, ao DAC. Todos os cálculos são feitos pelo programa, que pode ser modificado de forma arbitrária pelo usuário para sintetizar sons específicos. Dessa forma, a síntese digital de sons nada mais é do que uma síntese de sons através da utilização de programas computacionais, ou seja, via *software*. A principal vantagem da síntese por *hardware* é a existência de circuitos especiais que se encarregam dos cálculos necessários, aumentando a velocidade da síntese de sons.

Apesar de necessitar de um tempo maior de processamento, a síntese de sons por *software* garante ao usuário uma flexibilidade na geração de sons que não pode ser obtida através de dispositivos de *hardware*, o que torna essa técnica muito útil para a área de sonificação de dados [32]. Tal flexibilidade pode ser exemplificada através de um exemplo bem simples: suponha que um desejado som para ser sintetizado necessite de nove osciladores e um filtro de sons. O usuário precisa, para realizar tal som, de todo esse equipamento de *hardware*. Outro som, porém, pode precisar de nove filtros de sons e apenas um oscilador. Para esse, o usuário teria que comprar mais oito filtros para geração do som desejado. No entanto, utilizando dispositivos de *software*, o usuário pode programar um computador para simular tanto os oito osciladores e um filtro, quanto os oito filtros e um oscilador.

Qualquer som imaginável pode ser sintetizado a partir instruções de *software* – partindo-se do princípio que o usuário dispõe de tempo para esperar pelos resultados [28]. Com uma taxa de amostragem de 44.100 amostras por segundo, o tempo disponível por amostra

é de 20 microssegundos, que é um intervalo pequeno para síntese em tempo real de sons complexos. Por essa razão, a maioria dos programas de síntese de sons gera arquivos de sons que são enviados ao DAC e então reproduzidos.

As principais vantagens da síntese de sons por *software* são, portanto, sua economia e flexibilidade para geração de sons. Mais ainda, um computador pode simular qualquer unidade de geração de sons e implementar qualquer técnica de síntese de sons, tanto as tradicionais e mais utilizadas, quanto as que ainda nem existem.

A seguir, é apresentado um sistema de *software* que realiza a síntese de sons, e que está sendo considerado para uso no presente trabalho.

2.3.2 CSound

CSound é um programa de síntese digital de sons criado no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) [32] e escrito em linguagem C. Grande parte do sucesso desse *software* entre os usuários de síntese sonora se deve ao fato do CSound ser um *software* gratuito e de código livre. Assim, cientistas, músicos e usuários de qualquer parte do mundo podem ter acesso a esse programa e, se necessário, alterá-lo para a execução de tarefas específicas.

A funcionalidade do CSound é uma das suas principais qualidades. Com a atual versão do *software*, pode-se implementar qualquer tipo de técnica ou processo para a geração de sons. Mais ainda, tal flexibilidade permite que o usuário crie uma “máquina de som” virtual que seja adequada às suas necessidades. Outra característica determinante desse *software* é sua portabilidade. Atualmente existem versões suas para vários ambientes e sistemas, como, por exemplo, PC, Mac, PowerMac e SGI [31].

Para a geração de sons, o CSound necessita da especificação de dois arquivos texto chamados arquivos *Orchestra* e *Score*. Nesses arquivos, estão especificados tudo o que é necessário para que o usuário crie sua “máquina virtual” e controle os parâmetros adequados para a geração de seus sons.

Para a realização de um som, o programa CSound compila e executa os arquivos *Orchestra* e *Score* especificados pelo usuário e gera, como saída, um arquivo binário representando o som gerado. Os sons gerados pelo CSound podem também ter como fonte sons reais gravados digitalmente.

A figura 2.3 exemplifica a forma de geração de sons através do CSound.

Figura 2.3: Exemplo de como os sons são gerados pelo CSound - Adaptada de [31]

Portanto, os sons gerados pelo sistema CSound podem, com base nas características apresentadas, serem classificados como “Sons Virtuais”, que são sons criados “do nada”, baseados apenas em idéias, fórmulas, expectativas e algum tipo de metodologia [31].

A atual versão do CSound permite a implementação de qualquer método de síntese de sons, tanto os já existentes (como o de síntese aditiva, substrativa e por modulação de frequência), como a criação de novos métodos [31].

A próxima seção apresenta algumas formas através das quais pode-se fazer uso de sons e técnicas de sonificação no auxílio à tarefas de visualização de dados científicos.

2.4 Motivação para a Sonificação em Visualização

Conforme discutido anteriormente neste texto, uma forma de auxiliar e solucionar alguns problemas encontrados na visualização de dados é através do uso do canal auditivo como um outro meio de transmissão de informações. Através da utilização de técnicas de sonificação, é possível oferecer ao usuário novas formas de exploração dos dados que visam não só buscar um melhor nível de interação entre os usuários e seu conjunto de dados, mas também oferecer uma nova alternativa ao canal visual e a exploração exaustiva de gráficos 3D.

A principal contribuição do som em sistemas de visualização é a representação dos dados. Uma das grandes vantagens do uso de sons está no fato de que a audição possui propriedades diferentes da visão, podendo assim ser útil na identificação de padrões e estruturas não observados na imagem [4].

Existem certos tipos de informação científica para as quais não é natural o mapeamento em objetos gráficos [8]. Para esses tipos de informações, o mapeamento por som pode ser uma boa ferramenta para que o usuário possa interagir e entender melhor os dados. Como exemplo desses tipos de dados, pode-se citar dados lineares ou quadráticos com características temporais, e também tarefas de comparação de valores escalares.

Além disso, o som também pode ser muito útil na validação de dados gráficos. Em muitos casos é difícil saber se os dados apresentados de forma gráfica estão corretos ou se o que é visualizado provém de algum tipo de erro (erro que pode ser introduzido de diversas formas, como por exemplo, através da interpolação de dados). O mapeamento sonoro desses dados ou das entidades gráficas formadas por eles pode confirmar ou questionar o resultado obtido na representação gráfica.

A adição da dimensão temporal é outra contribuição do som para tarefas de visualização [9]. O tempo pode ser naturalmente representado por mapeamentos sonoros. Quando existe esse mapeamento, o usuário pode ter noção da progressão no tempo dos valores de uma determinada variável sendo observada. O que garante isso é a natureza temporal do som.

Apesar da área de sonificação ainda ser bastante nova na computação, os benefícios do uso do som em sistemas computacionais têm sido reconhecidos e pesquisados pela comunidade científica. Hoje em dia já existem foros de discussão de renome (sound.acm.org) e congressos dedicados ao estudo do *display* auditivo (ICAD - www.santafe.edu/~icad).

A próxima seção é dedicada à apresentação de algumas das principais técnicas e alguns trabalhos na área de sonificação de dados.

2.5 Estudos em Sonificação

O estudo do som e de formas através das quais esse estímulo pode contribuir na apresentação de informações sobre os dados atinge atualmente uma grande área que vai desde estudos técnicos em áreas de engenharia a estudos em realidade virtual.

Existem diversas maneiras através das quais se pode realizar o projeto de uma sonificação, ou seja, definir de qual forma os dados podem ser mapeados para algum tipo de estímulo sonoro. Alguns dos métodos de sonificação mais conhecidos são os *earcons*, os *auditory icons* e o mapeamento de parâmetros, apresentados a seguir.

2.5.1 *Earcons*

Earcons são *motifs* musicais de curta duração que usam tons musicais na representação

dos dados. Os *earcons* foram desenvolvidos com o objetivo principal de fornecer ao usuário respostas a atividades em uma GUI (*Graphical User Interface*[11]).

Earcons utilizam a técnica de combinação de sons simples para criar um som mais complexo contendo a informação que deve ser transmitida ao usuário. Esses sons básicos podem variar quanto ao ritmo, entoação, timbre, registro e dinâmica. Por exemplo, um tom A com entoação de 440 Hz pode significar “arquivo” e um tom B com entoação 600 Hz significar “deletado”; assim, combinando A com B em série, será produzido um tom significando “arquivo deletado”.

A facilidade de se construir os *earcons* em qualquer computador com ferramentas existentes para manipulação de audio é uma das principais vantagens desse método de sonificação. A principal desvantagem é, entretanto, a dificuldade na aprendizagem dos sons gerados. Pessoas não acostumadas com os sons produzidos podem aprender de 4 a 6 sons simbólicos em alguns minutos. Porém, a aprendizagem de mais símbolos pode levar horas. Outro fator que contribui para a utilização desse método em sistemas de sonificação é o fato dos *earcons* produzirem uma representação abstrata para os dados. Isso significa que os sons dos *earcons* não precisam sugerir os objetos que eles representam, o que garante que mesmo objetos que produzam sons desagradáveis possam ser representados.

2.5.2 Auditory Icons

O *auditory icons* é um método que usa sons do dia-dia, como o bater de uma porta ou o barulho de um ventilador, para transmitir informações. Assim como os *earcons*, eles surgiram como uma forma de oferecer resposta em uma interface gráfica [11]. Nessa técnica, objetos e eventos da interface são mapeados para sons do mundo real que melhor representem esses objetos. Por exemplo, o encerramento de um programa pode ser modelado para sons como uma porta sendo fechada.

A principal vantagem do uso dessa técnica é a familiaridade dos usuários com os sons apresentados. Um fator negativo dos *auditory icons* é a dificuldade de se desenvolver um algoritmo que possa produzir sons que representem fielmente os sons do dia-dia. A solução para esse problema poderia ser a gravação e manipulação de sons reais, o que também é uma tarefa bastante complicada. Outro problema desse método é o processo de abstração ao se apresentar tarefas virtuais (como operações de *software*) com sons mecânicos reais. Essa abstração pode causar dificuldade na sua aprendizagem semelhante à dos *earcons*.

2.5.3 Mapeamento de Parâmetros

O terceiro método de sonificação é o mapeamento de parâmetros. Nesse método, o que ocorre normalmente é o mapeamento de alguma dimensão dos dados em um parâmetro sonoro como entoação, duração ou volume [11]. Diferentes variáveis podem ser mapeadas para diferentes parâmetros em uma sonificação, formando assim sons complexos. Assim, por exemplo, valores altos podem ser mapeados para volumes altos; valores distantes por frequências altas, e assim por diante.

O fato de existirem ferramentas que permitem e facilitam o mapeamento de dados em parâmetros sonoros é uma das principais vantagens desse método. É importante também o fato de que, através do mapeamento de parâmetros, o usuário é capaz de representar muitas dimensões dos dados ao mesmo tempo. Um problema dessa técnica é que o mapeamento de dados para parâmetros sonoros pode muitas vezes gerar sons desagradáveis que dificultem o trabalho de pesquisa do usuário. Algumas técnicas controlam essa formação limitando a quantidade de sons possíveis.

Os princípios das três técnicas descritas até aqui guiam a criação de sonificações na maioria das abordagens publicadas até o momento.

O restante deste capítulo é destinado à apresentação de trabalhos recentes em diversas áreas de sonificação.

2.6 Revisão de Trabalhos em Sonificação

Pessoas com deficiência visual necessitam e confiam em sons mais do que as com visão normal ou corrigida. Assim, através da apresentação sonora de informações, sistemas de sonificação podem ajudar essas pessoas a analisar dados e gráficos, ou mesmo navegar e ter acesso a uma interface computacional. O KnowWhere [12] foi criado por Krueger e Gilden com o intuito de apresentar informações geográficas a pessoas cegas. Nesse sistema, as mãos do usuário ficam posicionadas em uma interface luminosa coberta por um *grid* em alto relevo que é filmado por uma câmera de vídeo. Essa imagem de vídeo é então analisada por processadores especializados e a localização dos dedos do usuário na mesa luminosa pode ser determinada. Um mapa virtual invisível é definido na superfície da mesa, e conforme o usuário move os dedos pelo mapa, sons característicos são emitidos pelo sistema. Assim, o usuário pode identificar características do mapa movendo seus dedos pelo *grid* que representa o mapa virtual.

Na interação com interfaces multimídia, o usuário tem que identificar e processar vários tipos de informação. Além de receber dados na forma visual, os usuários podem

escutar seus computadores e em alguns casos até mesmo sentir seu ambiente de trabalho. Usualmente, esses tipos de informação atingem o usuário simultaneamente e ele tem que identificar a informação que está sendo transmitida, sendo que tanto as imagens quanto o som podem carregar informações importantes. Analisando isso, Bussema e Haan [15] desenvolveram um estudo que busca melhores maneiras de se combinar imagens e sons para otimizar a transmissão de informações ao usuário em interfaces multimídia. A tarefa de identificação de informações foi estudada através da apresentação da combinação de presença ou ausência de ícones (representação visual) e *earcons* (representação auditiva). Os resultados do estudo mostram que, quando as mensagens principais são apresentadas na forma visual, informações adicionais auditivas causam um atraso no reconhecimento da informação. Já no caso onde a informação principal é apresentada por sons, a adição de imagens aumenta a velocidade de resposta do usuário.

Conjuntos de dados multidimensionais e em grandes quantidades são um desafio às tarefas de visualização. Um exemplo desse tipo de dados são os conjuntos de dados sísmicos, que geralmente possuem bilhões de amostras de dados. É difícil que se consiga uma visualização de todos esses dados sem que pequenas, mas importantes características ou eventos sejam perdidos. Esse problema levou os profissionais em sismologia a “escutar” seus dados ao invés de apenas visualizá-los. Saue e Fjeld [19] desenvolveram um trabalho que investiga o uso de técnicas de sonificação na interpretação sísmica para exploração de petróleo. Nesse trabalho, é feita a extração de parâmetros sísmicos para sonificação e posterior o mapeamento desses parâmetros para parâmetros MIDI de velocidade e frequência. Resultados mostram eficiência da adição do *display* auditivo na interpretação desse tipo de dados, apesar do tempo necessário para a adaptação aos sons.

Hermann, Meinicke e Ritter [22] apresentaram uma nova abordagem para a sonificação de dados multidimensionais que permite a percepção da estrutura principal da distribuição dos dados. A forma através da qual isso foi possível foi através da sonificação da curva principal de um conjunto de dados. A curva principal pode ser definida como sendo a trajetória que passa pelo “meio” dos dados e permite a definição de uma organização temporal para eles. Experimentos mostraram que a sonificação da curva principal pode fornecer uma apresentação bastante útil, já que os agrupamentos de dados puderam ser mais facilmente percebidos e estruturas de difícil reconhecimento visual puderam ser detectadas. A ideia foi aplicada na análise de dados médicos, onde estruturas devem ser encontradas a partir de longas séries temporais.

Saue [21] apresentou um modelo geral para navegação e sonificação em grandes conjuntos de dados espaciais baseado no uso de sons do dia-dia. O modelo foi criado incluindo

som e técnicas de interação. O usuário interage com a apresentação de movimentando através das regiões do conjunto de dados ouvindo sons locais e gerais. Os sons que constituem o modelo construído são:

1. *MoveSounds*: sons locais gerados pela movimentação do usuário (como por exemplo, o som de passos).
2. *ObjectSounds*: Sons decorrentes de eventos e objetos.
3. *AmbientSounds*: Sons globais que caracterizam o ambiente (como por exemplo, o som de chuva).
4. *ExamineSounds*: Sons locais causados por manipulações deliberadas (por exemplo: batidas).

A apresentação multi-modal aumenta significativamente a qualidade em ambientes de realidade virtual. Dessa forma, o uso de sons juntamente com as imagens 3D podem garantir uma melhor qualidade de imersão e interação de usuários de mundos virtuais. O COOLVR (*Complete Object Oriented Library for Virtual Reality*) [18] é um *toolkit* em desenvolvimento no *Graphics, Visualization and Usability Center* (GVU) em Georgia Tech por Jarrel e Kooper. Esse *toolkit* foi escrito para permitir que programadores criem ambientes virtuais que podem ser compilados em diversas plataformas. Ao contrário da maioria dos *toolkits* que se direcionam totalmente à percepção visual, o COOLVR busca unir os sentidos da visão e audição para atingir melhores resultados. Através da capacidade de integração de sons espaciais em um mundo virtual, o COOLVR garante a obtenção de um maior nível de imersão e presença em ambientes virtuais.

Procedimentos médicos de longa duração causam fadiga mental e deficiências na atenção. Jovanov et al [14] estudaram o uso de sons como uma maneira de fixar a atenção durante procedimentos de análise longos. Nesse trabalho, os autores apresentam os conceitos de audio tátil e *rendering* acústico. O audio tátil estuda o uso de respostas auditivas para facilitar o posicionamento preciso e exato de um objeto em relação a outro. Esse conceito é muito útil na área de medicina, pois ajuda o cirurgião a posicionar seus instrumentos sem a necessidade de tirar seus olhos do paciente como no caso da análise de um ultra-som ou outras ferramentas visuais. O *rendering* acústico é o uso de inapeamentos para parâmetros sonoros. Nesse trabalho foi implementado um ambiente para o monitoramento da atividade elétrica cerebral. Esse ambiente consiste de um sistema de visualização 3D e um sistema de sonificação de dados de eletro-encefalograma (EEG),

com suporte à espacialização 3D dos sons (mudanças na localização dos sons de acordo com mudanças nos dados do EEG). Outra técnica de sonificação utilizada foi o uso de padrões sonoros com mudanças apropriadas em sua frequência. Essas mudanças na frequência servem como alerta a mudanças no EEG do paciente durante os longos períodos de observação.

Sturm [23] desenvolveu métodos para sonificação de sistemas de partículas utilizando a hipótese de Broglie, a qual afirma que partículas podem atuar como ondas, assim como ondas podem atuar como partículas. Utilizando essa hipótese o autor criou um sistema de sonificação com o objetivo de facilitar a percepção e o entendimento de sistemas de partículas. A “espacialização” desses sistemas é feita da seguinte maneira: o espaço do sistema, isto é, o plano xy , é dividido em quadrantes, com origem no observador; cada quadrante é percebido através de um auto-falante em um sistema quadrafônico (por exemplo, a região do plano xy onde $x > 0$ e $y > 0$ é sonificada no auto-falante direito frontal do sistema quadrafônico). Quando uma partícula começa a se mover entre os quadrantes, o sistema calcula a quantidade de som em cada auto-falante pela determinação da porcentagem da esfera que representa a partícula contida naquele quadrante.

O problema da ortogonalidade em sistemas sonoros, onde mudanças em uma variável sonora podem influenciar a percepção de outras variáveis, foi abordado por Neuhoff, Krainer e Wayand [25]. Nesse trabalho, eles demonstram a influência perceptiva entre mudanças na entoação e altura dos sons. Os experimentos realizados mostraram que mudanças realizadas na altura podem influenciar nas mudanças de entoação e vice-versa. Foi observado que quando frequência e intensidade mudavam na mesma direção, a percepção dessas mudanças crescia em relação a situações onde essas variáveis mudavam em direções opostas.

Uma ferramenta colaborativa para navegação na *Web* foi descrita por Dieberger [24]. Nesse trabalho, o sistema CoWeb foi modificado para agregar o histórico de interações nas páginas indicando os acessos recentes e quando foi realizada a última modificação realizada em uma determinada página. O som foi adicionado na apresentação dos *links* das páginas, apresentação de múltiplos *links* simultâneos com mesmo histórico, e apresentação da quantidade de acessos para os *links*, entre outros.

Os trabalhos acima representam algumas experiências de sucesso com o uso do som. A seguir, são apresentados em mais detalhe alguns trabalhos com implicação direta no desenvolvimento do projeto no qual este mestrado se insere.

2.6.1 Listen

O *Listen* é um sistema orientado a objetos, desenvolvido por Lodha e Wilson [26], que realiza a sonificação de dados científicos. Ele foi escrito em linguagem C++ para a plataforma *Silicon Graphics* (SGI) e pode trabalhar com o *chip* de audio interno da SGI, com um dispositivo MIDI ou mesmo com ambos. Um dos principais objetivos do *Listen* era o de ser um sistema para sonificação modular, flexível, adaptável, portátil, interativo e extensível. Seu uso ainda é muito limitado, mas suas idéias podem ser úteis para as extensões planejadas para o DSVol.

A idéia principal quando se desenvolveu o *Listen* era a de criar um sistema que servisse de apoio à tarefa de visualização de incerteza. Incerteza pode ser definida de forma bastante ampla incluindo conceitos de erro, imprecisão, nível de confiança e qualidade dos dados. Geralmente esses problemas estão associados à aquisição (medição), transformação (interpolação) ou visualização dos dados (modelos de *rendering* e algoritmos inadequados).

Para realizar o mapeamento de dados para sons, o *Listen* utiliza variações na entoação, localização, duração e volume do som apresentado. Além disso, o sistema possui um esquema de utilização de um timbre por *stream* de dados na implementação MIDI.

Dois experimentos utilizando esse sistema foram realizados, ambos para a sonificação de algum tipo de incerteza. O primeiro experimento procurava identificar incertezas geométricas, enquanto o segundo tinha como objetivo sonificar incertezas em fluxo de fluidos. Resultados desses experimentos mostraram que o uso de sons foi de fundamental importância na detecção de informações difíceis de serem detectadas somente através do *display* visual. A sobrecarga visual também foi diminuída com o uso do som para o mapeamento de parâmetros dos dados.

2.6.2 Porsonify

O *toolkit Porsonify* para sonificação foi desenvolvido por Madhyastha e Reed [20]. A idéia principal desse sistema era a de ser facilmente integrado a sistemas de visualização já existentes.

Para oferecer portabilidade, o *software* é baseado em descrições de dispositivos de som abstratos. Através da manipulação desses dispositivos abstratos, o sistema permite acesso transparente a dispositivos de audio, escondendo do usuário conceitos de mais alto nível em sonificação.

O *Porsonify* provê também mecanismos para que se estenda o *software*, permitindo assim o desenvolvimento de diversos tipos de sonificação como: mapeamentos pa-

ra parâmetros sonoros, *streams* de audio no tempo e também as *audio cues*. Alguns parâmetros sonoros usados pelo *software* para o mapeamento de dados são a frequência, timbre, volume e a duração do som.

Duas aplicações para do *software* foram criadas para testar sua flexibilidade e generalidade. A primeira foi o desenvolvimento de uma ferramenta gráfica, denominada *sdinterface*, que fornecia e permitia uma interação gráfica com dispositivos de audio. A segunda, chamada de *Pablo Performance Analysis Environment*, é um *toolkit* de visualização com suporte para sonificação oferecida pelo *Porsonify*.

2.6.3 SSound

Minghiin e Forrest [3] projetaram e implementaram um sistema de sonificação para dados de superfície, denominado SSound. O SSound implementa algumas funções sonoras responsáveis por apresentar e permitir que o usuário interaja e explore a visualização de superfícies. O capítulo 3 deste trabalho apresenta em maiores detalhes o DSVol [9], um sistema de sonificação que foi criado como extensão ao SSound.

2.6.4 MUSE

Lodhia e Beahan desenvolveram o MUSE (*Musical Sonification Environment*) [17], um sistema de sonificação com o objetivo de mapear dados científicos em sons musicais.

O fato de só trabalharem com sons não musicais pode ser considerado um problema na maioria dos sistemas de sonificação. Esse tipo de som pode se tornar irritante ao usuário principalmente quando grandes conjuntos de dados estão sendo explorados durante longos períodos de tempo. Assim, O MUSE tenta introduzir um novo conceito na área de sonificação através do mapeamento dos dados em sons musicais, mais agradáveis ao usuário. O principal desafio dos autores foi o de garantir e preservar o significado dos dados através desse tipo de mapeamento.

O MUSE permite mapeamentos flexíveis de dados em parâmetros sonoros como entoação (melodia), ritmo, tempo, volume, timbre e harmonia. O *software* foi escrito em C++ para uma plataforma *Silicon Graphics* e trabalha com o *software* responsável pela especificação dos sons CSound mencionado na seção 1.3.2.

O MUSE foi utilizado para visualizar incertezas em isosuperfícies e dados volumétricos.

2.6.5 Sonificação de Imagens Texturizadas

Esse trabalho foi desenvolvido por Martins e Rangayyan [16] e teve como principal objetivo verificar o potencial do *display* auditivo e métodos de sonificação na análise auditiva de imagens texturizadas. Entre os diversos problemas envolvidos no mapeamento de texturas de imagens em sons, o primeiro que se nota é que o som é um fenômeno temporal, ou seja, que se altera no tempo, enquanto que uma imagem é estática.

Para mapear texturas randômicas, os autores convertiam as imagens 2D em sinais unidimensionais através de projeções da imagem em diversos ângulos. Através da representação de diversas projeções como sons, os autores buscavam representar as características espectrais da textura randômica.

No caso de texturas quasi-periódicas, foi utilizado o mapeamento de atributos do elemento de textura e periodicidade para parâmetros sonoros. Em particular, projeções do elemento de textura são utilizados na síntese de sons “parecidos-com-fala”, com a frequência sendo uma função da periodicidade vertical. A periodicidade horizontal é utilizada para fornecer ritmo na apresentação das séries de projeções do elemento de textura.

Um total de 15 experimentos (10 para texturas randômicas e 5 para periódicas) foram realizados para comprovar a eficiência desse modelo. Os principais objetivos no caso de texturas randômicas eram: classificar a textura de acordo com a forma do ponto, ordenar os sons derivados de imagens com mesmo ponto de diferentes tamanhos e associar uma imagem texturizada com o som gerado. Já no caso de texturas periódicas, o objetivo era verificar se os mapeamentos tinham uma associação natural com as imagens e se as funções de mapeamento possibilitavam a ordenação de imagens de acordo com as variações em seus parâmetros.

Devido ao fato de que a derivada enfatiza as componentes de alta-frequência de um sinal, foi utilizada a derivada das projeções com a intenção de se obter uma melhora na análise dos sons. Porém, os resultados mostraram que a apresentação de sons sem o uso da derivada levam a uma melhor performance que com o uso da derivada. Isso ocorre por que a operação de derivação resulta em sinais com muito ruído e difíceis de serem analisados.

Outros resultados mostram que ritmo, frequência e duração são facilmente identificados com periodicidade horizontal, vertical e tamanho do ponto, respectivamente.

5na rede mundial de computadores sem tanta dependência em

Esse capítulo apresentou um estudo sobre os sons, suas propriedades e a maneira que eles podem ser utilizados como auxílio à tarefas computacionais, e em especial à visualização científica.

Algumas dificuldades são encontradas na utilização do som em sistemas computacionais. A principal delas é a falta de padrões que permitam que sistemas sonoros funcionem em diferentes plataformas.

Como alguns outros problemas ainda a serem resolvidos, e estudos a serem realizados na área de sonificação, pode-se citar: a necessidade de se garantir que os dados sejam ouvidos corretamente e seguramente como sons; o efeito que a sonificação exerce sobre uma determinada tarefa (seus benefícios e desvantagens); a quantidade de treinamento de usuários antes que uma sonificação possa se tornar útil; o nível de aceitação dos usuários com a utilização do *display* sonoro; e a necessidade de ferramentas mais simples de se utilizar e mais acessíveis a um maior número de usuários.

Apesar de seus desafios, a área de sonificação tende a continuar sua tendência de desenvolvimento nos próximos anos, principalmente no contexto de visualização, interfaces e ambientes virtuais. Para isso, os aspectos de visualização distribuída e na Internet, discutidos no próximo capítulo, são de extrema importância.

Capítulo 3

Visualização Distribuída e na Internet

A área da visualização de dados vem crescendo muito nos últimos anos. Porém, alguns dos fatores que ainda impedem o seu desenvolvimento são sua falta de popularização, problemas de interação dos usuários com os sistemas de visualização existentes, e o custo de armazenamento de grandes quantidades de dados e de processamento de *rendering* complexo em tempo-real [1]. Estudos recentes buscam soluções para esses problemas através do uso de recursos de visualização distribuída e também a visualização na WWW.

A distribuição de recursos (dados, simulação e processamento) em rede, tarefa desempenhada pela visualização científica, aparece como uma tentativa de solucionar o problema de sobrecarga de recursos na máquina do usuário [35]. Assim, um usuário que está trabalhando com um conjunto de dados muito grande pode armazenar e acessar esses dados em diversas localidades diferentes. Nos casos em que os recursos computacionais de um usuário não são suficientes para processos de visualização, computadores externos mais poderosos podem oferecer os recursos necessários para que esses usuários possam utilizar seus processos de visualização.

A idéia de se poder acessar dados, e até mesmo sistemas de visualização, localizados remotamente em qualquer lugar do mundo, aparece como uma tentativa de solucionar alguns dos problemas da área de visualização de dados citados, como o acesso a sistemas de visualização [1]. Através da evolução das tecnologias de visualização na WWW, os usuários e pesquisadores não ficam limitados a somente acessar informações sobre técnicas e estudos em visualização, mas também a interagir, tirar suas próprias conclusões e ainda discutir e compartilhar seus resultados com outros pesquisadores de todo mundo.

Este capítulo discute maneiras através das quais se pode utilizar recursos de distri-

buição e programação na *Web* para tornar o campo de visualização mais acessível, interativo e poderoso. O objetivo é selecionar um conjunto de ferramentas para tornar esses recursos disponíveis no contexto do DSVol (capítulo 4).

A seção 3.1 apresenta um esquema de classificação para arquiteturas distribuídas. A seção 3.2 descreve um modelo que indica como as diversas etapas da visualização de dados podem ser analisadas através de um paradigma distribuído. A seção 3.3 apresenta técnicas e ferramentas para a realização de visualização na WWW, e a seção 3.4 apresenta alguns recursos disponíveis atualmente na área de distribuição.

3.1 Arquiteturas Distribuídas

A *World Wide Web* é basicamente um sistema cliente/servidor e sua tecnologia permite a execução de visualizações combinadas no cliente e no servidor, garantindo algumas vantagens e desvantagens a ambas as abordagens.

Do ponto de vista de cliente/servidor, as aplicações e técnicas de visualização distribuída podem ser divididas em duas classes principais: a *fat client* e *thin client* [35]. Essa classificação é feita de acordo com a maneira como são implementadas as interações entre o cliente e o servidor.

3.1.1 Thin Client

Um exemplo de cliente *Internet* atual é o *browser*, que funciona como um visualizador das informações contidas em um servidor. Um verdadeiro cliente de *Web* não é capaz de executar programas a menos que os programas executáveis sejam “baixados” para esse cliente na forma de *Plug-Ins* ou Componentes de *Web*. A esse tipo de clientes, é dado o nome de clientes *thin*. Um cliente *thin*, por definição, possui requerimentos mínimos de *software* necessários para funcionar como uma interface para uma aplicação com suporte a *Web* [35].

Um cliente do tipo *thin* falha sobretudo na parte de interação do usuário com a visualização. Nesse tipo de cliente, os dados ficam armazenados no servidor e a função do cliente é solicitar a execução de um programa de visualização localizado no servidor. Com isso, o cliente perde em controle e capacidade de interação com as imagens e animações produzidas. A vantagem é que os resultados podem ser vistos por qualquer cliente sem a necessidade de *hardware* ou *software* especiais.

3.1.2 Fat Client

Dá-se o nome de cliente *fat* às aplicações de visualização distribuída onde o cliente é responsável por grande parte do processamento para que sejam realizadas as visualizações. Assim, tanto o *software* quanto os dados devem estar localizados no cliente. O principal problema dessa técnica é a dificuldade de transmissão de grandes conjuntos de dados via Internet, já que o servidor não sabe o que o cliente irá fazer com os dados. Adicionalmente, o cliente pode não ter memória ou mesmo poder de processamento suficientes para executar a visualização. A vantagem desse tipo de técnica é que o usuário tem um controle completo da visualização e pode interagir ou modificá-la da maneira que achar melhor.

As próximas seções apresentam um estudo sobre as diferentes abordagens para a execução de uma aplicação de visualização distribuída e na WWW.

3.2 Um modelo de Referência para Visualização Cliente/Servidor

Um modelo de referência para a visualização científica atual é proposto por Upson et al [33]. Este modelo vê o processo de visualização como um *pipeline*, no qual uma fonte de dados é alimentada, filtrada, mapeada e renderizada para criar uma imagem final. O processo de filtragem seleciona os dados de interesse (por exemplo, um corte); o processo de mapeamento cria uma representação geométrica abstrata dos dados (por exemplo, um mapa de contorno); e o processo de renderização, a partir da geometria 3D gerada pelo processo de mapeamento, aplica modelos de iluminação, tonalização e projeção para criar uma imagem. Esse *pipeline* é ilustrado na figura 3.1 e é muito útil para o entendimento do conceito de visualização distribuída e na Web. Nesse esquema, os dados são gerados pelo editor (servidor) e a imagem é apresentada ao observador (cliente), porém, essa tarefa pode ser realizada de diferentes maneiras através da manipulação na forma em que são executados os processos intermediários (filtragem, mapeamento e *rendering*).

O restante dessa seção apresenta um modelo de referência para a visualização na Web descrito na forma de cenários de distribuição [34].

Figura 3.1: Esquema da Área de Visualização

3.2.1 Cenário 1

Este é o tipo de configuração mais comum em visualizações distribuídas e na *Web*. Através dessa arquitetura, o editor executa o programa de visualização e produz como resultado uma imagem (como no cliente *thin*). Essas imagens são então salvas em algum formato gráfico padrão, como por exemplo GIF e JPEG, e depois transmitidas via rede ao cliente que solicitou a visualização. O cliente pode também solicitar algum tipo de animação, que é gerada pelo editor e também transmitida em algum formato padrão (MPEG por exemplo). Esse cenário é ilustrado na figura 3.2, interpretado em termos do modelo de referência anterior.

Figura 3.2: Cenário 1 - Exibindo imagens através da *Web*

O principal problema dessa abordagem é a baixa interação do usuário com os resultados da visualização, já que esse fica limitado a observar as imagens e animações obtidas. Outro problema que pode ser citado é a possível demora na transmissão dos resultados obtidos na visualização através da rede.

3.2.2 Cenário 2

Nessa configuração o cliente ganha em capacidade de interação com a visualização gerada pelo fato do resultado obtido não mais ser transmitido como imagens estáticas, mas sim como um modelo 3D. Esse modelo pode então ser renderizado no próprio cliente que ganha poder de navegação no modelo gerado. Esse tipo de esquema para visualização distribuída torna-se possível com a utilização de protocolo do tipo VRML, que oferece ferramentas para que o usuário renderize o modelo como desejar, além possibilitar a navegação em um espaço 3D. Assim, observando o modelo da figura 3.3, o editor é responsável pela produção do modelo VRML e o observador pode interagir com o mesmo através da utilização de um *browser* que suporte VRML.

Figura 3.3: Cenário 2 - Exibindo mundos 3D através da Web

Apesar de garantir um maior nível de interação com o usuário, a utilização desse modelo ainda está limitada à simples observação dos resultados na forma em que foram gerados pelo servidor. Assim, o usuário ainda não é capaz de manipular os parâmetros da visualização para que um modelo adequado ao que ele necessita seja produzido.

3.2.3 Cenário 3

O cenário 3 corresponde basicamente a uma aplicação cliente/servidor do tipo cliente *fat*. Aqui, o servidor fica responsável por disponibilizar os dados sob investigação ao cliente, que executa uma aplicação de visualização e, através desta, é capaz de manipular e explorar os dados de uma forma mais eficiente e interativa. Um esquema ilustrativo é apresentado na figura 3.4.

Figura 3.4: Cenário 3 - Exibindo visualizações através da Web

A principal vantagem desse tipo de abordagem é a alta interação atingida entre o usuário e a visualização gerada. Uma desvantagem, porém, é o fato de que usando esse tipo de cenário, o usuário precisa executar o programa de visualização em sua máquina, que pode, em algumas ocasiões não atender aos requisitos de memória e processamento.

3.2.4 Cenário 4

Os cenários anteriores atribuem a responsabilidade de criação das visualizações ao servidor (Cenários 1 e 2) e também ao cliente (Cenário 3). Porém, as desvantagens encontradas nos vários casos podem dificultar o desenvolvimento de técnicas de visualização distribuída. Com base nisso, estudos e debates discutem se o processamento computacional deve ser centralizado e os resultados transmitidos como um serviço de rede, ou se o poder de processamento deve ser distribuído entre os usuários finais. Isso significaria estudar um modelo que fosse intermediário entre os clientes *thin* e *fat*.

O cenário 4 representa a alternativa de se criar esse meio termo em visualização distribuída, possibilitando a criação de um ambiente onde servidor e cliente compartilhem a responsabilidade da criação da visualização. Esse cenário é ilustrado na figura 3.5. Aqui, o servidor é responsável por oferecer o poder de processamento e a estrutura de visualização básica apropriada para os dados relacionados, e o cliente tem um conjunto de opções (como por exemplo, um formulário HTML) para definição de alguns parâmetros da visualização.

Figura 3.5: Cenário 4 - Criando visualizações através da Web

Nesse esquema, o *pipeline* é executado em um servidor, mas o controle desse *pipeline* fica com o cliente, que tem, assim, total responsabilidade pelo *rendering* da visualização.

Componentes de *Web* e *Plug-Ins* vêm sendo usados para que se possa eliminar as limitações na WWW tanto de um cliente *thin* quanto *fat* através da criação de um esquema intermediário. Como exemplo disso, pode-se citar a linguagem Java, que permite a criação de “*applets*” e “*JavaBeans*”. Esses componentes, juntamente com algoritmos de redução de dados, podem ser indispensáveis para aumentar o grau de interação de dados entre o usuário e a aplicação cliente.

O modelo adotado para visualização na Web, pode então estar associado a diversos esquemas de distribuição de processamento e armazenamento, tanto no cliente como no servidor.

A próxima seção apresenta algumas formas de se disponibilizar uma visualização na Web, e suas limitações.

3.3 Visualização na Web

O principal benefício introduzido pela WWW é a habilidade de troca de informações entre pessoas, em qualquer lugar do mundo, de forma mais rápida e eficiente. Assim, informações podem ser compartilhadas quase no mesmo instante em que são adquiridas. A interface gráfica dos *Web Browsers* permite que pessoas possam “navegar” com facilidade pela rede acessando informações ou mesmo interagindo com uma determinada aplicação. Essa interação é uma característica desejável em sistemas de visualização.

Esta seção tem como objetivo dar uma visão introdutória das tecnologias empregadas na *Web*, que tornam possível a visualização pela Internet.

3.3.1 Primórdios da Visualização na Internet

A WWW, cuja origem remonta de décadas anteriores aos anos 90, quando foram criadas a Internet e a ARPAnet, ganhou a partir na década de 90 uma grande importância na vida das pessoas. Um dos principais motivos dessa popularização foi o desenvolvimento de algumas ferramentas visuais padronizadas para troca de informação, entre as quais pode-se citar os *web-browsers* como *Mosaic*, *Netscape Navigator* e *Microsoft Internet Explorer*.

O primeiro tipo de conteúdo a ganhar aceitação na *Web* foi a linguagem HTML. A linguagem HTML (*Hypertext Markup Language*) fornece uma maneira de formatar textos e imagens em um documento que pode ser compartilhado na *Web*, permitindo também incluir *links* ativos que levam o leitor (observador) a outros documentos. No caso da visualização de dados, o uso de documentos HTML com imagens ajuda a solucionar problemas de compartilhamento de resultados, mas ainda limita o usuário a observar imagens estáticas [1].

A limitação ao uso na *Web* de imagens estáticas foi resolvida com o advento de *Web Browsers* capazes de aceitar outros tipos de conteúdo, além de textos, imagens e *links*. Essas novas características incluíam suporte a formatos de animação como MPEG, AVI e QuickTime. Com esses recursos, um *link* em um documento HTML pode carregar um tipo de animação, inicializada de acordo com o interesse do usuário que a estará observando.

O próximo passo era o de possibilitar ao usuário controle sobre a geração da sequência de animações no servidor. Para facilitar essa tarefa, um mecanismo de envio de informações do cliente ao servidor foi introduzido. O CGI (*Common Gateway Interface*) juntamente com o formulário HTML, coleta informações do cliente, passa essas informações ao servidor, executa um *script* CGI-BIN e então envia os resultados ao cliente.

Como exemplo de utilização dessas tecnologias pode-se citar a geração de uma animação MPEG, que pode ser ligada a documentos HTML e é visualizada pelos usuários. Essa animação pode corresponder, por exemplo, à extração de isosuperfícies em um conjunto de dados volumétricos. Maiores detalhes podem ser encontrados em [1] e [40].

O uso dessas tecnologias para visualização de dados compromete, principalmente, o grau de interação do usuário com suas visualizações. Assim, o tempo de espera entre uma alteração do usuário na visualização e a visão dos resultados pode ser bastante considerável, dependendo do tamanho da animação e da velocidade de transmissão de dados na rede.

Algumas soluções mais atuais para a visualização na WWW são apresentadas nas próximas seções.

3.3.2 VRML

VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) é um padrão para descrição e interação de objetos 3D na Internet. VRML é, de uma maneira mais simples, uma coleção de objetos arranjados em uma ordem particular. Um código fonte VRML é um arquivo em ASCII que em geral tem a extensão .wrl, e esse pode ser editado em qualquer editor de texto [44]. Para visualizar um programa VRML é necessário um “*Browser VRML*”, ou seja, um programa que interprete o arquivo .wrl. Existem vários browsers na rede disponíveis para este fim.

A idéia básica por trás de VRML foi criar um padrão de definição para transmissão de conteúdo 3D na Web. O conteúdo de um documento VRML é descarregado do servidor, e a interação com o usuário pode ser feita no lado do cliente. Com isso, tanto o problema de carga excessiva no servidor, quanto o alto tempo de interação associado à abordagem anterior de gerar animações MPEG no servidor podem ser amenizados. Muitos sistemas de visualização, incluindo o VTK - *Visualization Toolkit* [1], permitem a exportação de cenas para arquivos VRML.

3.3.3 Visualização com Java

As ferramentas discutidas até agora ilustram maneiras de se gerar visualizações baseadas na Web, tanto na forma de apresentação de imagens e animações pré-construídas através de páginas HTML como na criação de mundos interativos em VRML. Cada estratégia tem seus benefícios, porém falham no que diz respeito à flexibilidade dos sistemas desenvolvidos para executar tais tipos de visualização, e é aí que se destaca a linguagem Java. Essa linguagem foi projetada para trabalhar em uma ampla variedade de *hardware* sem a necessidade de recompilação de código e com alta confiabilidade, o que garante flexibilidade. Essas qualidades são extremamente valiosas para programação na Web, onde programas devem executar em diferentes tipos de máquina sem falhas [1]. Um material completo sobre Java (tutoriais, APIs, compiladores, artigos) pode ser encontrado em [42].

Um dos tipos de programas Java, os *applets*, possuem a capacidade de executar a partir de *browsers*. Isso significa que se pode criar um *applet* Java e inseri-la em uma página HTML, de forma que qualquer pessoa (ou grupo seletivo, dependendo do caso) possa acessar o programa. Os *applets* suportam as APIs de interface gráfica do Java (janelas,

botões, menus), que incluem diversas primitivas gráficas 2D. Dessa forma, a construção de programa de visualização 2D na *Web* torna-se uma tarefa mais simples. Vale lembrar que isso pode ser aliado à capacidade do HTML de apresentar vídeos e imagens.

Embora Java seja uma linguagem interpretada e portátil, seus projetistas perceberam a importância de ter um mecanismo para que desenvolvedores fizessem chamadas à rotinas escritas em outra linguagem de programação. Essa interface é chamada JNI (Java Native Interface), e permite o acesso a métodos nativos (escritos em C ou C++, por exemplo). A utilização da JNI permite que sistemas de visualização, como o VTK, possam ser utilizados com Java (e, naturalmente, com *applets*). Essa abordagem supre as deficiências da programação puramente Java para visualização que não provê primitivas e métodos para exploração de *hardware* gráfico 3D. A desvantagem é que JNI sacrifica a portabilidade dos programas Java. Como chamadas à métodos nativos são realizadas, e esses métodos estão ligados a um sistema operacional em particular, a característica multiplataforma deixa de existir. Mais detalhes podem ser encontrados em [1][43].

O trabalho desenvolvido por Alves [40] é um exemplo de como se pode utilizar a linguagem Java no desenvolvimento de processos de visualização na *Internet*. Nesse trabalho, é apresentada uma implementação que apóia a visualização interativa de dados na *Internet* através da criação de *applets* Java.

3.3.4 Java3D

O uso de código nativo (como por exemplo, uma implementação do VTK) em um ambiente Java fornece um mecanismo para explorar a aceleração oferecida pelo *hardware* gráfico. Esse também é o objetivo do Java 3D, que tenta produzir tal suporte como parte da API padrão de Java.

A API Java 3D ainda não está consolidada, mas grande parte de sua estrutura básica já foi finalizada [1] [42]. Java 3D oferece tanto *rendering* baseado no grafo de cena, de forma similar a VRML, quanto um modo de *rendering* imediato de alto nível. O suporte ao modo de *rendering* imediato não é tão completo quanto em bibliotecas como a OpenGL, mas oferece um bom subconjunto dessa funcionalidade. Uma vantagem significativa de usar Java 3D ao invés de JNI é que as *applets* de visualização podem ser escritas puramente em Java, sem necessidade de código nativo.

3.3.5 Novas Tendências

Apesar da existência de novos tipos de dados e tecnologias, a maioria dos desenvolvedores de aplicações em visualização remota ainda faz uso de formatos padrões como HTML, GIF e VRML [35]. A principal razão disso é a garantia de que um grande número de pessoas seja capaz de acessar essas informações e dados. O problema principal de se trabalhar com essas tecnologias é que não se pode, através delas, conseguir a renderização de visualizações em tempo-real devido principalmente a baixas velocidades de transmissão na rede e possíveis sobrecargas no servidor.

Uma maneira de interação em tempo-real com os dados é através do uso de ferramentas que dispensem o uso de mapeamentos para documentos HTML e VRML. A idéia principal dessas ferramentas é a de mover parte do processo de *rendering* dos dados do servidor para o cliente [35]. Algumas dessas ferramentas são os “*Visualization Plug-Ins*”, Java *applets* e os controladores ActiveX.

Módulos *Plug-Ins* são programas escritos especificamente para rodar em um *browser* particular. *Plug-Ins* de visualização podem ser usados para permitir que o usuário (cliente) leia uma linguagem de *script* que controla o tipo, os parâmetros e os dados da visualização. O *web-browser* sabe da existência do Plug-In de visualização e o executa assim que termina de transferir os dados.

Controladores ActiveX são componentes (ou objetos) que podem ser inseridos em uma página *Web* ou em qualquer aplicação capaz de armazenar controladores ActiveX com o objetivo de reutilizar a funcionalidade de pacotes que já foram programados. Por exemplo, utilizando controladores ActiveX, programadores podem incrementar páginas da *Web* e aplicações Office 97 com avançadas ferramentas de visualização 3D.

Essas tecnologias vêm sendo empregadas em conjunto com ferramentas de comunicação distribuída. Um resumo desse tema é apresentado a seguir.

3.4 Recursos de Distribuição na Área de Visualização

A utilização de objetos distribuídos tem como principal objetivo estender a funcionalidade de sistemas de programação orientada a objetos. Através da criação de componentes em ambientes de rede distribuídos, usuários podem realizar a comunicação de ou entre processos localizados numa mesma máquina ou em máquinas remotas. Assim, é possível a criação de sistemas e bases de dados que funcionem, interajam entre si e compartilhem os recursos de uma rede de computadores.

Objetos distribuídos podem ser armazenados em diferentes computadores por toda a

rede, “trabalhando” dentro de seus próprios espaços de endereçamento e isolados de uma aplicação específica. Isso permite que diversas operações possam acessar e fazer uso das aplicações implementadas nesses objetos de uma forma transparente ao usuário. Assim, usuários de aplicações distribuídas podem acessar esses componentes sem a necessidade de saber como eles foram implementados ou onde estão armazenados.

Os três mais populares paradigmas de objetos distribuídos são o DCOM, da Microsoft, o CORBA, da OMG e o Java/RMI, da Sun.

Essa seção apresenta um estudo sobre cada uma dessas ferramentas. Informações adicionais podem ser encontradas nos trabalhos [45][46].

3.4.1 COM/DCOM

O COM (*Component Object Model*) e seu sucessor DCOM (*Distributed COM*), desenvolvidos pela Microsoft, são metodologias para criação de componentes de *software*. Através do uso de COM, desenvolvedores podem criar pacotes de *software* que podem ser utilizados por seus clientes sem a necessidade de um grande conhecimento sobre o componente.

O DCOM, freqüentemente é chamado de “COM distribuído”, suporta objetos remotos executando em um protocolo de comunicação chamado de Object Remote Procedure Call (ORPC). A camada ORCP é construída acima da comunicação RPC e interage com os serviços *run-time* dos objetos COM.

Um servidor DCOM é um corpo de código capaz de servir diferentes tipos de objetos. Cada objeto servidor DCOM pode suportar múltiplas interfaces, cada uma representando um diferente comportamento do objeto. Um cliente DCOM realiza chamadas à funções, adquirindo um ponteiro para as interfaces do objeto servidor. Assim, o objeto cliente inicia uma chamada aos métodos do objeto servidor como se o objeto servidor residisse no seu espaço de endereçamento. O fato de que a especificação COM está no nível binário, permite que componentes servidores DCOM possam ser escritos em diversas linguagens como C++, Java, Delphi, Visual Basic e até mesmo COBOL.

Se uma plataforma suporta serviços COM, DCOM poderá ser usado também. O DCOM é neste momento bastante utilizado sobre plataforma Windows, mas também há opções para UNIX, LINUX e plataformas *mainframes*.

3.4.2 JAVA/RMI

Remote Method Invocation RMI permite que programadores Java acessem métodos de objetos e então executem esses métodos em máquinas virtuais Java (JVM) localizadas

remotamente.

Quando trabalhando com serviços remotos, clientes RMI podem acessar versões recentes de serviços Java assim que estes se tornarem disponíveis (não há necessidade de distribuição de código a todos os clientes que podem querer se conectar ao objeto). O código de um objeto pode ser acessado a partir de um sistema de arquivos local, remoto, ou mesmo através de servidores de *Web*, o que torna sua distribuição bastante simples [45]. RMI também possui suporte a um registro que permite que usuários façam consultas em busca de um servidor específico.

O diagrama da figura 3.6 mostra um esquema de comunicação entre os vários componentes de um sistema RMI. Clientes que sabem da existência de um serviço podem descobrir sua localização através de um registro e então acessá-lo. Se uma nova classe for necessária, ela pode ser “baixada” de um servidor *Web*.

Figura 3.6: Comunicação entre objetos RMI - Adaptada de [45]

Devido à sua flexibilidade, o RMI tem se tornado uma ferramenta muito importante para desenvolvedores Java que desejam implementar sistemas distribuídos. Entretanto, a criação de uma interface entre RMI e programas escritos em outras linguagens como C/C++ ou Fortran pode ser difícil.

3.4.3 CORBA

O CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*) é uma tecnologia para o desenvolvimento de sistemas distribuídos que conta com um protocolo de comunicação chamado de *Internet Inter-Obj Protocol* (IIOP) para objetos remotos.

Todas as funções dentro da arquitetura CORBA dependem de objeto denominado *Object Request Broker* (ORB). O ORB age como um canal de comunicação central no qual cada objeto CORBA interage transparentemente com outro objeto CORBA localizado tanto localmente quanto remotamente. Cada objeto servidor tem uma interface e revela o conjunto de métodos que ela implementa. Para requisitar um serviço, um cliente CORBA adquire uma referência a um objeto servidor CORBA e então pode realizar as chamadas

dos métodos na referência do objeto de maneira transparente, ou seja, como se o objeto servidor CORBA residisse no espaço de endereço do cliente.

O ORB é o responsável por encontrar uma implementação do objeto CORBA, preparando-o para receber requisições do cliente. Um objeto CORBA interage com o ORB tanto pela interface ORB quanto pelo *Object Adapter* (*Basic Object Adapter* - "BOA" ou *Portable Object Adapter* - "POA").

O fato de não ser ligado a nenhuma plataforma nem linguagem específica, permite que o CORBA seja utilizado em várias plataformas que vão desde *mainframes* UNIX a máquinas Windows.

A figura 3.7 mostra um esquema simplificado de comunicação entre objetos CORBA.

Figura 3.7: Comunicação entre objetos CORBA - Adaptada de [45]

No contexto deste trabalho foi decidido utilizar a especificação CORBA, por fornecer uma melhor adaptação às características do DSVol e do projeto *PowerVis* no qual ele se insere. Uma dessas características é o acesso à módulos em C++ a partir de código Java. Outro fator determinante para a escolha do CORBA foi sua característica multi-plataforma.

A próxima seção é dedicada à apresentação de trabalhos já realizados nas áreas de visualização distribuída e também na *Web*.

3.5 Sistemas de Visualização Distribuída e na Internet

O recente crescimento da *Web* e necessidades de idéias e soluções distribuídas para a área de visualização incentivaram muito os estudos nessas áreas nos últimos anos. A seguir, são apresentados alguns trabalhos que estão sendo desenvolvidos utilizando essas abordagens.

Um trabalho muito importante para o desenvolvimento do presente projeto foi o realizado por Ahrens [37]. Esse trabalho utiliza a visualização distribuída e busca expandir

a biblioteca VTK, utilizada neste trabalho de mestrado, para permitir processamento paralelo e distribuído, com os seguintes objetivos:

Escalabilidade: Habilidade de utilizar um número crescente de recursos computacionais para um processamento mais eficiente de grandes conjuntos de dados.

Portabilidade: Flexibilidade para a execução dos processos na plataforma mais acessível.

Funcionalidade: Suporte à maioria das funções da biblioteca básica do VTK, oferecendo versões paralelas dos algoritmos disponíveis.

Abstração de Complexidade: Encapsulamento dos detalhes de programação paralela e distribuição tornando a programação mais transparente e de alto nível.

Abstrações de processos e formas de comunicação foram adicionadas para permitir o paralelismo de tarefas, processos e dados. Na distribuição dos dados residentes em diferentes processos (ou processadores), foi utilizado um esquema de codificação para os objetos do VTK. Dessa forma, os objetos a serem enviados são codificados em *strings* e enviados a outros processos que então decodificam essas *strings* novamente em objetos do VTK. Essa idéia da “troca” de objetos do VTK entre processos através da codificação *strings* serviu de base para o desenvolvimento dos módulos e implementações distribuídas do presente trabalho.

Simulações para treinamento têm sido desenvolvidas em diferentes áreas cirúrgicas, como, por exemplo, as áreas de cirurgia endo-vascular e dos olhos, entre outras. Brodlie, El-Khalili e Li desenvolveram duas aplicações em simulação cirúrgica baseadas na Web [38]. Essas aplicações utilizam Java e VRML e concentram-se nas áreas da neurocirurgia e cirurgia vascular. Em ambos os simuladores, a visualização na Web é feita utilizando EAI (*External Authoring interface*). A seguir são apresentados detalhes dos dois simuladores desenvolvidos.

A neurocirurgia é uma área que requer operações bastante complexas [38]. Observando isso, foi desenvolvido um simulador para o tratamento da dor facial incurável. Um tratamento aceitável é a destruição parcial da parte sensorial que provoca a dor facial, através de um aparelho cirurgicamente inserido na face do paciente. A aplicação desenvolvida permite o treinamento da marcação de pontos na pele do paciente (procedimento realizado para a determinação do ponto de inserção do aparelho), além da inserção da ferramenta cirúrgica e seu manuseio através de um furo no crânio. O simulador realiza combinações de três “mundos” VRML. Um “mundo” age como um painel de controle,

manipulando a simulação de operações realizadas pelo cirurgião. Os outros dois “mundos” VRML mostram visões do paciente: uma visão externa da face do paciente, e uma visão interna que mostra a posição da ferramenta cirúrgica. A interação é feita através do *mouse*, que simula os movimentos do instrumento cirúrgico. Nesse caso, a detecção de colisões é muito importante e é realizada através da transmissão de informações da visão interna aos outros mundos VRML.

O outro simulador citado nesse trabalho [38] é o utilizado em cirurgias vasculares. Esse simulador foi desenvolvido para o tratamento de aneurisma da aorta abdominal, caso que requer um treinamento de aproximadamente 10 anos. Esse tratamento envolve a inserção de um cateter na artéria através de uma incisão, que é então manipulado através da artéria até que encontre a aorta. Esse simulador foi considerado mais complexo que o anterior pela necessidade de modelagem da deformação do cateter em uma colisão com as paredes da artéria. Novamente, foram utilizados “mundos” VRML que contêm modelos da aorta e dos instrumentos cirúrgicos. Dessa forma, o primeiro “mundo” apresenta uma visão geral da artéria, o segundo “mundo” simula uma visão interna do cateter, um terceiro simula os movimentos que podem ser realizados pelo cateter e o último mostra fatias bidimensionais da aorta, que podem ser selecionadas pelo usuário. Para esse simulador, a interação também é feita através do *mouse*, que simula os movimentos do cateter.

O trabalho desenvolvido no ICMC por Alves [40] citado na seção 3.3 também enfoca a visualização interativa na *Web*. A funcionalidade desse ambiente para visualização na WWW inclui um módulo para extração de superfícies, um módulo para a execução de *rendering* volumétrico direto e um módulo para visualização de campos vetoriais.

A utilização de visualização na *Web* para aprendizagem foi abordada por Brodlie, LoveGrove e Wood [39] em um trabalho que simulou o ensino do sistema de visualização IRIS Explorer para alunos de mestrado da University of Leeds, Inglaterra, através de *applets* Java. O trabalho foi desenvolvido para ser utilizado no trabalho prático do curso de “Visão, Visualização e Ambientes Virtuais” da School of Computer Studies da University of Leeds. O motivo disso foi que essa disciplina era oferecida a alunos de mestrado de diferentes departamentos que, com certeza, estudavam em diferentes horários e locais. Como um primeiro passo, era fornecido aos estudantes um tutorial *online* que permitia o estudo a qualquer tempo ou lugar. Quando surgiam dúvidas, os alunos passavam a utilizar o aprendizado colaborativo, onde professores e alunos podiam compartilhar dados, controles, módulos e mapas. O módulo de aprendizado colaborativo utilizado nesse trabalho funciona da seguinte forma: o estudante primeiramente entra com os detalhes da visualização em um formulário apresentado via *Web Browser*; os dados desse formulário

são então passados a um servidor *Web* que executa um *script* CGI e passa os dados do formulário a um servidor de visualização; esse servidor, por sua vez, cria um mapa apropriado do IRIS Explorer para o problema. testes realizados com alunos selecionados indicaram um aprendizado colaborativo bem sucedido.

Este capítulo apresentou alguns conceitos e ferramentas fundamentais para o entendimento e desenvolvimento de aplicações e, mais especificamente, de sistemas de visualização distribuídos e na *internet*.

Os conceitos apresentados nesse capítulo foram utilizados na seleção e implementação de uma arquitetura remota e também distribuída para o SVol.

O próximo capítulo apresenta a implementação do sistema DSVol, criado como uma extensão do sistema SVol [9]. Esse sistema utiliza os conceitos e estudos apresentados neste trabalho na criação de um ambiente que possibilite, principalmente, a o uso do som como apoio a tarefas de visualização de dados em um sistema acessível pela *internet* que inclui uma versão inicial de arquitetura distribuída para sonificação e visualização.

Capítulo 4

DSVol - Implementação

A etapa da implementação do *software* DSVol põe em prática os conceitos de sonificação, visualização e distribuição apresentados nesta dissertação. O objetivo principal desse sistema é o de disponibilizar ferramentas sonoras que auxiliem o entendimento e investigação de dados apresentados em uma forma multi-modal (gráficos e som simultaneamente). Além disso, outras características importantes ao sistema são: o acesso remoto, que possibilita que pessoas de diversas localidades tenham acesso às funções implementadas, e também a aplicação de conceitos de processamento distribuído a algumas partes do sistema, como por exemplo, o módulo de geração de sons e uma parte do módulo de geração de imagens.

O DSVol pode ser dividido, em linhas gerais, em duas grandes partes: a sonificação e a visualização. A visualização faz uso da biblioteca VTK [1] e a sonificação faz uso da SoundTools, uma biblioteca de geração de sons implementada também em projeto desenvolvido no ICMC-USP. A biblioteca VTK foi apresentada no capítulo 1 e a SoundTools será esclarecida no decorrer deste capítulo.

No DSVol, existem dois tipos principais de sonificação: aquelas associadas unicamente a mapeamentos gráficos, e aquelas ligadas à interação do usuário com o sistema (que podem estar associadas aos dados, operações ou mesmo gráficos). O primeiro tipo, chamado de sonificação passiva, é “tocado” durante a formação e apresentação dos gráficos. Nesse tipo de sonificação, o usuário não interfere no processo sonoro, exceto para cancelá-lo. No segundo tipo de processo de sonificação, os sons são produzidos em resposta a ações do usuário, que examina e busca informações particulares no conjunto de dados ou nos gráficos.

No sistema foram implementados 3 processos de sonificação de dados que podem ser classificados da forma apresentada acima. Esses processos são apresentados neste capítulo,

juntamente com os demais módulos implementados no DSVol. A seção 4.1 apresenta uma introdução à implementação do sistema. O módulo do sistema que cuidam das tarefas de interface de entrada de parâmetros com o usuário (interface indireta) é apresentado na seção 4.2. As implementações dos métodos de visualização, sonificação e interação direta com o usuário são descritas nas seções 4.3, 4.4 e 4.5 respectivamente. A seção 4.6 apresenta uma implementação do sistema na *internet*. Um estudo da implementação distribuída de um módulo de sonificação e um de visualização são apresentados na seção 4.7.

4.1 Implementação do DSVol - Visão Geral

A etapa de implementação do sistema foi destinada à extensão da implementação anterior (SVol) desenvolvida em um projeto de mestrado [9] para um ambiente orientado a objetos organizado de forma a distinguir módulos de interface indireta, visualização, sonificação e interação do usuário com os sons e imagens gerados. Essa subdivisão do sistema possibilita uma melhor organização do código e, principalmente, futuras alterações e extensões de cada módulo de forma independente.

Além da extensão na funcionalidade das funções já existentes na primeira versão do SVol [9], novas técnicas de visualização e sonificação foram incluídas ao sistema. Neste trabalho também foram implementados novos métodos que facilitam a interação do usuário com o sistema e possibilitam uma exploração mais eficiente dos dados. Uma explicação mais detalhada sobre as técnicas e métodos incluídos em DSVol pode ser encontrada no decorrer do capítulo.

Uma outra característica importante introduzida no sistema foi a capacidade de gerar sons e imagens mapeando diferentes características dos dados. Isso permite que o som possa ser utilizado de forma ambígua, reforçando o tipo de informação apresentado visualmente, ou como uma opção para o mapeamento de informações adicionais na exploração dos dados. Detalhes sobre tal capacidade podem ser encontrados nas seções que descrevem os módulos de visualização e sonificação do sistema.

Na implementação do DSVol foi utilizado o *software* C++ Builder 4.0 da Borland, juntamente com as funções de visualização do VTK 3.1. O C++ Builder foi escolhido como o ambiente de programação por ser um compilador bastante conhecido e testado para a linguagem C++ e, principalmente, por facilitar a criação da interface do sistema com o usuário. Para a compilação do código em C++ de DSVol acessado a partir do módulo para *internet* foi utilizado o compilador MS Visual C++.

A versão atual do DSVol permite a visualização e sonificação de escalares armazenados em malhas regulares (*vtkStructuredPoints*). Os tipos de visualização implementados no sistema são: a extração de isosuperfícies e o *rendering* volumétrico direto. No módulo de sonificação, o sistema implementa três processos distintos, que são o *Display* Progressivo (sonificação passiva), a Sonda Sonora (sonificação “ativa”) e o *Display* de Malha (que mapeia diretamente os valores de dados para sons).

Dessa forma, o sistema o DSVol foi dividido em quatro módulos distintos: o módulo de interface indireta, o módulo de visualização, o módulo de sonificação e o módulo de interação com o usuário (interface direta). A organização geral do sistema é descrita a seguir.

O módulo de interface indireta é implementado na classe *TParam* que funciona como a função principal do sistema (*main*). Assim, este módulo é responsável pela passagem de parâmetros de entrada selecionados pelo usuário ao resto do sistema. Para realizar tal tarefa, a classe *TParam* possui objetos responsáveis pela comunicação com os módulos de visualização e sonificação do sistema.

O módulo de visualização do DSVol é composto de três classes. A primeira é a classe *SV_Visual* que funciona como uma classe pai para os métodos de visualização em DSVol. O método de extração de isosuperfícies é implementado na classe *SV_Visual_Iso* derivada a partir de *SV_Visual* e contém métodos e variáveis que geram a visualização das isosuperfícies definidas pelo usuário através da interface de entrada de dados do sistema. O segundo método de visualização em DSVol é o de *rendering* volumétrico direto. A implementação desse método é feita na classe *SV_Visual_DVR*, também derivada de *SV_Visual*.

O módulo de sonificação é composto por quatro classes. A primeira delas é a classe *SV_Sound* que serve como classe pai para as demais classes de sonificação. Essa classe possui objetos que se comunicam com a biblioteca de sons *SoundTools* responsáveis pela definição dos parâmetros de som (como o timbre) e também pela reprodução dos sons gerados através das sonificações. A classe *SV_Sound* possui um objeto da classe *SV_Visual*, responsável pela realização da comunicação entre os módulos de visualização e sonificação. Essa “ligação” entre módulos é feita através do método *Set_Sender (SV_Visual*)* que passa para a classe *SV_Sound* um ponteiro para o objeto de visualização que estará sendo executado. A segunda classe do módulo de sonificação é a classe *SV_Sound_Coord* que deriva de *SV_Sound* e implementa o método do *Display* Progressivo em DSVol. A classe responsável pela implementação da Sonda Sonora é a classe *SV_Sound_Probe* que também deriva de *SV_Sound*. A última classe do módulo de sons é a *SV_Sound_Grid* que

implementa o método do *Display* de Malha e assim como as demais classes de sonificação, deriva de *SV_Sound*.

Para o módulo de interação em DSVol foram implementadas quatro classes. A primeira delas é a classe *SV_Interaction*, que deriva da classe *vtkWin32RenderWindowInteraction* do VTK. Objetos da classe *SV_Interaction* são criados em módulos de visualização sem a presença de sonificação. As demais classes de interação do DSVol derivam de *SV_Interaction* e foram criadas para implementar a interação para cada um dos métodos de sonificação do sistema. Organizado dessa forma, o sistema implementa a interação para o *Display* Progressivo na classe *SV_Interaction.Coord*, para a Sonda Sonora em *SV_Interaction.Probe* e para o *Display* de Malha em *SV_Interaction.Grid*.

Assim, cada método de sonificação em DSVol possui uma classe que o implementa. Dentro de cada uma dessas classes, e de acordo com o método que a classe implementa, é criado um objeto responsável pela interação do usuário com a sonificação e passado para esse objeto um ponteiro para a classe de sonificação que o criou. Isso é feito através do método *Set_Sender ()* implementado em cada uma das classes de interação de DSVol.

Por trás de um método de sonificação tem-se sempre um método de visualização associado. Assim, na implementação de uma sonificação em DSVol deve-se primeiro criar um objeto de visualização e, a esse objeto, associar a sonificação através do método *Set_Sender ()* implementado nas classes dos módulos de sonificação.

Um esquema das classes do DSVol e da maneira com que elas estão organizadas no sistema é apresentado na figura 4.1.

As próximas seções são destinadas à descrição detalhada de cada um dos módulos do DSVol.

4.2 Módulo de Interface Indireta

Para o DSVol, foi implementada uma versão para a interface indireta em Java e uma versão “*stand-alone*” em C++ com as mesmas funcionalidades. As figuras apresentadas nessa seção mostram a interface Java do sistema.

No DSVol foi implementada uma interface unificada que fornece ao usuário opções para entrada e manipulação dos parâmetros de sonificação e visualização do sistema. Através dessa interface o usuário pode abrir o arquivo de dados em estudo, definir parâmetros de som e controlar a visualização e sonificação que deseja utilizar (ver figura 4.2). Os parâmetros de som que podem ser alterados em DSVol são o timbre e o intervalo de frequência dos sons tocados (figura 4.3). Na parte de sonificação pode-se escolher entre

Figura 4.1: Esquema Geral de Classes de DSVol

os 3 métodos de sonificação disponíveis (*Display* Progressivo, Sonda Sonora ou *Display* de Malha), cada um com parâmetros específicos. A parte de visualização possui os métodos de extração de superfícies e de *rendering* volumétrico direto. Através da interface, o usuário pode optar por gerar a visualização acompanhada ou não de sonificação.

Figura 4.2: Interface de Entrada de Parâmetros de DSVol

Figura 4.3: Interface de Definição de Parâmetros de Som

Como já foi dito, a interface indireta pode ser vista como o módulo principal do sistema. A classe a que implementa é a *TParam*. Nessa classe, estão incluídos objetos responsáveis pela execução de todos os tipos de visualização e sonificação em DSVol, além das funções e objetos que cuidam da “captura” e tratamento de eventos provenientes do usuário (como clique do *mouse* em um botão).

Na execução de um determinado processo de visualização e sonificação pelo usuário, são instanciados objetos em *TParam* responsáveis por implementar tal processo. Depois disso, os parâmetros de entrada escolhidos pelo usuário são “capturados” e “enviados” a esses objetos. A partir daí é realizada uma chamada aos objetos que implementam a visualização e sonificação para que essas sejam executadas. O pseudo-código incluído na tabela 4.1 demonstra como é realizada a chamada a uma visualização de isosuperfícies juntamente com sonificação através do *Display Progressivo*.

Começo do Código

```
// Execute Visualization
Iso_Module->Start (StructuredPoints, IsoSurfaces);
Iso_Module->SetSound ();
Iso_Module->Execute ();

//Execute Sonification
Sound_Coord->Set_Sender(Iso_Module);
Sound_Coord->Set_Parameters(Sonification,Axe);
Sound_Coord->Start_MIDI();
Sound_Coord->Set_Pitch(MinPitch, MaxPitch);
Sound_Coord->Set_Timbre(Timbre);
Sound_Coord->Start();
```

Fim do Código

Tabela 4.1: Pseudo-Código - Visualização com Sonificação em DSVol

Detalhes de como atuam no sistema e quais os parâmetros que podem ser definidos e manipulados podem ser encontrados nas seções 4.3 e 4.4.

4.3 Módulo de Visualização

Esse é o módulo responsável pela criação das visualizações no sistema. Nessa classe estão definidas variáveis e implementadas funções comuns a todas as classes e métodos de visualização no DSVol. A classe *SV_Visual* foi implementada como uma classe pai para as demais classes que implementam os métodos de visualização, e possui um objeto do tipo *SV_Interaction* (seção 4.5) que é responsável pela interação do usuário com a cena de visualização (com recursos como rotação e *zoom*). A definição completa da classe *SV_Visual* pode ser encontrada no arquivo *SV_Visual.Kernel.h* contido no apêndice A.

Cada método de visualização foi implementado como uma subclasse de *SV_Visual*. Organizado dessa forma, o sistema permite que novos métodos de visualização sejam

adicionados de forma mais simples, aumentando assim sua funcionalidade.

Atualmente, existem duas técnicas de visualização implementadas como classes do DSVol: uma para extração de superfícies de interesse e uma para *rendering* volumétrico direto.

4.3.1 Extração de Isosuperfícies

A classe `SV_Visual_Iso` implementa o método de extração de superfícies de interesse apresentado no capítulo 1. Nesse método, para cada valor de interesse definido pelo usuário é gerada uma isosuperfície que corresponde a esse valor dentro do conjunto de dados. A essa superfície é atribuída uma cor e opacidade. A extração das isosuperfícies em DSVol utiliza a classe `vtkContourFilter` do VTK. A forma através das quais as superfícies de interesse são definidas e os parâmetros que podem ser acessados pelo usuário na geração da visualização foram totalmente redefinidos e reimplementados em relação à versão anterior do sistema. Um dos motivos para isso foi a utilização da nova versão do VTK (3.1 em relação a 1.3 da versão anterior de DSVol). Outro motivo para isso foi a necessidade de adequar o sistema à especificação em módulos proposta para sua implementação. O pseudo-código da extração de isosuperfícies é fornecido na tabela 4.2.

Começo do Código

```
// Visualization Pipeline
RenWin->AddRenderer(Renderer);

ContourFilter->SetInput(StructuredPoints);
ContourFilter->SetValue(IsoSurface_Value);

Mapper->SetInput(ContourFilter->GetOutput());
Actor->SetMapper (PD_Mapper);
Renderer->AddActor(Actor);

RenWin->Render ();
```

Fim do Código

Tabela 4.2: Pseudo-Código - Isosuperfícies

A interface indireta para esse tipo de visualização permite que as isosuperfícies sejam definidas de duas formas distintas: uma através da especificação de um valor específico e outra através da especificação de um intervalo de valores. (figura 4.4). Na primeira, para cada valor de interesse deve ser especificada uma cor e opacidade. A segunda forma

permite a especificação de um intervalo de valores de interesse, onde o usuário especifica um valor inicial, um final, a quantidade de valores que deseja gerar nesse intervalo e a opacidade das isosuperfícies. Dentro de SV_Visual_Iso, a cor de cada isosuperfície definida como um intervalo de valores é mapeada em cores através de uma tabela de cores do VTK. O usuário também pode, através da interface de entrada de parâmetros para o método de isosuperfícies, definir a cor-de-fundo para a visualização.

Figura 4.4: Interface do Método Visualização de Isosuperfícies

Uma nova opção inserida em DSVol foi a capacidade do usuário salvar e carregar os parâmetros de visualização definidos (valores de interesse e cores RGBA), o que é extremamente importante e facilita bastante o processo de entrada de parâmetros.

Os principais métodos de SV_Visual_Iso são apresentados na tabela 4.3. Sua definição completa pode ser encontrada no arquivo SV_Visual_Iso.h, listado no apêndice A.

Método	Descrição
Start ()	Utilizado para passagem de parâmetros para a visualização de isosuperfícies
Execute ()	Método que executa o pipeline de visualização e renderiza a cena contendo as isosuperfícies definidas pelo usuário
Free ()	Método que libera a memória alocada pelo método Execute ()

Tabela 4.3: Principais Métodos de SV_Visual_Iso

Uma visualização de isosuperfícies gerada pelo DSVol pode ser observada na figura 4.5.

Figura 4.5: Visualização de Isosuperfícies

4.3.2 *Rendering* Volumétrico Direto

O método de *rendering* volumétrico direto (apresentado no capítulo 1) é implementado na classe SV_Visual_DVR e não estava presente na implementação anterior do sistema. Pelo fato de não criar estruturas geométricas intermediárias como na extração de superfícies, esse método permite ao usuário visualizar estruturas do volume de dados ausentes na extração de isosuperfícies. O método de *rendering* volumétrico direto adicionado foi o

de disparo de raios (*ray-casting*). Esse método consiste em traçar raios que cortem o volume de dados para cada pixel da tela, colhendo informações de cor e opacidade para a coloração desse *pixel*. A implementação deste método utilizou algumas funções do VTK e foi realizada como mostra o pseudo-código da tabela 4.4.

Começo do Código

```
// Visualization Pipeline
RenWin->AddRenderer(Renderer);

Color->AddRGBSegment ( Min_Interval, R, G, B, Max, R, G, B);
Opacity->AddSegment (Min_Interval, Opacity , Max_Interval, Opacity);

volumeProperty->SetColor (Color);
volumeProperty->SetScalarOpacity (Opacity);
volumeProperty->SetInterpolationTypeToLinear ();

volumeMapper->SetInput(StructuredPoints);

volume->SetMapper (volumeMapper);
volume->SetProperty (volumeProperty);
Renderer->AddVolume(volume);

RenWin->Render ();
```

Fim do Código

Tabela 4.4: Pseudo-Código - *Rendering* Volumétrico Direto

Uso da Placa VolumePro

Dentro da classe `SV_Visual_DVR` também foi implementado o *rendering* volumétrico direto utilizando o *hardware* da placa VolumePro (da RTVIZ - <http://www.rtviz.com>). Para utilizar os métodos do VTK que fazem acesso a essa placa, é necessário que o código seja compilado juntamente com a biblioteca “vli.lib” distribuída juntamente com a placa VolumePro. Outro arquivo necessário para a utilização da VolumePro é o arquivo “vli.dll” que deve estar presente e acessível em algum diretório do sistema operacional (como `c:\windows\system`). O acesso às funções implementadas na VolumePro é feito através de um mapeador do VTK denominado `vtkVolumeProMapper`. Uma das principais vantagens de se utilizar recursos de *hardware* como a VolumePro para realização do *rendering* volumétrico é o enorme ganho em velocidade de *rendering* e, conseqüentemen-

to, o ganho na velocidade de interação do usuário com a visualização e também com o processo de sonificação.

O módulo de interface indireta para o método de *ray-casting* permite que o usuário defina intervalos de valores dentro do conjunto de dados. Para cada intervalo, deve ser especificada uma cor RGB e uma opacidade (figura 4.6). O usuário também pode, através dessa interface, definir a cor-de-fundo para a visualização. Assim como no método de iso-superfícies, o usuário é capaz de salvar e carregar os parâmetros de visualização definidos (intervalos de interesse e cores RGBA). Uma outra característica incluída em DSVol é a capacidade do usuário definir parâmetros de iluminação da cena e de espaçamento entre os raios traçados (figura 4.7).

Figura 4.6: Interface de Visualização através do Método de *Rendering* Volumétrico Direto

Figura 4.7: Definição de Parâmetros para o *Rendering* Volumétrico Direto

Uma visualização gerada através desse método é apresentada na figura 4.8. Os principais métodos de SV_Visual_DVR são apresentados na tabela 4.5. Sua definição completa pode ser encontrada no arquivo SV_Visual_Kernel.h contido no apêndice A.

Figura 4.8: *Rendering* Volumétrico Direto

Método	Descrição
Start ()	Utilizado para passagem de parâmetros para a visualização através do <i>rendering</i> volumétrico direto
Scalar_Conversion ()	Método que converte os escalares armazenados no conjunto de dados do tipo float para o tipo unsigned short, para que possa ser realizada o DVR
Execute ()	Método que executa o pipeline de visualização e renderiza a cena através do DVR.
Free ()	Método que libera a memória alocada pelo método Execute ()

Tabela 4.5: Principais Métodos de SV_Visual_DVR

A seguir, são apresentadas as classes e funções de sonificação implementadas em DSVol.

4.4 Módulo de Sonificação

Assim como no módulo de visualização, a parte do sistema que cuida da sonificação possui uma classe chamada SV_Sound responsável por implementar métodos e variáveis comuns a todas as demais classes de sonificação de DSVol. Cada uma dessas classes é, por sua vez, responsável por implementar um dos métodos de sonificação utilizados no sistema.

A classe SV_Sound é a responsável por criar e manipular os objetos através dos quais serão reproduzidos os sons em DSVol. Para isso, a classe possui um objeto do tipo INITIALISATION_CALIBRATION. Através desse objeto a classe SV_Sound é capaz de acessar a biblioteca sonora (SoundTools) e reproduzir os sons gerados pelos métodos de sonificação. Detalhes sobre a biblioteca SoundTools são apresentados no decorrer deste capítulo.

Através de um objeto da classe SV_Visual contido em SV_Sound é realizada a comunicação entre os módulos de sonificação e de visualização. Na classe SV_Sound está implementado o método Set_Sender (SV_Visual*) responsável por atribuir ao objeto de visualização de SV_Sound o endereço do objeto visual criado. A definição completa dessa classe pode ser encontrada no arquivo SV_Sound_Kernel.h contido no apêndice A.

Cada um dos métodos de sonificação em DSVol é implementado em uma classe derivada de SV_Sound e possui um objeto responsável pela interação do usuário com a sonificação e visualização. Esse objeto é descrito na seção 4.5.

As próximas seções são destinadas a apresentar os vários elementos de sonificação descritos acima. Inicialmente, a biblioteca utilizada pelo sistema na construção dos sons

nota, e também “tocar” várias notas de várias formas. Além disso, também é possível realizar o controle de canais, timbre, volume e silêncio.

Maiores detalhes da reprodução de sons em DSVol podem ser encontrados em trabalhos anteriores desenvolvidos pelo grupo de pesquisa [9][8].

As próximas seções são destinadas à apresentação e descrição de cada um dos métodos de sonificação implementados em DSVol. No final da seção é apresentado um resumo das sonificações implementadas no sistema (tabela 4.9).

4.4.2 *Display Progressivo*

Nesse processo, a sonificação dos dados depende e é sincronizada com a formação dos gráficos na tela. A parte gráfica foi implementada de forma que o volume de dados seja apresentado por partes e renderizado em uma direção escolhida pelo usuário. Dessa forma, “fatias” do volume são apresentadas consecutivamente enquanto sonificações são calculadas e apresentadas. Esse tipo de sonificação permite que o usuário observe a cena conforme ela vá se formando sem que sua atenção seja desviada do processo gráfico, o que aumenta sua capacidade de interpretação dos dados.

A figura 4.9 ilustra o processo *Display Progressivo*. Ela mostra um conjunto de dados que representam valores de gases específicos medidos no Mar do Norte por um certo período de tempo. A coordenada X representa longitude, Y representa latitude e Z representa o tempo. Nessa figura, fatias dos dados são mostradas sucessivamente na direção X (ou seja, longitude).

(SoundTools) é apresentada.

4.4.1 Síntese de Som em DSVol

A construção dos sons que representam informações em DSVol é implementada por uma biblioteca que realiza a comunicação MIDI construindo pacotes de sons e comandos, e fornecendo o mapeamento de valores para parâmetros sonoros. Essa biblioteca é implementada por um conjunto de classes (Single_Stream, Multiple_Stream, Mapping, Kernel e Initialisation_Calibration), que são usadas por processos de DSVol para realizar as sonificações.

MIDI (*Musical Instrument Digital Interface*) é uma especificação criada com o objetivo de padronizar a forma de reprodução de sons entre diversos sistemas de síntese de sons. O uso de MIDI para controlar equipamentos de síntese sonora fornece um bom grau de generalização para os algoritmos de síntese com a garantia de uma boa qualidade de reprodução a um custo razoável [3].

Para realizar as construções de sons em DSVol, foram utilizadas as implementações das bibliotecas SoundTools e MIDIKernel implementadas em SSound [4]. Essas bibliotecas estão descritas nos próximos tópicos.

MIDIKernel

Essa biblioteca é a responsável pela construção de pacotes de mensagens MIDI e de parâmetros que sejam aceitos pelo módulo sonoro. A *MIDI Kernel* implementa funções que realizam a inicialização e finalização da comunicação com o dispositivo MIDI, a definição de um pacote com mensagens MIDI, a inclusão de mensagens em um pacote já inicializado, a definição de um canal inicial, e o envio de mensagens.

SoundTools

Um sistema sonoro foi desenvolvido para fornecer um número de objetos com operações sonoras básicas, além de estruturas sonoras para apoiar os processos de sonificação. Esse sistema gerencia a comunicação entre os processos de sonificação e a classe MIDI Kernel, além do timbre e do *status* dos componentes sonoros e das suas temporizações. Através da utilização desses objetos pode-se realizar várias funções em DSVol, entre elas, fazer o mapeamento de valores para frequências, calcular correspondência de acordes, gerar distribuição do canal estéreo, mapear valores numéricos para propriedades do som (como distorção de entonação), “tocar” uma nota por um curto período, iniciar ou finalizar uma

Figura 4.9: Sonificação de Coordenadas

No sistema DSVol, todas as sonificações passivas são implementadas através do *Display Progressivo*. Uma dessas sonificações é a sonificação de coordenada, onde uma das coordenadas dos pontos apresentados é mapeada para sons durante a apresentação das fatias do volume.

Atualmente, dois tipos de sonificação de coordenada estão implementadas em DSVol.

Uma delas sonifica valores máximo e mínimo de coordenadas para uma fatia do volume (cabendo ao usuário escolher qual a coordenada a ser sonificada; x , y ou z). O processo de sonificação consiste em, para cada fatia do volume de dados apresentada na coordenada escolhida pelo usuário, percorrer o plano do volume correspondente a esse valor calculando os valores máximo e mínimo desse plano.

Assim, conforme as fatias vão sendo apresentadas, valores máximo e mínimo da coordenada selecionada vão sendo mapeados em valores de frequência (quanto maior o valor,

maior a frequência). Com isso, o usuário pode ter noção, pelo som, dos intervalos de valores presentes nas “fatias” e de sua progressão [4].

A segunda forma de sonificação no processo de *Display Progressivo* é a sonificação da coordenada corrente (com um mapeamento para frequência), onde o som apenas marca o início de uma nova fatia do volume. Isso aumenta a noção de referência do usuário.

As funções do *Display Progressivo* estão implementadas na classe `SV_Sound_Coord` que é derivada da classe `SV_Sound`. A interação do usuário com a sonificação gerada por um objeto dessa classe é realizada através do objeto de interação da classe `SV_Interactor_Coord` incluído em `SV_Sound_Coord` (ver seção 4.5). Os principais métodos de `SV_Sound_Coord` são apresentados na tabela 4.6. A definição completa dessa classe pode ser encontrada no arquivo `SV_Sound_Coord.h` incluído no apêndice A.

Método	Descrição
<code>Start ()</code>	Utilizado para inicialização do objeto de sonificação, de interação e para a conexão entre os objetos de som e visual
<code>Sonify ()</code>	Método chamado a partir do objeto que realiza a interação do usuário com a sonificação, cuja função é a de realizar a chamada à sonificação escolhida pelo usuário
<code>Coord_Sonification ()</code>	Método que implementa a sonificação de coordenada corrente
<code>MinValue_Sonification ()</code>	Método que implementa a sonificação do valor mínimo de uma fatia do volume de dados
<code>MaxValue_Sonification ()</code>	Método que implementa a sonificação do valor máximo de uma fatia do volume de dados

Tabela 4.6: Principais Métodos de `SV_Sound_Coord`

Na apresentação do volume de dados em “fatias” para esse método de sonificação, foi utilizado o filtro *vtkStructuredPointsSub Volume* desenvolvido como uma derivação das classes de filtros do VTK em um projeto de iniciação científica no ICMC-USP. Esse filtro possibilita a criação de um subvolume que corresponde a uma parte do volume de dados original. O filtro *vtkStructuredPointsSub Volume* recebe como entrada uma estrutura de dados do tipo pontos estruturados (*vtkStructuredPoints*), que representa o volume total de dados. Para realizar a definição do subvolume é utilizado o método *SetExtent(xmin, xmax, ymin, ymax, zmin, zmax)*, que gera como saída um subvolume que mantém a organização original dos pontos estruturados.

A interface indireta, que define os parâmetros para o *Display Progressivo* é apresentada

na figura 4.10. Através dessa interface é possível que o usuário escolha qual o método de sonificação a ser utilizado e também a coordenada a ser sonificada. A definição do valor de incremento para a apresentação das “fatias” pode ser feito através da especificação de valores absolutos ou relativos, como mostra a interface apresentada na figura 4.11.

Figura 4.10: Interface do método de Sonificação de Coordenadas

Figura 4.11: Interface de definição de incremento para o *Display Progressivo*

A próxima seção descreve os processos de sonificação associados à Sonda Sonora.

4.4.3 Sonda Sonora

O segundo processo gráfico em DSVol é o da Sonda Sonora. Nesse processo, um bloco de tamanho variável é inserido no volume (figura 4.12) com o objetivo de colher informações e apresentá-las na forma de som.

Figura 4.12: Sonda Sonora

Durante esse processo, o usuário pode mover a sonda pelo volume, redimensioná-la e sonificar o conteúdo da sonda de acordo com o método de sonificação escolhido. Através dessa ferramenta o usuário pode investigar regiões particulares de interesse no volume através de valores que não são necessariamente visíveis. A nova versão do sistema DSVol permite também que a sonda seja utilizada como uma ferramenta poderosa na interação do usuário com os dados visualizados. Uma vez definida a sonda dentro do volume de dados, o usuário é capaz de recortar a porção de dados contida na sonda e visualizar ou mesmo salvar esse novo conjunto de dados como sendo o volume total de dados. Dessa forma, o usuário pode selecionar regiões de maior interesse ou mesmo descartar regiões de “ruído” dentro de seu volume de dados. O controle da interação do usuário com a sonda é feito através de um objeto da classe `SV_Interaction_Probe` (ver seção 4.5) incluído na classe `SV_Sound_Probe`, derivada de `SV_Sound`, que implementa as funções da Sonda Sonora.

Sonificações Associadas à Sonda Sonora

Três classes de sonificações estão disponíveis no contexto da Sonda Sonora. Duas delas utilizam, para calcular a presença de valores de interesse na sonda, o mesmo processo utilizado pelo algoritmo *Marching Cubes* apresentado no capítulo 1. Tal processo consiste em calcular a intersecção das isosuperfícies com cada unidade do volume de dados. Esse

cálculo é realizado através da avaliação do valor dos vértices para cada unidade do volume. Dessa forma, se um dado vértice possui valor maior que a o da isosuperfície investigada e um vértice adjacente possui valor menor, pode-se concluir que a isosuperfície corta a aresta que liga esses dois vértices. No caso de um vértice possuir valor igual ao da isosuperfície, pode-se concluir que esse é intersectado por ela.

Uma vez descoberta as arestas de uma unidade de volume cortadas pela isosuperfície é possível calcular o número de triângulos que a poligonalização dessa isosuperfície irá produzir. Esse número é utilizado nos dois processos dentro do conceito da Sonda citados para indicar ocupação de volumes por valores de interesse. Esses processos são descritos a seguir.

Densidade Local

A primeira função sonora implementada pela sonda sonora é a densidade local, isto é, a ocupação da sonda. O cálculo do conteúdo ocupado pela sonda em relação ao conteúdo máximo possível para ela representa a ocupação, e indica o quão “cheia” ou “vazia” está a sonda.

A cada movimento da sonda, sua densidade local é calculada, mapeada para frequência e sonificada. Frequências baixas (sons graves) representam alta ocupação da sonda enquanto altas frequências (sons agudos) representam baixa ocupação.

População

A segunda função sonora implementada é a população da sonda sonora, isto é, a relação entre o conteúdo da sonda e o volume total analisado. Para essa sonificação, a cada movimento da sonda o valor é calculado, mapeado para frequência, e em seguida sonificado. Frequências altas representam pouca quantidade de valores de interesse na sonda em relação ao volume total. Baixas frequências indicam grande quantidade de valores de interesse encontrados na sonda em relação ao volume total.

No caso da sonificação da população da sonda, o usuário consegue identificar, no volume total, os locais de maior ou menor concentração dos valores de interesse, e pode utilizar esse resultado para refinar sua análise do volume.

Quantidade de Valores de Interesse

Uma nova função sonora foi incluída na nova versão do DSVol e consiste em calcular e sonificar a quantidade de valores de interesse dentro da sonda. Para essa sonificação o

usuário define um conjunto de valores que deseja investigar. A quantidade desses valores dentro do volume limitado pela sonda é calculada e então mapeada para frequência como nos métodos anteriores.

O filtro *vtkStructuredPointsSubVolume* também é utilizado nesse processo de sonificação. Ele é o responsável por definir o subvolume representado pela sonda sonora, ou seja, a porção do volume de dados em análise através da sonda.

Dentro do processo de exploração através da Sonda Sonora, é possível que o usuário decida por realizar a sonificação com os mesmos valores de isosuperfícies (valor de interesse definidos para a visualização de isosuperfícies) ou com valores independentes definidos através da interface apresentada na figura 4.13 (*defined*) que realiza a entrada de parâmetros para a Sonda Sonora. Essa opção não existia na versão anterior do sistema e permite que o usuário utilize o som para mapear características dos dados diferentes das mapeadas por imagens. Quando estiver utilizando a visualização por DVR, o usuário deve sempre selecionar os valores sonificados pela Sonda Sonora uma vez que, nesse método não se definem valores de isosuperfícies a serem visualizados.

Figura 4.13: Interface do método de Sonda Sonora

Uma outra opção incluída na nova versão do sistema foi a possibilidade de definição do tamanho inicial da sonda sonora através da especificação de valores absolutos ou relativos em relação ao volume total de dados, como mostra a interface na figura 4.14.

Figura 4.14: Interface de definição do tamanho inicial da Sonda Sonora

Os principais métodos de `SV_Sound_Probe` são apresentadas na tabela 4.7. A definição completa dessa classe pode ser encontrada no arquivo `SV_Sound_Probe.h` incluído no apêndice A.

Método	Descrição
<code>Start ()</code>	Utilizado para inicialização do objeto de sonificação, de interação e para a conexão entre os objetos de som e visual
<code>Sonify ()</code>	Método chamado a partir do objeto que realiza a interação do usuário com a sonificação, cuja função é a de realizar a chamada a sonificação escolhida pelo usuário
<code>New_Window ()</code>	Método que cria uma nova janela de visualização e sonificação representando o volume da sonda
<code>PopDens_Sonification ()</code>	Método que implementa as sonificações de População e Densidade da Sonda
<code>Values_Sonification ()</code>	Método que implementa a sonificação de valores da Sonda
<code>Conta_Triangulos ()</code>	Método utilizado para contar o número de triângulos dentro da Sonda Sonora, pela estratégia <i>Marching Cubes</i>

Tabela 4.7: Principais Métodos de `SV_Sound_Probe`

A próxima seção apresenta o processo de *Display* de Malha.

4.4.4 *Display* de Malha

Esse processo de sonificação leva em consideração o fato de que alguns dados e valores importantes podem ser perdidos durante o mapeamento gráfico. Um auxílio para a detecção desses valores é a investigação direta da malha de dados, quando a malha é relativamente pequena. Valores escalares armazenados na malha de dados são mapeados em diversas formas de sons, permitindo ao usuário identificar valores, padrões e estruturas nos dados. A classe responsável por implementar os métodos do *Display* de Malha é a `SV_Sound_Grid`, derivada da classe `SV_Sound`.

Nesse processo, a malha, assim como os gráficos, são projetados na em uma janela de visualização. Uma segunda janela é criada nesse método, contendo uma visualização 3D de isosuperfícies do conjunto de dados.

Conforme o usuário move o *mouse* sobre a janela da malha, um som representando o valor armazenado na posição da malha é tocado. A terceira dimensão da malha é mapeada entre as lixas, como é mostrado na figura 4.15. Nessa sonificação, valores altos

são mapeados para frequências altas e valores baixos para baixas frequências, da mesma forma que no *Display* Progressivo.

Figura 4.15: Orientação no *Display* de Malha - Adaptada de [9]

Nessa sonificação o usuário pode conseguir perceber padrões, como espelhamento e concentração de valores de interesse. Através da sonificação de malha, o usuário pode definir os valores que deseja investigar dentro do volume de dados.

Assim como no processo da Sonda Sonora, é possível que o usuário decida por realizar a sonificação com os mesmos valores de isosuperfícies (valor de interesse) definidos para a visualização, ou como valores independentes definidos através da interface de entrada de parâmetros para esse método.

A classe `SV_Sound_Grid` realiza a interação com o usuário através de um objeto de interação. Nessa classe, a variável que controla essa interação é um objeto da classe `SV_Interaction_Grid`.

Na implementação desse processo foi utilizado o filtro `vtkProjectionFilter` desenvolvido no ICMC-USP. Esse filtro realiza a projeção da cena visualizada em um determinado plano (x , y ou z) e foi utilizado na criação na representação 2D para navegação no volume de dados.

Os principais métodos de `SV_Sound_Probe` são apresentados na tabela 4.8. A definição completa dessa classe pode ser encontrada no arquivo `SV_Sound_Grid.h` incluído no apêndice A.

Método	Descrição
Start ()	Utilizado para inicialização do objeto de sonificação, de interação e para a conexão entre os objetos de som e visual
Sonify ()	Método chamado a partir do objeto que realiza a interação do usuário com a sonificação, cuja função é a de realizar a chamada a sonificação escolhida pelo usuário
Render_Projection ()	Método que cria a janela de visualização 2D que representa a malha de dados
Grid_Sonification ()	Método que implementa a sonificação de um determinado valor dentro do volume de dados
Inicializa ()	Método que realiza os cálculos para posicionamento e mapeamento da malha de dados apresentada em 2D para os valores reais em 3D

Tabela 4.8: Principais Métodos de SV_Sound_Grid

A figura 4.16 apresenta um exemplo de sonificação utilizando o método da Sonificação de Malha. A interface de entrada de parâmetros para esse método é apresentada na figura 4.17.

Figura 4.16: Sonificação de Malha

Figura 4.17: Interface do método de Sonificação de Malha

A tabela 4.9 apresenta um resumo das sonificações implementadas em DSVol, mostrando, além das sonificações, os processos gráficos aos quais elas estão associadas e sua utilidade. A tabela 4.10 mostra os mapeamentos sonoros para frequência implementados.

Sonificações	Processo Gráfico	Utilidade
1. Sonificação de Valores Máximo e Mínimo	<i>Display</i> Progressivo	Percepção de intervalos entre valores máximos e mínimos de uma coordenada.
2. Sonificação da Coordenada Corrente	<i>Display</i> Progressivo	Informação de progressão de uma variável, ou seja, no momento em que uma fatia é desenhada.
3. Densidade Local	Sonda Sonora	Distinção de quão “cheia” ou “vazia” está a sonda.
4. População da Sonda	Sonda Sonora	Percepção da proporção de valores de interesse em uma região do volume.
5. Sonificação de Valores	Sonda Sonora	Percepção direta da quantidade de valores de interesse contidos na sonda.
6. Sonificação dos valores da Malha	<i>Display</i> da Malha	Percepção direta dos valores do volume, e seus relacionamentos.

Tabela 4.9: Tabela DSVol

Sonificações		Freq.	Justificativa - Percepção	Sup.	DVR
1. Sonificação de Valores Máximo e Mínimo		alta	Sons agudos têm associação direta com valor absoluto alto	X	X
		baixa	Sons graves têm associação direta com valor absoluto baixo		
2. Sonificação de Coordenada Corrente		alta	Sons agudos têm associação direta com valor absoluto alto	X	X
		baixa	Sons graves têm associação direta com valor absoluto baixo		
3. Densidade Local		alta	Sons agudos dão a idéia de baixa ocupação	X	X
		baixa	Sons graves dão idéia de ocupação alta		
4. População da Sonda		alta	Sons agudos dão a idéia de baixa ocupação	X	X
		baixa	Sons graves dão idéia de ocupação alta		
5. Sonificação de valores		alta	Sons agudos dão a idéia de baixa ocupação	X	X
		baixa	Sons graves dão idéia de ocupação alta		
6. Sonificação de valores da Malha		alta	Sons agudos têm associação direta com valor absoluto alto	X	
		baixa	Sons graves têm associação direta com valor absoluto baixo		

Tabela 4.10: Percepção de mapeamentos para frequência em DSVol

A próxima seção é destinada à apresentação do módulo de interação do usuário com as visualizações e sonificações de DSVol.

4.5 Módulo de Interação

O módulo de interação do usuário com as visualizações e sonificações utiliza as funções de interação do VTK, possibilitando uma interação através do teclado e do *mouse*. Para

cada um dos métodos de sonificação do sistema foram implementadas funções de interação que permitem ao usuário acessar e interagir com as sonificações.

A interação no DSVol é realizada através da classe `SV_Interaction` derivada da classe `vtkWin32RenderWindowInteraction` do VTK. Para realizar esta interação, a classe `SV_Interaction` reimplementa algumas funções definidas em `vtkWin32RenderWindowInteraction`. Dentre essas funções, as mais importantes para a interação em DSVol são as funções `OnChar()` que é responsável por tratar eventos do teclado e `OnLButtonDown()` responsável por tratar o clique do botão esquerdo *mouse*. Uma descrição completa das demais funções e variáveis de `SV_Interaction` pode ser encontrada no apêndice A, arquivo `SV_Interaction_Kernel.h`.

A interação do sistema com as diversas sonificações foi implementada em classes que derivam de `SV_Interaction`. Essas classes são: `SV_Interaction_Coord`, `SV_Interaction_Probe` e `SV_Interaction_Grid`. A classe `SV_Interaction` é utilizada quando se gera uma visualização sem sonificação. O restante deste capítulo é destinado à descrição de cada uma das implementações de classes de interação para o sistema DSVol.

4.5.1 *Display* Progressivo

A classe de interação implementada para o método do *Display* Progressivo é a `SV_Interaction_Coord`. Essa classe utiliza a tecla “u” (*user*) para interromper a interação do VTK com a visualização e capturar o controle da cena. Depois de digitada a tecla “u”, o usuário pode iniciar o processo de sonificação através da tecla “s” (*sonify*). Assim, acionada a tecla “s”, o processo de sonificação tem início. Digitando a tecla “x” o usuário passa a interação do sistema de volta ao VTK.

A classe `SV_Interaction_Coord` possui um objeto da classe `SV_Sound_Coord` que é iniciado através da função `Set_Sender()` implementada em `SV_Interaction_Coord`. Através desse objeto, são feitas as chamadas à classe de sonificação que executa alguma função em resposta a alguma ação de interação do usuário. A definição completa desta classe pode ser encontrada no arquivo `SV_Interaction_Coord.h` no apêndice A.

4.5.2 Sonda Sonora

Assim como para o método do *Display* Progressivo a implementação da interação para a Sonda Sonora utiliza a tecla “u” para interromper o VTK e capturar o controle de interação. Depois de digitada a tecla “u” o usuário pode movimentar e redimensionar a sonda na cena, procurando a melhor forma de explorar o volume de dados. Para esse tipo

de interação foi realizado um mapeamento de teclas que permitem que o usuário navegue na visualização de forma natural. A idéia desse mapeamento é a de utilizar teclas que possibilitem ao usuário associá-las à navegação em um mundo 3D pelos eixos x , y , e z . Para isso, foi utilizado o teclado numérico (tecla *NumLock* ativada) da seguinte forma:

- Teclas 2 e 8 - Navegação no eixo x .
- Teclas 4 e 6 - Navegação no eixo y .
- Teclas 1 e 9 - Navegação no eixo z .

A forma de alternar a interação com a sonda entre o modo de movimentação e o de redimensionamento é através da tecla "in". Para realizar a sonificação das informações na sonda é utilizada a tecla "s". A tecla "x" indica o retorno do controle da interação da cena ao VTK.

Através da interação com a sonda sonora é possível que o usuário escolha uma região de interesse (delimitada pela sonda) e visualize e sonifique essa região separadamente. Para realizar tal função é necessário que o usuário digite a tecla "z". Após digitada essa tecla, uma nova visualização do volume contido dentro da sonda é apresentado na tela (figura 4.18). O usuário pode interagir com esse novo volume da mesma forma que interagiu com o volume anterior. Depois de fechada a janela representando o novo volume, o usuário pode continuar com a interação com seu volume de dados original. Esse processo pode ser acessado para cada novo volume apresentado até que o volume total de dados esteja representado em uma única célula. Essa nova capacidade de interação da sonda com o volume da dados não estava presente na versão anterior de DSVol.

Figura 4.18: Exploração através da Sonda Sonora

Utilizando a sonda sonora é possível também que o usuário defina o conteúdo da sonda como seu novo conjunto de dados. Através da interface de entrada de parâmetros de DSVol o usuário tem a opção de salvar esse novo volume de dados, ou mesmo de restaurar o volume de dados original através de opções incluídas na interface de entrada de parâmetros de DSVol.

Uma nova função de interação também desenvolvida neste trabalho é a capacidade de aumentar ou diminuir o incremento para redimensionamento e movimentação da sonda. Esse incremento tem valor inicial igual a 1, e pode ser aumentado ou diminuído utilizando respectivamente as teclas "+" e "-" do teclado.

A tabela 4.11 mostra um resumo da utilidade de todas as teclas para o processo da Sonda Sonora. Durante todo o tempo, as interações do VTK com a cena visualizada (rotação, translação, escala) são acessíveis através do *mouse*.

Operação	Acesso
Assume interação	"u"
Caminha no sentido positivo de x ou aumenta o tamanho da sonda em x	"6"
Caminha no sentido negativo de x ou diminui o tamanho da sonda em x	"4"
Caminha no sentido positivo de y ou aumenta o tamanho da sonda em y	"8"
Caminha no sentido negativo de y ou diminui o tamanho da sonda em y	"2"
Caminha no sentido positivo de z ou aumenta o tamanho da sonda em z	"9"
Caminha no sentido negativo de z ou diminui o tamanho da sonda em z	"1"
Alterna entre a movimentação e redimensionamento da sonda	"m"
Abre uma nova janela com o conteúdo da sonda representando o volume total de dados (realiza um <i>zoom</i> da sonda)	"z"
Define o conteúdo da sonda como o volume total de dados	"n"
Devolve a interação do VTK	"x"

Tabela 4.11: Teclas de acesso à interação através do processo da Sonda Sonora

A classe `SV_Interactor_Probe` possui um objeto da classe `SV_Sound_Probe` que é iniciado através da função `Set_Sender()` implementada em `SV_Interactor_Probe`. Através desse objeto, são feitas as chamadas à classe de sonificação que executa alguma função em resposta a alguma ação de interação do usuário. A definição completa dessa classe pode ser encontrada no arquivo `SV_Interactor_Probe.h` no apêndice A.

4.5.3 *Display* de Malha

Para cada uma das janelas criadas pelo método de *Display* de Malha é implementado um tipo diferente de interação com o usuário. A primeira janela contém a visualização 3D de isosuperfícies e é controlada pelas funções de interação do VTK. O controle da janela de visualização que contém a projeção da malha e das isosuperfícies é realizada por funções da classe `SV_Interactor_Grid`. A interação para essa janela é feita através de movimentos e cliques do *mouse* da seguinte forma: a cada clique do *mouse* dentro de uma posição da malha de dados, o valor escalar correspondente àquela posição é mapeado para som e então tocado.

Assim como as demais classes de sonificação, a classe `SV_Interactor_Grid` possui um objeto da classe `SV_Sound_Grid` que é iniciado através da função `Set_Sender()` implementada em `SV_Interactor_Grid`. Através desse objeto, são feitas as chamadas à classe de sonificação que executa alguma função em resposta à alguma ação de interação do usuário. A definição completa dessa classe pode ser encontrada no arquivo `SV_Interactor_Grid.h` no apêndice A.

A próxima seção é destinada à apresentação do módulo implementado para o DSVol que permite o acesso às suas funções através da *Internet*.

4.6 DSVol na Internet

Como dito anteriormente, um dos principais objetivos do presente projeto foi a disponibilização do *software* DSVol na *internet*, principalmente para garantir que um número maior de usuários tenham acesso às funções de visualização e de sonificação implementadas no sistema. Esta seção é destinada à apresentação da versão para *internet* do sistema.

Na implementação do DSVol na *Internet* foi utilizada a linguagem de programação Java para a criação de uma interface indireta (figura 4.2) que fosse capaz de ser acessada através de um *browser* de navegação para a *Web* e que pudesse fazer acesso e executar funções de visualização e sonificação do sistema implementadas em C++.

Através da tecnologia JNI (Java Native Interface) do Java [42], foi possível realizar a conexão entre a interface Java e o código do DSVol, escrito em C++. O JNI tem como principal função criar uma “ponte” que liga uma chamada a uma função no código Java à sua implementação escrita em linguagem nativa (por exemplo, C++).

A implementação dessa versão do sistema coloca o DSVol em consonância com as demais partes do *PowerVis* [5] [7], cujos trabalhos estão sendo progressivamente adicionados a um arcabouço de visualização na *internet* (ver <http://www.lcad.icmc.sc.usp>).

br/~powervis).

A interface Java para o sistema DSVol foi criada com a ajuda da ferramenta *Forte* da Sun. Depois de criada a interface, o código que faz acesso ao JNI e às funções do DSVol em C++ foi adicionado ao programa Java. A forma através da qual são feitas chamadas através do JNI é descrita a seguir:

Passo 1 - O primeiro passo é declarar o cabeçalho das funções implementadas em código nativo e chamadas no código Java. A definição de cada função deve ser feita da seguinte forma:

```
public native void nome.função (parâmetros);
```

A palavra *native* indica ao compilador que a função estará implementada em linguagem nativa (C++). Um exemplo para o DSVol é:

```
public native void SetIsoParameters ( int Num.Surfaces, float[] Surfaces );
```

Passo 2 - Depois de compilado o programa Java, deve ser executado o comando do jdk:

```
javah -jni "nome arquivo java"
```

O *download* do pacote jdk pode ser feito pelo *site* <http://www.java.sun.com>.

Como saída desse comando, o JNI gera o arquivo "nome arquivo java.h" que será o arquivo *header* para a implementação das funções em C++. A implementação dessas funções deve ser feita no arquivo "nome arquivo java.cpp" e deve utilizar os cabeçalhos das funções definidas no seu arquivo *header*. No caso de DSVol, os nomes desses arquivos são: VTKThread.h e VTKThread.cpp (apêndice A).

Passo 3 - Esse passo consiste em criar uma dll para o código que implementa as funções em C++ definidas no processo anterior. Na compilação desse código deve ser adicionada a biblioteca *jni.h* do jdk.

Passo 4- Depois de gerada a dll, deve-se adicionar ao código Java uma chamada ao sistema operacional que carregue essa dll. Isso permite ao código Java poder ter acesso e utilizar as funções implementadas na dll. Essa chamada deve ser realizada da seguinte forma:

```
System.loadlibrary ("nome do arquivo.dll");
```

Depois de executados esses passos, o programa Java deve ser compilado novamente e pode então ser utilizado para realizar chamadas ao código C++.

Obs: O arquivo dll gerado para a chamada ao código C++ deve estar localizado em um local acessível ao sistema (como por exemplo no diretório de sistema do Windows) para que possam ser acessados pelo programa Java.

As chamadas às funções nativas dentro do código Java do DSVol são implementadas em uma classe chamada VTKThread criada nesse trabalho de mestrado, que deriva da classe Thread do Java. Essas chamadas são criadas nesta classe derivada da classe Thread para permitir que a chamada às funções em C++ não interfiram em chamadas a eventos padrão realizados pelo Java, como por exemplo o evento de “redesenhar” (*repaint*) os elementos de interface. Um objeto instanciado de uma classe derivada de Thread possui uma função chamada *run()*, que realiza a inicialização e execução de seu código como uma nova *thread* no programa Java. Dessa forma, foi necessário que cada chamada a função nativa tivesse um método que indicasse que seria esta a função a ser executada dentro do código da função *run()*. Detalhes sobre essas chamadas podem ser encontrados mais adiante nesta seção.

A interface de entrada de parâmetros em Java para o DSVol é implementada em uma classe chamada Interface_SVol que deriva da classe *javax.swing.japplet* do Java. Isso permite que essa interface possa ser inserida e executada a partir de uma *browser*.

As chamadas às funções nativas são feitas a partir da classe Interface_SVol através de um objeto da VTKThread contido na classe. A forma de acesso à função *run()* da classe VTKThread é através da função *start()* implementada na classe Thread do Java. É importante dizer que as chamadas não são realizadas diretamente através de chamadas às funções nativas do objeto VTKThread, mas sim através de funções que definem parâmetros indicando qual função nativa deve ser chamada dentro do código da função *run()* em VTKThread. Um exemplo de acesso à uma função nativa a partir da classe Interface_SVol é apresentada no pseudo-código da tabela 4.12.

Começo do Código

```

VTKThread vtkThread = new VTKThread();
// Seta a funcao ''nativa'' a ser chamada pelo metodo start ()
vtkThread.SetRenderIsoSound();
// Realiza a chamada da funcao nativa
vtkThread.start();

```

Fim do Código

Tabela 4.12: Pseudo-Código - Chamada a uma função nativa C++ a partir do Código Java

Realizada essa chamada ao objeto da classe VTKThread, o código executado dentro da classe é o apresentado na tabela 4.13.

Começo do Código

```

// Funcao SetIsoSound da Classe VTKThread
public void SetRenderIsoSound ()
{
    IsoSound = true;
}
...

// Funcao run() da classe VTKThread chamada quando temos o
// metodo start() chamado para algum objeto dessa classe
public void run()
{
    ...
    else if ( IsoSound )
    {
        RenderIsoSound ();
        IsoSound = false;
    }
    ...
}

```

Fim do Código

Tabela 4.13: Pseudo-Código - Exemplo de como realizar chamadas em DSVol a partir da classe VTKThread

O código gerado após a compilação com a opção JNI do programa Java está incluído no arquivo VTKThread.h (apêndice A). O arquivo VTKThread.cpp contém a implementação das funções nativas acessadas a partir de Java. Dessa forma, esse arquivo funciona como o

programa principal para o código C++ acessado do Java. Esse arquivo deve ser compilado juntamente com as demais classes de DSVol para gerar a dll que será acessada a partir do Java (C_DSVOL.dll).

A tabela 4.14 apresenta uma descrição de cada uma das funções “nativas” definidas em VTKThread, e suas respectivas funções que indicam ao método *start()* sua chamada.

A tabela 4.15 apresenta uma descrição de cada uma das funções “nativas” definidas em VTKThread, chamadas diretamente a partir do código da classe Interface_SVol, sem a necessidade de utilização do método *start()* de VTKThread (não necessitam chamar esse método pois sua execução não exige muito esforço computacional).

Define Execução	Método Nativo	Descrição
SetOpenFile ()	OpenFile ()	Método que realiza a abertura de um arquivo de dados
SetSaveFile ()	SaveFile ()	Método que salva um conjunto de dados em um arquivo
SetRenderIso ()	RenderIso ()	Método que realiza a visualização de isosuperfícies
SetRenderDVR ()	RenderDVR ()	Método que realiza a visualização através de DVR
SetRenderIsoSound ()	RenderIsoSound ()	Método que realiza a visualização de isosuperfícies com a presença de sonificação
SetRenderDVRSound ()	RenderDVRSound ()	Método que realiza a visualização através de DVR com a presença de sonificação

Tabela 4.14: Funções Nativas Acessadas a partir do código Java

Método Nativo	Descrição
SetDVisual ()	Método que inicializa o cliente de visualização
SetDSound ()	Método que inicializa o cliente de sonificação
SetIsoParamaters ()	Método que seta os parâmetros de visualização de iso-superfícies
SetDVRParamaters ()	Método que seta os parâmetros de visualização através de DVR
SetSoundParamaters ()	Método que seta os parâmetros de <i>pitch</i> e timbre do som
SetSoundCoordParamaters ()	Método que seta os parâmetros para o método do <i>Display</i> Progressivo
SetSoundProbeParamaters ()	Método que seta os parâmetros para o método da Sonda Sonora
SetSoundGridParamaters ()	Método que seta os parâmetros para o método do <i>Display</i> de Malha
RestoreData ()	Método que carrega novamente o volume de dados original lido o arquivo de StructuredPoints
SetCoordIncrementP ()	Método que seta o incremento proporcional para o <i>Display</i> Progressivo
SetCoordIncrementA ()	Método que seta o incremento absoluto para o <i>Display</i> Progressivo
SetProbeIncrementP ()	Método que seta o tamanho proporcional da Sonda Sonora
SetBackGround ()	Método que seta cor de fundo para visualização de isosuperfícies
SetBackGroundDVR ()	Método que seta cor de fundo para visualização através de DVR

Tabela 4.15: Funções Nativas Acessadas a partir do código Java

A próxima seção é destinada à descrição da implementação de uma versão distribuída de DSVol que pode utilizar servidores de sons e imagens para a geração das visualizações e sonificações do sistema.

4.7 Distribuição do DSVol

A distribuição de recursos (dados, simulação e processamento) em rede, aparece como uma tentativa de solucionar o problema de sobrecarga dos recursos na máquina do usuário em visualização. Nos casos em que os recursos computacionais de um usuário não são suficientes para processos de visualização, computadores externos mais poderosos podem oferecer os recursos necessários para que esses usuários possam utilizar seus processos de visualização.

Na área de sonificação, o maior custo computacional está no cálculo dos parâmetros de síntese durante a sonificação. Esse não é o caso da atual versão do DSVol, mas certamente será quando novas alterações no sistema forem realizadas (como a utilização de síntese de sons por *software*). Por esse motivo, foi implementado um servidor de som responsável por realizar tais cálculos. Esse servidor foi implementado utilizando a especificação CORBA e a ORB Visibroker 4.0. Também foi desenvolvido neste projeto, um protótipo de um servidor de visualização. A figura 4.19 apresenta a arquitetura atual da distribuição em DSVol. A descrição dos servidores e das modificações no sistema para atuar de forma distribuída são apresentadas a seguir.

Figura 4.19: Esquema Simplificado da Arquitetura Distribuída de DSVol

4.7.1 Definição da Interface IDL

O primeiro passo da implementação de uma aplicação cliente/servidor em CORBA é a definição do arquivo IDL (.idl). IDL é a linguagem usada para especificar as operações que um determinado objeto irá disponibilizar e como essas operações podem ser acessadas. A linguagem IDL tem sintaxe similar ao C++. Maiores detalhes sobre a especificação IDL para DSVol são dados a seguir.

Servidor de Sonificação

Para o DSVol, foi criada uma interface CORBA chamada IDLSound que contém o cabeçalho para cada um dos métodos de cálculo de sonificação para o sistema, juntamente

com algumas estruturas e funções para a passagem de parâmetros. Estas especificações podem ser encontradas no arquivo `IDL_Sound.idl` incluído no apêndice A.

Servidor de Visualização de Isosuperfícies

Para a utilização do servidor de visualização foi utilizada a interface CORBA `IDL_Visualization` que contém o cabeçalho dos métodos implementados no servidor de visualização e que podem ser acessados por algum cliente. Uma informação importante é que somente funções de visualização de isosuperfícies foram definidas para essa interface IDL. O código IDL para esse servidor pode ser encontrada no arquivo `IDL_Visualization.idl` incluído no apêndice A.

4.7.2 Definição dos Arquivos *Stub* e *Skeleton*

Depois de descrito o módulo IDL, o próximo passo é gerar os arquivos *skeleton* e *stub*. O código dos arquivos *stub* devem ser utilizados juntamente com o programa cliente para realizar chamadas à métodos implementados remotamente. Já os arquivos *skeleton* são usados, juntamente com a implementação criada para os métodos definidos pela IDL, para criar um servidor que implementa o objeto remoto.

Os arquivos *skeleton* e *stub* são gerados automaticamente pela compilação do arquivo IDL (`.idl`) através da ferramenta presente no Visibroker "`idl2cpp.exe`".

Os arquivos gerados por esse executável geralmente são nomeados da seguinte forma: `NomeIdl.c.hh` e `NomeIdl.c.cc` para o cliente (*stub*); e `NomeIdl.s.hh` e `NomeIdl.s.cc` para o servidor (*skeleton*). Em DSVol os arquivos gerados foram: `IDL_Sound.c.cc`, `IDL_Sound.c.hh`, `IDL_Sound.s.cc` e `IDL_Sound.s.hh` para a implementação do servidor de sonificação; e `IDL_Visualization.c.cc`, `IDL_Visualization.c.hh`, `IDL_Visualization.s.cc` e `IDL_Visualization.s.hh` para a implementação do servidor de visualização.

4.7.3 Definição do Servidor CORBA

Um servidor CORBA é escrito utilizando-se os arquivos *skeleton* juntamente com o código que implementa as funções definidas pela interface IDL. Tal código deve estar contido em uma classe derivada da classe base para esse objeto definida dentro do arquivo *skeleton*. No Visibroker 4.0, essa classe utiliza o POA (*Portable Object Adapter*) para realizar a conexão entre cliente e servidor.

A seguir são descritas as implementações dos servidores de sonificação e visualização de DSVol.

Servidor de Sonificação

A classe que implementa os métodos definidos pela interface IDL_Sound é a SoundImpl. Tal classe é derivada da classe POA_Sound::IDL_Sound definida no arquivo IDL_Sound.s.hh. A definição completa dessa classe pode ser encontrada no arquivo SoundImpl.h no apêndice A.

O código principal para o servidor de sonificação em DSVol foi escrito da seguinte forma:

Passo 1 - Inicializar a ORB.

Passo 2 - Criar um objeto POA.

Passo 3 - Criar um objeto servidor do tipo SoundImpl.

Passo 4 - Ativar o objeto servidor.

Passo 5 - Ativar o gerenciador do POA.

Passo 6 - Aguardar por requisições de algum cliente.

O servidor de sons para DSVol implementa todas as funções de sonificação para o sistema (*Display* Progressivo, Sonda Sonora e *Display* de Malha). Quando o usuário opta por utilizar o servidor de sons, o cliente realiza primeiramente a chamada à função que passa o arquivo de dados para o servidor. A forma utilizada por DSVol para a troca de dados entre cliente e servidor é através do mapeamento em *strings* desses dados. Em seguida, são realizadas as chamadas às funções de sonificação, de acordo com as opções do usuário. Essas funções retornam o valor de frequência correspondente à sonificação escolhida, e o processo cliente fica responsável por “tocar” o som calculado no servidor.

As principais funções implementadas no servidor de sons para DSVol podem ser encontradas na tabela 4.16.

Método	Descrição
SetFile ()	Utilizado para passagem do arquivo de dados (na forma de <i>string</i>) para o servidor
CoordSonification ()	Sonificação da coordenada corrente
MaxSonification ()	Sonificação do valor máximo dentro de uma fatia do volume de dados
MinSonification ()	Sonificação do valor mínimo
PopDensSonification ()	Sonificação de Densidade Local e População para a Sonda Sonora
ValuesSonification ()	Sonificação de Valores para a Sonda Sonora
GridSonification ()	Sonificação de Malha

Tabela 4.16: Servidor de Sonificação - Principais Métodos

Para a realização da compilação é necessário que o caminho para os arquivos “.lib” do Visibroker estejam acessíveis ao projeto do servidor. O arquivo “vtdll.lib”, assim como o caminho para os arquivos “.lr” do VTK também devem estar acessíveis. Os arquivos utilizados nesse projeto são: SoundServer.cpp (arquivo principal), SoundImpl.h, SoundImpl.cpp (implementação do servidor de sons), IDL.Sound.s.hh (*skeleton*).

A compilação do código servidor gera o executável SoundServer.exe que, quando executado, aguarda que algum cliente solicite a execução de alguma das funções implementadas em SoundImpl. Em DSVol foi utilizado o *software* Microsoft Visual C++ 6.0 para a compilação deste servidor.

Servidor de Visualização de Isosuperfícies

A classe que implementa os métodos definidos pela interface IDL.Visualization é a VisualizationImpl. Tal classe é derivada da classe POA.Visual::IDL.Visualization definida no arquivo IDL.Visualization.s.hh. A definição completa dessa classe pode ser encontrada no arquivo VisualizationImpl.h no apêndice A.

Os passos para criação desse servidor são os mesmos descritos na criação do servidor de visualização. A única diferença é que o objeto servidor ativado deve ser do tipo VisualizationImpl.

O servidor de visualização em DSVol implementa o processo de filtragem das isosuperfícies, dentro do *pipeline* de visualização do sistema. O cliente que faz o uso desse servidor deve primeiramente enviar o arquivo de dados e, em seguida, realizar a chamada à função remota de filtragem de contornos passando para o servidor o valor da isosuperfície

de interesse. A forma de envio do arquivo de dados na atual versão do sistema, tanto para enviar como receber dados é feita através de *strings*. Como resultado da função, é retornado ao cliente uma *string* contendo o contorno filtrado, que é então ligado a um mapeador para que o *pipeline* de visualização tenha seqüência.

As principais funções implementadas por esse servidor podem ser encontradas na tabela 4.17.

Método	Descrição
SetFile ()	Utilizado para passagem do arquivo de dados (na forma de <i>string</i>) para o servidor
SetCountour ()	Filtra o contorno escolhido pelo usuário
GetString ()	Retorna a <i>string</i> contendo o contorno filtrado

Tabela 4.17: Servidor de Visualização - Principais Métodos

Assim como para o servidor de sons, na compilação é necessário que o caminho para os arquivos ".lib" do Visibroker estejam acessíveis ao projeto. O arquivo "vtkdll.lib", assim como o caminho para os arquivos ".lr" do VTK também devem estar acessíveis. Os arquivos utilizados no projeto do servidor de visualização são: VisualServer.cpp (arquivo principal), VisualizationImpl.h, VisualizationImpl.cpp (implementação do servidor de visualização), IDL_Visualization.hh (*skeleton*).

A compilação do código servidor gera o executável VisualServer.exe que, quando executado, aguarda que algum cliente solicite a execução de alguma das funções implementadas em VisualizationImpl. Assim como para o servidor de sonificação, este executável foi criado através do *software* Microsoft Visual C++ 6.0.

Nas próximas seções são apresentadas as formas através das quais foram implementados e adicionados ao código de DSVol objetos que fizessem acesso às funções implementadas nestes servidores.

4.7.4 Definição do Cliente CORBA

Um cliente CORBA é definido basicamente por um objeto definido dentro dos arquivos *stub* capaz de realizar chamadas às funções remotas implementadas em algum objeto servidor.

Uma das funções mais importantes para um objeto cliente é função *bind()*, responsável por realizar a conexão entre um objeto cliente e o objeto servidor que possui a implementação das funções do objeto cliente.

Em DSVol, o passo de inicialização da ORB, que torna possível a comunicação entre servidores e clientes, é realizado dentro do módulo principal do sistema, assim que ele é inicializado. Para o cliente de sonificação foi criada a classe `ClientSoundObj` (Apêndice A) que tem como principal função criar um objeto do tipo `iDL_Sound_var` capaz de realizar chamadas ao servidor de sonificação e realizar em seu construtor a chamada à função `bind()`. Para o cliente de visualização foi criada a classe `ClientVisualizationObj` (Apêndice A) cuja principal função é criar o objeto `iDL_Visualization_var` e realizar a chamada à função `bind()` para esse objeto.

Uma função importante implementada nessas duas classes é a função `GetID()` que retorna o ponteiro para o objeto ao qual foi realizado o método `bind()` no construtor da classe.

Organizado dessa forma, o sistema DSVol permite que sejam criados objetos das classes `ClientSoundObj` e `ClientVisualizationObj` dentro do programa principal. Através do método `GetID` e da declaração de ponteiros para as classes `iDL_Sound` dentro de cada uma das classes de som em DSVol e `iDL_Visualization` dentro da classe `SV_Visual_Iso` é possível a utilização de objetos que realizam a chamada às funções remotas a partir de uma classe de visualização ou sonificação de DSVol. Isso é possível através da implementação da função `SetIdlSound()` para as classes de sonificação e `SetIdlVisualization()` para as classes de visualização. Tais métodos tem como única função iniciar as variáveis contidas nas classes com o ponteiro retornado através do método `GetID` para um objeto de sonificação ou visualização distribuído (`ClientSoundObj` ou `ClientVisualizationObj`).

A figura 4.20 apresenta um esquema geral de como estão organizadas as classes que permitem o acesso aos servidores distribuídos no DSVol.

Figura 4.20: Esquema de Organização das Classes no Programa Cliente

Através da interface de entrada de parâmetros do sistema, o usuário pode optar por utilizar ou não um servidor de sons e um servidor de visualização. Quando a opção é por utilizar o servidor de sonificação, as chamadas às funções que realizam os cálculos

de som são feitas através da variável `iDL.Sound_var` contida em cada uma das classes de sonificação de DSVol. Quando é utilizado um servidor de visualização, são realizadas chamadas aos objetos remotos através da variável `iDL.Visualization_var` declarada em `SV_Visual_Iso`.

Para a execução do DSVol é necessário que o usuário autorize o código Java a executar em sua máquina. Isso é feito através do *download* do arquivo `.java.policy` que contém a autorização para sua execução. Outros arquivos necessários para a execução do sistema são: `C_SVol.dll`, `vport_r.dll`, `orb_r.dll`. Instruções mais detalhadas sobre a instalação e execução do DSVol podem ser encontradas em <http://www.lcad.icmc.sc.usp.br/~powervis>.

4.8 Resumo dos Resultados Obtidos

Neste capítulo foi apresentada a implementação de um sistema (DSVol), que incorpora alguns dos conceitos, discutidos nos capítulos anteriores, de sonificação em visualização, visualização distribuída e visualização na *internet*.

Nessa implementação, que se baseou em um sistema de sonificação previamente desenvolvido [9], foram realizadas as seguintes tarefas:

- Melhoramento da organização e reimplementação total do sistema original utilizando conceitos e ferramentas de orientação a objetos.
- Melhoramento das interfaces direta e indireta do código original.
- Inclusão de novas funcionalidades ao sistema no módulos de visualização, sonificação e interação.
- Programação de uma versão do código, acessível pela *internet*.
- Programação de uma arquitetura distribuída para sonificação.
- Programação de uma arquitetura distribuída para uma parte do *pipeline* de visualização.
- Utilização de *hardware* próprio para a realização de DVR.

Com relação especificamente a funcionalidade das sonificações do sistema que deu origem ao DSVol, foram adicionadas:

- Possibilidade de sonificação em visualização para DVR.

- Controle de timbre.
- Sonificações de valores específicos no processo da Sonda Sonora.
- Possibilidade de definição de valores de interesse para sonificação diferentes dos definidos para visualização.

O sistema resultante é uma ferramenta poderosa para a exploração e análise de dados, que incorpora diversos conceitos na tentativa de facilitar seu acesso e utilização por um maior número de usuários. Isso é muito importante, pelo fato de possibilitar o trabalho em grupo e a familiarização de mais usuários com os processos de visualização e sonificação.

O próximo capítulo é destinado à apresentação das conclusões deste projeto e de sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 5

Conclusões

Este trabalho de mestrado buscou reunir os conceitos de visualização, sonificação, distribuição e interação através da *Web* estudados na implementação de um sistema que possibilitasse o uso da sonificação na exploração conjuntos de dados apresentados por isosuperfícies ou DVR.

Como foi visto no capítulo 2, o uso de som em sistemas de exploração de dados tem se tornado cada vez mais comum. Muitas vezes, usuários podem perceber e analisar informações mais facilmente através de sons. Mesmo quando as imagens são mais indicadas para a apresentação dessas informações, o som pode atuar de forma auxiliar à representação gráfica.

Através da disponibilização do sistema DSVol na *Web*, este trabalho buscou um maior nível de utilização dos recursos e técnicas desenvolvidas neste projeto pela facilidade que a *Web* proporciona para a comunicação de pesquisadores localizados remotamente. Isso permite que mais usuários tenham acesso e compartilhem os resultados obtidos através de DSVol.

A criação dos servidores de som e de visualização em DSVol possibilitou ao sistema realizar acesso à funções e recursos remotos, característica muito importante na área de visualização atualmente. Dessa forma, foi criado uma base para realização de futuros trabalhos na área de distribuição, tanto para DSVol como para o projeto *PowerVis* no qual se encaixa este trabalho.

Dessa forma, este trabalho de mestrado desenvolveu uma ferramenta bastante promissora para a exploração de dados. Para isso, foi necessária a utilização de vários recursos nas diversas áreas em que se enquadra o sistema, como sonificação, visualização, interação, programação na *Web* e distribuição. A necessidade de se criar um sistema que unisse uma quantidade grande de diferentes ferramentas e conceitos talvez tenha sido a

maior dificuldade encontrada durante o desenvolvimento deste trabalho.

Em DSVol, foi utilizada a biblioteca VTK [1] para a criação das visualizações e interação com elas. Para a reprodução dos sons gerados através do sistema, foram utilizadas as funções da biblioteca SoundTools [3].³ A implementação para o núcleo do sistema foi feita utilizando a linguagem C++ orientada a objetos. Para a criação da interface na Web foi utilizada a linguagem Java e a interface JNI que permite acesso do código Java às funções do núcleo do sistema implementadas em C++. Na criação dos módulos distribuídos foi utilizada a especificação CORBA. Existe uma versão “*stand-alone*” do sistema cuja interface foi programada utilizando o Borland C++ Builder 4.0.

O sistema desenvolvido reimplementou totalmente o sistema de sonificação anterior (SVol [9]) devido principalmente à necessidade de criação de um sistema puramente orientado a objetos onde houvesse distinção entre seus diversos módulos (como por exemplo, módulo responsável por geração de imagens e módulo responsável pela sonificação). Somente dessa forma foi possível realizar as expansões na funcionalidade do sistema. Entre essas expansões estão incluídas novas técnicas de visualização, sonificação e interação com o usuário, além da implementação dos módulos distribuídos e para a Web do sistema. Além disso, o sistema está melhor adaptado para futuras alterações.

Trabalhos futuros relacionados ao sistema DSVol incluem:

- Expansão da capacidade de exploração para diferentes conjuntos de dados, como malhas não estruturadas, e também para diferentes tipos de dados, como por exemplo dados vetoriais e tensoriais.
- Inclusão de novas técnicas de visualização.
- Inclusão de novas técnicas de sonificação.
- Inclusão do mapeamento sonoro para outros parâmetros (como volume e timbre).
- Expansão da biblioteca *SoundTools* para que seja possível uma manipulação de um número maior de características sonoras.
- Expansão do servidor de sons, com a utilização de um sistema como o CSound [32][31] na síntese e apresentação dos sons.
- Melhoramentos das capacidades dos módulos distribuídos de visualização e sonificação, principalmente em relação ao envio de dados entre servidor e cliente.
- Realização das modificações necessárias para compatibilização com a plataforma Unix.

Além disso, um estudo do uso da sonificação no contexto da realidade virtual e da capacidade das ferramentas do DSVol operarem nesse contexto será necessária.

Trabalhos recentes mostram um grande crescimento na exploração de dados através de sons, apesar de ainda existirem algumas dificuldades, como, por exemplo, a falta de uma padronização na utilização de dispositivos de reprodução. A área de visualização distribuída e na *Web* também vem crescendo muito nos últimos anos juntamente com a necessidade de tornar o acesso a sistemas que realizam tal tarefa mais fácil para os usuários.

Dessa forma, o sistema aqui desenvolvido equipara a sonificação em ambiente de visualização com a tecnologia operante no momento na área de sistemas computacionais, viabilizando o futuro desenvolvimento do sistema e da área de sonificação para dados científicos.

Referências Bibliográficas

- [1] Schroeder W.J.; Martin K.; Lorensen W. *The Visualization ToolKit - An Object-Oriented Approach to 3D Graphics*. Prentice-Hall, Segunda Edição, 1997.
- [2] Brodlie K.W.; Carpenter L.A.; Earnshaw R.A.; Gallop J.R.; Hubbold R.J.; Mumford A.M.; Osland C.D.; Quarendon P. *Scientific Visualization Techniques and Applications*. Springer-Verlag, 1992.
- [3] Minghim R. *On Sound Support for Visualisation*. Tese de Doutorado, School of Information Systems, University of East Anglia, UK, Março 1995.
- [4] Minghim R.; Forrest A.R. An illustrated Analysis of Sonification for Visualization. Em *Proceedings of IEEE Visualization'95*, pp. 110–117. IEEE CS Press, 1995.
- [5] Minghim R.; Oliveira M.C.F. Powervis: Empowering the User with a Multi-modal Visualization System. Em *II IEEE Workshop on Cybernetic Vision*, pp. 106–111, IEEE CS Press, São Carlos - SP, 1997.
- [6] Minghim R.; Oliveira M.C.F. Uma introdução à visualização computacional. Em *JAI'97 - Jornadas de Atualização em Informática*. XVII Congresso da SBC, Agosto 1997.
- [7] Oliveira M.C.F.; Minghim R.; Tutida S.M.; Salvador V.C.L. Towards Perception Driven Visualization. Em *Proceedings of SIBGRAP'98*, pp. 127–134. IEEE CS Press, 1998.
- [8] Salvador V.C.L.; Minghim R.; Pacheco M.L. Sonification to Support Visualization Tasks. Em *Proceedings of SIBGRAP'98*, pp. 150–157. XI Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, IEEE CS Press, 1998.
- [9] Salvador V.C.L. Sonificação para Apoio a Tarefas de Visualização. Tese de Mestrado, ICMC-USP, Abril 1998.

- [10] Salvador V.C.L.; Minghim R. Sonificação para Apoio a Tarefas de Visualização. Em *Anais do IV WorkShop de Teses e Dissertações Defendidas*. ICMC-USP, 1999.
- [11] Barrass S.; Kramer G. Using Sonification. *Multimedia Systems*, 7, Janeiro 1999.
- [12] Krueger M.; Gilden D. Knowwhere: An Audio/Spatial Interface for Blind People. Em *Proceedings of ICAD'97*, Palo Alto, California, Novembro 1997. <http://www.icad.org>.
- [13] Mitsopoulos E.; Edwards A. A Principled Methodology for the Specification and Design of Non-Visual Widgets. Em *Proceedings of ICAD'98*, pp. 1–4. University of Glasgow, UK, Novembro 1998. <http://www.icad.org>.
- [14] Jovanov E. et al. Acoustic Rendering as Support for Sustained Attention During Biomedical Procedures. Em *Proceedings of ICAD'98*. University of Glasgow, UK, Novembro 1998. <http://www.icad.org>.
- [15] Bussemakers M.; Haan A. Using Earcons and Icons in Categorisation Tasks to Improve Multimedia Interfaces. Em *Proceedings of ICAD'98*. University of Glasgow, UK, Novembro 1998. <http://www.icad.org>.
- [16] Martins A.C.G.; Rangayyan R.; Portela L.A.; Amaro E.; Ruschioni R.A. Experimental Evaluation of Auditory Display and Sonification of Textured Image. Em *Proceedings of ICAD'96*, Novembro 1996. <http://www.icad.org>.
- [17] Lodhia S.K.; Bealán J.; Heppe T.; Joseph A.; Zane-Ulman B. Muse: A Musical Data Sonification Toolkit. Em *Proceedings of ICAD'97*, Novembro 1997. <http://www.icad.org>.
- [18] Pair J.; Kooper R. COOLVR: Implementing Audio in a Virtual Environments Toolkit. Em *Proceedings of ICAD'97*, Novembro 1997. <http://www.icad.org>.
- [19] Saue S.; Fjeld O.K. A Platform for Audiovisual Seismic Interpretation. Em *Proceedings of ICAD'97*, Novembro 1997. <http://www.icad.org>.
- [20] Madhyastha T.M.; Reed D.A. Data Sonification: Do You See What I Hear? *IEEE Software*, 12, pp. 45–56, Março 1995.
- [21] Saue S. A model for Interaction in Exploratory Sonification Displays. Em *Proceedings of ICAD'2000*, 2000. <http://www.icad.org/websiteV2.0/Conferences/ICAD2000/ICAD2000.html>.

-
- [22] Hermann T.; Meinicke P.; Ritter H. Principal Curve Sonification. Em *Proceedings of ICAD'2000*, 2000. <http://www.icad.org/websiteV2.0/Conferences/ICAD2000/ICAD2000.html>.
- [23] Sturm B.L. Sonification of Particle Systems via de Broglie's Hypothesis. Em *Proceedings of ICAD'2000*, 2000. <http://www.icad.org/websiteV2.0/Conferences/ICAD2000/ICAD2000.html>.
- [24] Dieberger A. A Sonification Enhanced Navigation Tool. Em *Proceedings of ICAD'2000*, 2000. <http://www.icad.org/websiteV2.0/Conferences/ICAD2000/ICAD2000.html>.
- [25] Neuhoﬀ J.G.; Kramer G.; Wayand J. Sonification and the Interaction of Perceptual Dimensions: Can Data Get Lost in the Map ? Em *Proceedings of ICAD'2000*, 2000. <http://www.icad.org/websiteV2.0/Conferences/ICAD2000/ICAD2000.html>.
- [26] Lodha S.K.; Wilson C.M.; Sheehan R.E. Listen: Sound Uncertainty Visualization. Em *Proceedings of IEEE Visualization'96*, pp. 249–261. IEEE CS Press, 1996.
- [27] Massey H.; Noyes A.; Sliklair D. *A Synthesist's Guide to Acoustic Instruments*. Amsco Publications, 1987.
- [28] Kaper H.G.; Wiebel E.; Tipei S. Data Sonification and Sound Visualization. Em *Computing in Science and Engineering*, 1(4), pp. 48–58. Julho, 1999.
- [29] Kaper H.G.; Tipei S. Manifold Compositions, Music Visualization and Scientific Sonification in an Immersive. Em *Proceedings of Int'l Computer Music Conference'98*, pp. 399–405. Michigan, 1998. <http://www-fp.mcs.anl.gov/division/publications/abstracts/abstracts98.htm>.
- [30] Welcome to the Scientific Sonification Project. <http://www-unix.mcs.anl.gov/appliedmath/Sonification>.
- [31] Virtual Sound - CSound Tutorial. <http://web.tiscalinet.it/contempo/web/vs/inglese/intro.html>.
- [32] Vercoe B. *The CSound Book: Perspectives in Software Synthesis, Sound Design, Signal Processing, and Programming*. The MIT Press, 2000.

- [33] Upson C.; Faulhaber Jr.; T. A.; Kamins D.; Laidlaw D.; Schlegel D.; Vroom J.; Gurwitz R.; Dam A.V. The Application Visualization System: A Computational Environment for Scientific Visualization. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 9(4), pp. 30–42, 1989.
- [34] Wood J.; Brodlie K.; Wright H. Visualization Over the World Wide Web and its Application to Environmental Data. Em *Proceedings IEEE Visualization'96*, pp. 81–86, Outubro 1996.
- [35] Jern M. Information Visualization on the Web. Em *Proceedings IEEE International Conference On Information Visualization*, pp. 2–7, IEEE CS Press, Julho 1998.
- [36] Haase H.; Dai F.; Strassner J.; Gobel. Immersive Investigation of Scientific Data. Em *Scientific Visualization - Overviews, Methodologies, Techniques*, pp. 35–58. IEEE CS Press, 1997.
- [37] Ahrens J.; Law C.; Schroeder W.; Martin K.; Papka M. A Parallel Approach for Efficiently Visualizing Extremely Large Time-Variant Datasets. 2000. <http://www.kitware.com/vtkhtml/vtkdata/pvtk.pdf>.
- [38] Brodlie K.; El-Khalili N.; Li Y. Using Web-Based Computer Graphics to Teach Surgery. n.24, pp. 157–161, 2000.
- [39] Brodlie K.; LoveGrove S.; Wood J. Harnessing the Web for Scientific Visualization. Fevereiro 2000. <http://www.siggraph.org/publications/newsletter/v34n1/columns/visfiles.html>.
- [40] Alves A.D.; Oliveira M.C.F; Minghim R.; Nonato L.G. Interactive Visualization Over the www. Em *Proceedings of SIBGRAPI'2000*, pp. 259–266. IEEE CS Press.
- [41] Santin R.V. Visualização e Exploração de Dados via Internet. Relatório Final de Iniciação Científica. ICMC-USP, Janeiro 2000.
- [42] The Source for Java Technology. *Copyright©1995-2000 Sun Microsystems*. <http://java.sun.com>.
- [43] The Java Tutorial - A Pratical Guide for Programmers. *Copyright©1995-2000 Sun Microsystems*. <http://java.sun.com/docs/books/tutorial>.
- [44] What is VRML. <http://www.vrml.org/about>.

-
- [45] David Reilly Copyright©1998. Java RMI & CORBA a Comparison of Two Competing Technologies. http://www.javacoffeebreak.com/articles/rmi_corba/index.html.
- [46] RAJ Gopalan S. A Detailed Comparison of CORBA, DCOM and Java/RMI. <http://www.execpc.com/~gopala/misc/compare.html>.

Apêndice A

Arquivos .h de DSVol

A.1 SV_Kernel.h

----- Começo do Código -----

```
#ifndef __sv_kernel_h__
#define __sv_kernel_h__

#include <vtk.h>

typedef enum {x, y, z} Axe;
//typedef enum {MinMax, Current} Coord_Method;
//typedef enum {Valores, Populacao, Densidade} Probe_Method;
//typedef enum {All, Defined} Grid_Method;

class t_IsoSuperficie {
public:

    // Definicao do construtor e destrutor
    t_IsoSuperficie () {};
    t_IsoSuperficie (float, float, float, float, float = 1);

    // Definicao das variaveis da classe
    float Valor_Interesse;
    float R;
    float G;
    float B;
};

class t_DVR_Intervalos {
```

```

public:

    // Definicao do construtor e destrutor
    t_DVR_Intervalos () {};
    t_DVR_Intervalos (float, float, float, float, float, float = 1);

    // Definicao das variaveis da classe
    unsigned short Min;
    unsigned short Max;
    float R;
    float G;
    float B;
    float Opacidade;
};

#endif

```

Fim doCodigo

A.2 SV_Visual_Kernel.h

Começo doCodigo

```

#ifndef __sv_visual_kernel_h__
#define __sv_visual_kernel_h__

#include "SV_Kernel.h"
#include "SV_Interactor_Kernel.h"
#include "vtkVolumeProMapper.h"

class SV_Visual {

public:

    // Definicao dos metodos
    SV_Visual () {Sound =0;};
    ~SV_Visual () {};

    vtkStructuredPoints* GetReader () {return SP_Reader; };
    float GetMinScalar () {return Min_Scalar; };
    float GetMaxScalar () {return Max_Scalar; };
    float* GetBackColor () { return BackGround; };

```

```

virtual int GetNumSurfaces () {return 1;};
virtual vtkContourFilter** GetContFilter () {vtkContourFilter** t; return t;};

virtual float GetMin () {return 1;};
virtual float GetMax () { return 1;};
virtual int GetNumCores () { return 1;};

virtual int GetNumIntervals () { return 1; };
virtual t_DVR_Intervalos* GetIntervals () { t_DVR_Intervalos *t; return t;};

virtual float GetAmbient() {return 1;};
virtual float GetDiffuse() {return 1;};
virtual float GetSpecular() {return 1;};
virtual float GetSpecularPower() {return 1;};
virtual float GetSpacing() {return 1;};

virtual int GetShade () {return 1;};
virtual int GetVP () { return 1;};

virtual vtkVolumeRayCastMapper* GetVolumeMapper ()
    {vtkVolumeRayCastMapper* t; return t;};
virtual vtkVolumeProMapper* GetVPMapper ()
    {vtkVolumeProMapper* t; return t; };

virtual vtkStructuredPoints* GetSPVolume() {vtkStructuredPoints* t; return t;};
virtual t_IsoSuperficie* GetIsoSurfaces () {t_IsoSuperficie* t; return t;};

float GetDarkOutline() { return DarkOutline; };
int* GetFileDimensions () { return File_Dimensions; };
vtkRenderWindow* GetRenWin () { return RenWin; };
vtkRenderer* GetRenderer () { return Renderer; };
SV_Interactor* GetInteractor () { return Interactor; };

void SetSound () {Sound = 1;};

protected:

//-----
// Variaveis Gerais
//=====

float* BackGround;

```

```

float OutlineColor[3];

int DarkDutline;

vtkStructuredPoints* SP_Reader;

vtkRenderer* Renderer;
vtkRenderWindow* RenWin;

double Max_Scalar, Min_Scalar;
int File_Dimensions[3];

// Variavel de Interacao
SV_Interactor* Interactor;

int Sound;

float Ambient, Diffuse, Specular, Power;
};

#endif

```

Fim doCodigo

A.3 SV_Visual_Iso.h

Começo doCodigo

```

#ifndef __sv_visual_iso_h__
#define __sv_visual_iso_h__

#include "SV_Visual_Kernel.h"
#include "Visualization_c.hh"

class SV_Visual_Iso : public SV_Visual
{
public:

void SV_Visual_Iso::SetIDL_Visualization(Visual::Visualization_ptr _ptr);

// Definicao dos metodos

```



```

SV_Visual_Iso () {};
~SV_Visual_Iso () {};

void Start ( vtkStructuredPoints* Reader,
             int Num_Super, t_IsoSuperficie * Iso, float* );
void Get_Values ();

void Execute ();
void Free();

vtkContourFilter** GetContFilter () { return ContFilter; };
int GetNumSurfaces () { return Num_Surfaces; };
t_IsoSuperficie* GetIsoSurfaces () { return IsoSurfaces; };

float GetMin () {return Minimo;};
float GetMax () { return Maximo;};
int GetNumCores () { return Num_Cores;};

protected:

int Num_Cores;
float Minimo, Maximo;
int DVisual;

t_IsoSuperficie* IsoSurfaces;
int Num_Surfaces;

vtkLookupTable** Lut;

vtkContourFilter** ContFilter;
vtkPolyDataMapper** PD_Mapper;
vtkActor** Actor;

vtkOutlineFilter* outline;
vtkPolyDataMapper* outlineMapper;
vtkActor* outlineActor;

vtkPolyDataReader* ReaderString;

Visual::Visualization_ptr iDL_Visualization;
};

#endif

```

 Fim doCodigo

A.4 SV_Visual_DVR.h

 Começo doCodigo

```

#ifndef __sv_visual_dvr_h__
#define __sv_visual_dvr_h__

#include "SV_Visual_Kernel.h"
#include "vtkVolumeProMapper.h"

class SV_Visual_DVR : public SV_Visual
{
public:

    // Definicao dos metodos
    SV_Visual_DVR () {};
    ~SV_Visual_DVR () {};

    void Start ( vtkStructuredPoints* Reader,
                 int Numero, t_DVR_Intervalos* Intervalos, float*);
    void SetParameters
        ( float, float, float, float, float, int, int ) ;
    vtkStructuredPoints* Scalar_Conversion
        (vtkStructuredPoints* SP_Reader);

    vtkVolumeRayCastMapper* GetVolumeMapper ()
        {return volumeMapper;};
    vtkVolumeProMapper* GetVPMapper ()
        {return VolumeProMapper;};
    vtkStructuredPoints* GetSPVolume()
        {return SP_Volume;};

    int GetNumIntervals () { return Num_Intervalos; };
    t_DVR_Intervalos* GetIntervals () { return DVR_Intervalos;};

    float GetAmbient() {return Ambient;};
    float GetDiffuse() {return Diffuse;};
    float GetSpecular() {return Specular;};
    float GetSpecularPower() {return Power;};

```

```
float GetSpacing() {return Spacing;};

int GetShade () {return Shade;};
int GetVP () { return VolumePro;};

void Execute ();
void Free ();

protected:

int VolumePro;
int Shade;

float Spacing;

int Num_Intervalos;
t_DVR_Intervalos* DVR_Intervalos;

vtkStructuredPoints* SP_Volume;

vtkPiecewiseFunction* Opacity;
vtkColorTransferFunction* Color;

vtkVolumeProperty *volumeProperty;

vtkVolumeRayCastCompositeFunction *compositeFunction;

vtkVolumeRayCastMapper *volumeMapper;
vtkVolume *volume;

vtkOutlineFilter* outline;
vtkPolyDataMapper* outlineMapper;
vtkActor* outlineActor;

vtkVolumeProMapper *VolumeProMapper;
};

#endif
```

Fim doCodigo

A.5 Sound_Tool.h

Começo do Código

```

/*-----
Sound_Tool.H

Biblioteca implementada a partir de SSound, o sistema de
sonificacao de superficie desenvolvido por Minghim e Forrest

Sound Tools Library - conjunto de fun\c{c}\~{o}es de geracao e playback de
som para fornecer as ferramentas para o programa de visualizacao
-----*/

//Incluir WINMM.LIB no projeto

#ifndef __sndtool_oo_h
#define __sndtool_oo_h

#include <stdio.h>
#include <windows.h>

#include <mmsystem.h> #include <time.h> #include <conio.h>    //so
para teste

// -----
// Constantes

#define MAX_MENS 250

#define FALSE 0
#define TRUE 1

#define MIN_CHANNEL 0
#define MAX_CHANNEL 15
#define CHANNEL_DRUM 9 //rever
#define NUMBER_BENDS 127

#define MAX_TABLE 8

/*#define CHANNEL_X 1    //rever
#define CHANNEL_Y 2    //rever
#define CHANNEL_Z 3    //rever*/

```

```
#define NOTE_LOW 0
#define NOTE_HIGH 127

#define PLAY_TIME 100

#define LEFT -1
#define MIDDLE 0
#define RIGHT 1

#define DOWN -1
#define UP 1

#define OFF 0
#define ON 1

// -----
// Declaracao de tipos

// typedef int boolean;
typedef int intervaltype;

typedef struct {
    HMIDIOUT hmidiout;
    short Number_references;
    //OSType client;
    boolean AllChannels; // Verdadeiro se todos os canais estiverem
                        // tocando simultaneamente
    short Channels[MAX_CHANNEL];
    short Channel;
} global_client; //Estrutura associada com o cliente global

struct range_rec {
    long top;
    long bottom;
};

struct freqrec {
    short freq;
    short bend;
```

```

};

enum MIDImestype {
    keyoff, key_on_off, mod_wheel, foot_control, data_entry_MSB,
    volume, pan_AtoB, pan_select, fx_cont, data_entry_LSB,
    sustain_switch, reg_par_LSB, reg_par_MSB, user_control,
    prog_change, bank_select, chan_press, poly_press, pitch_bend,
    all_off, reset, t_clock, ctv_sens, s_ex, dump};

enum pantype {AB, A, B, CD, ALL};

typedef struct { // tipo de mensagem
    MIDImestype Name;
    int Value[5];
} Message;

typedef struct { // tipo de mensagem
    int Channel;
    int Value[3];
} Message2;

/*class TabSom
{
public:
    TabSom(void);

    void Preset(void);
    void User(int *);

private:
    int tab[10];
}
*/

// Classe basica de mensagens em programas MIDI
class MIDIPacket
{
public:
    MIDIPacket(void);
    DWORD GetProxMens(void);
    boolean AddMens(int,int,int);
    boolean RemoveMens(void);

```

```
private:
unsigned char flags;
unsigned char num_mes; // numero de mensagens
long tStamp;
DWORD mensagem[MAX_MENS]; // mensagens
};

class KERNEL
{
public:

KERNEL(void);

MIDIpacket *MIDIcommandSingle(Message);

boolean MIDIcommandInclude(MIDIpacket *, Message);

boolean MIDIcommandRemove(MIDIpacket *);

MIDIpacket *KERNEL::GetPacket(void);

global_client *KERNEL::GetClient(void);

boolean Initialize_MIDI(void);

boolean StartUP_MIDI(global_client *);

boolean Shut_MIDI();

boolean ShutDown_MIDI(global_client *);

boolean Get_Next_Channel(UINT cd);

boolean Get_Previous_Channel(UINT cd);

boolean Get_Specific_Channel(UINT cn);

boolean Initialize_Channel(void);

void TabSom_Preset(void);

void TabSom_User(int *);
```



```
void Play_Single_no_Bend(MIDIPacket *,
                        global_client *, Message2,
                        long int time_to_wait);

void Select_Pan(global_client *, int pan);

boolean Single_Pitch_Bend(MIDIPacket *, Message2 *);

boolean Single_Pan(MIDIPacket *, Message2 *);

boolean Single_Volume(MIDIPacket *, Message2 *);

boolean Single_Note_Channel(MIDIPacket *, Message2 *);

void Play_Single_Vol_Pan(MIDIPacket *, Message2 *,
                        long int time_to_wait);

void Play_Value_with_Volume(MIDIPacket *, Message2 *,
                            long int time_to_wait);

void Play_Drum_with_Volume(MIDIPacket *, Message2,
                            long int time_to_wait);

//-----

void JustSilence_Single(MIDIPacket *pacote, Message2 *mes,
                        long int time_to_wait);

void Select_Global_Pan(pantype);

boolean Change_Timbre_up(int n_timbres=1);

//boolean Change_Timbre(int timbre);

boolean Change_Timbre_down(int n_timbres=1);

boolean Add_Time(MIDIPacket *,
                long int time_to_wait);

//void Wait_Time(*global_client *,*/long int time_to_wait);

//friend void Play_Value_no_Bend(global_client *client,
```

```
//          Message2 *mes,float time_to_wait);
```

```
MIDIPacket *output1;
```

```
/*
```

```
   ponteiros para os canais MIDI (Rene)
```

```
*/
```

```
short CHANNEL_X;
```

```
short CHANNEL_Y;
```

```
short CHANNEL_Z;
```

```
short CHANNEL_CD;
```

```
UINT ACTUAL_CHANNEL;
```

```
private:
```

```
    void RefreshChannels();
```

```
    void ConfereCanais(short ant_canal);
```

```
protected:
```

```
    UINT ACTUAL_TABLE;
```

```
    int tab[10][MAX_CHANNEL];
```

```
};
```

```
class MULTIPLE_STREAM: public SINGLE_STREAM
```

```
{
```

```
public:
```

```
//-----
```

```
void JustPlayIt_Single(MIDIPacket *, Message2 *,
                      long int time_to_wait);
```

```
void Play_Value_on(MIDIPacket *, global_client *,
                  Message2, Message2, Message2 mes3,\
                  long int time_to_wait);
```

```
void Play_Value_off(global_client *,
                   Message2 *, long int time_to_wait);
```

```
void Play_Value_no_Bend(MIDIPacket *, global_client *,
                      Message2 *, long int time_to_wait);
```

```
void All_Notes_off(global_client *,
                  long int time_to_wait);
```

```

boolean Multiple_Pan(Message2 *);

boolean Multiple_Pitch_Bend(Message2 *);

boolean Multiple_Note_Channel(Message2 *);

void Play_Value_on_Global(MIDIPacket *,
                          Message2 *, long int time_to_wait);

void Play_Value_off_Global(Message2 *,
                           long int time_to_wait);

void begin_play(MIDIPacket *, boolean boolean_x,
                boolean boolean_y, boolean boolean_z);

void play_with_memory(MIDIPacket *,boolean boolean_x,
                     boolean boolean_y, boolean boolean_z);

void Play(MIDIPacket *,boolean boolean_x,
          boolean boolean_y, boolean boolean_z);

void JustPlayIt(MIDIPacket *,Message2 *,
                long int time_to_wait);

void JustStart(MIDIPacket *,Message2 *,
                long int time_to_wait);

void Sound_off(long int time_to_wait);

//-----
void Initialize_Memory_Play(void);
//-----

private:

int freq_x, freq_y, freq_z,      // auxiliares
    local_freq_x, local_freq_y, local_freq_z,
    mem_freq_x, mem_freq_y, mem_freq_z;
}; // class MULTIPLE_STREAM

class INITIALISATION_CALIBRATION: public MULTIPLE_STREAM,MAPPING

```

```

{
public:

boolean Initialize_Sound(void);

void Shut_Sound(void);

boolean Set_Initial_Timbre();

//void Initialize_Memory_Play(void);
// substituida por MUTIPLE_STREAM::Initialize_Memory_Play()

void Wait_Time(long int time_to_wait);

void just_wait(long int time_to_wait);

boolean SendMessage(global_client *, long int time_to_wait);

boolean MIDIWritePacket(global_client *, MIDIPacket *);

void Calibrate(global_client *, long int time_to_wait);

void Calibrate_Current_Timbre(MIDIPacket *);

}; // class INITIALISATION_CALIBRATION
'

#endif//__sndtool_oo_h

```

Fim do Codigo

A.6 SV_Sound_Kernel.h

Começo do Codigo

```

#ifndef __sv_sound_kernel_h__
#define __sv_sound_kernel_h__

#include "Sound_Tool.h"
#include "SV_Kernel.h"
#include "Bank_c.hh"

class SV_Visual;

```

```

class SV_Sound
{
public:

    Sound::IDL_Sound_ptr iDL_Sound;

    // Definicao dos metodos
    SV_Sound ();
    ~SV_Sound ();

    void SetIDL_Sound(Bank::Account_ptr _ptr);

    virtual void SetIncrementP ( float ) {};
    virtual void SetIncrementA ( int* ) {};

    void Start_MIDI (INITIALISATION_CALIBRATION* Previous_midi );
    void Start_MIDI ();
    void Stop_MIDI ();

    void Set_Pitch ( int Min_F, int Max_F );
    void Set_Timbre (int Timbre);

    void Set_Sender ( SV_Visual* S ) { Sender = S; };

protected:
    //-----
    // Variaveis Gerais
    //-----

    SV_Visual* Sender;

    int Visualization;

    int Min_Freq;
    int Max_Freq;
    int Timbre;

    int DSound;
    int DeleteMIDI;

    INITIALISATION_CALIBRATION* midi;

```

```
};
```

```
#endif
```

Fim doCodigo

A.7 SV_Sound_Coord.h

Começo doCodigo

```
#ifndef __sv_sound_coord_h__
```

```
#define __sv_sound_coord_h__
```

```
#include "SV_Sound_Kernel.h"
```

```
#include "SV_Interactor_Coord.h"
```

```
#include "vtkVolumeProMapper.h"
```

```
class SV_Sound_Coord : public SV_Sound
{
```

```
#ifndef __sv_sound_coord_h__
```

```
#define __sv_sound_coord_h__
```

```
#include "SV_Sound_Kernel.h"
```

```
#include "SV_Interactor_Coord.h"
```

```
#include "vtkVolumeProMapper.h"
```

```
class SV_Sound_Coord : public SV_Sound
{
```

```
public:
```

```
    // Definicao dos metodos
```

```
    SV_Sound_Coord ();
```

```
    ~SV_Sound_Coord ();
```

```
    void Start(int Visual);
```

```
    void Sonify ();
```

```
    void SetIncrementP (float);
```

```
    void SetIncrementA (int *);
```

```
    void Move_SubVolume (int Axe);
```

```

void Set_Parameters ( int Method, int Axe );

void Coord_Sonification      (int, int);
void MaxValue_Sonification  (int, int, int* );
void MinValue_Sonification  (int, int, int* );
void DMaxValue_Sonification (int, int, int* );
void DMinValue_Sonification (int, int, int* );

private:

SV_Interactor_Coord* Interactor_Coord;

// Parametros de Visualizacao

vtkStructuredPointsSubVolume* Coord_SubVolume;
vtkOutlineFilter* Sub_Outline;
vtkPolyDataMapper* Sub_OutlineMapper;
vtkActor* Sub_OutlineActor;

int Sonification_Method;
int Sonified_Axe;

int Increment[3];

};

#endif
};

#endif

```

Fim doCodigo

A.8 SV_Sound_Probe.h

Começo doCodigo

```

#ifndef __sv_sound_probe_h__
#define __sv_sound_probe_h__

#include "SV_Sound_Kernel.h"

```

```
#include "SV_Interactor_Probe.h"

class SV_Visual_Iso;
class SV_Visual_DVR;

class SV_Sound_Probe : public SV_Sound
{
public:

    // Definicao dos metodos
    SV_Sound_Probe ();
    ~SV_Sound_Probe ();

    vtkStructuredPoints* Start(int, int&);
    void Sonify ();
    void New_Window ();
    void SetNewSub ();

    void SetIncrementP ( float );
    void SetIncrementA ( int* );

    void RaiseIncrement ();
    void LowIncrement ();

    void Set_Parameters ( int Method, int Num, float* Values );
    void Set_Parameters ( int Method );

    void Move_Probe_Right ();
    void Size_Probe_Right ();
    void Move_Probe_Left ();
    void Size_Probe_Left ();

    void Move_Probe_Up ();
    void Size_Probe_Up ();
    void Move_Probe_Down ();
    void Size_Probe_Down ();

    void Move_Probe_In ();
    void Size_Probe_In ();
    void Move_Probe_Out ();
    void Size_Probe_Out ();
```



```
private:

void Values_Sonification ();

void PopDens_Sonification ();
void DPopDens_Sonification ();

int Conta_Triangulos ( float*, float );

int Posicao(int *, int i, int j, int k);

SV_Interactor_Probe* Interactor_Probe;

// Parametros de Visualizacao

vtkOutlineFilter* Probe_Outline;
vtkPolyDataMapper* Probe_OutlineMapper;
vtkActor* Probe_OutlineActor;

int Probe_Position[3];
int Probe_Size[3];

int Increment;

int Case_Table[8];
int Scores[9];

vtkStructuredPointsSubVolume* Probe_SubVolume;

int Sonification_Method;

int Number_Values;
float* Sonified_Values;

SV_Visual_Iso* New_Module;
SV_Visual_DVR* New_ModuleDVR;

int NewSub;
int NewSubRecursive;
vtkStructuredPoints* New_SubVolume;

int Visualization;
```

```
};
```

```
#endif
```

Fim doCodigo

A.9 SV_Sound_Grid.h

Começo doCodigo

```
#ifndef __sv_sound_grid_h__
```

```
#define __sv_sound_grid_h__
```

```
#include "SV_Sound_Kernel.h"
```

```
#include "SV_Interactor_Grid.h"
```

```
#include "vtkProjectionFilter.h"
```

```
class SV_Sound_Grid : public SV_Sound
```

```
{
```

```
    public:
```

```
        // Definicao dos metodos
```

```
        SV_Sound_Grid ();
```

```
        ~SV_Sound_Grid ();
```

```
        void Start();
```

```
        void Sonify (int X, int Y);
```

```
        void Grid_Sonification (int X, int Y);
```

```
        void DGrid_Sonification (int X, int Y);
```

```
        void Render_Projection ();
```

```
        void Inicializa();
```

```
        void Set_Parameters ( int Method );
```

```
        void Set_Parameters ( int Method, int Num, float* Values );
```

```
    private:
```

```
    SV_Interactor_Grid* Interactor_Grid;
```

```
// Variaveis da Projecao

vtkProjectionFilter** Projecao;

vtkLookupTable** Lut;
t_IsoSuperficie* IsoSurf;

vtkContourFilter** ContFilter_P;
vtkPolyDataMapper** PD_Mapper_P;
vtkActor** Actor_P;

vtkRenderer* Renderer_P;
vtkRenderWindow* RenWin_P;

vtkLineSource** Malha_Line_h;
vtkLineSource** Malha_Line_v;

vtkDataSetMapper** MalhaM_Line_v;
vtkDataSetMapper** MalhaM_Line_h;

vtkActor** MalhaA_Line_v;
vtkActor** MalhaA_Line_h;

// -----

int Sonification_Method;
int Number_Values;
float* Sonification_Values;

// Variaveis de calculo de sonificacao

int Ponto_Origem[2];
int Ponto_Fim[2];
int Window_Size[2];
float xRange, yRange, zRange;

int xPos, yPos, zPos, Point_id;

float Scalar;

};
```

```
#endif
```

Fim do Codigo

A.10 SV_Interactor_Kernel.h

Começo do Codigo

```
#ifndef __sv_interactor_kernel_h__
#define __sv_interactor_kernel_h__

#include "vtkStructuredPointsSubVolume.h"
#include <vtkWin32RenderWindowInteractor.h>

#include "vtkInteractorStyle.h"
#include "vtkActor.h"
#include "vtkObjectFactory.h"

class SV_Interactor : public vtkWin32RenderWindowInteractor
{
public:

    // Description:
    static SV_Interactor *New ();

    virtual void PrintSelf(ostream& os, vtkIndent indent);

    // Description:
    // Various methods that a Win32 window can redirect to this class to be
    // handled.
    virtual void OnMouseMove (HWND wnd, UINT nFlags, int X, int Y);
    virtual void OnRButtonDown(HWND wnd, UINT nFlags, int X, int Y);
    virtual void OnRButtonUp (HWND wnd, UINT nFlags, int X, int Y);
    virtual void OnMButtonDown(HWND wnd, UINT nFlags, int X, int Y);
    virtual void OnMButtonUp (HWND wnd, UINT nFlags, int X, int Y);
    virtual void OnLButtonDown(HWND wnd, UINT nFlags, int X, int Y);
    virtual void OnLButtonUp (HWND wnd, UINT nFlags, int X, int Y);
    virtual void OnSize (HWND wnd, UINT nType, int X, int Y);
    virtual void OnTimer (HWND wnd, UINT nIDEvent);
    virtual void OnChar (HWND wnd, UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags);
    //ETX
}
```

```

protected:

    HWND    WindowId;
    UINT    TimerId;
    WNDPROC OldProc;
    int     InstallMessageProc;

};

#endif

```

Fim doCodigo

A.11 SV_Interactor_Coord.h

Começo doCodigo

```

#ifndef __sv_interactor_coord_h__
#define __sv_interactor_coord_h__

#include "SV_Interactor_Kernel.h"

class SV_Sound_Coord;

class SV_Interactor_Coord : public SV_Interactor
{
public:

    SV_Interactor_Coord () { User_Control = 0; };

    static SV_Interactor_Coord *New ();
    void Set_Sender (SV_Sound_Coord* S) { Sender = S; };
    void OnChar      (HWND wnd, UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags);

private:

    SV_Sound_Coord* Sender;
    int User_Control;
};

#endif

```

Fim doCodigo

A.12 SV_Interactor_Probe.h

Começo do Código

```
#ifndef __sv_interactor_probe_h__
#define __sv_interactor_probe_h__

#include "SV_Interactor_Kernel.h"

class SV_Sound_Probe;

class SV_Interactor_Probe : public SV_Interactor
{
public:

    SV_Interactor_Probe () { User_Control = 0; };

    static SV_Interactor_Probe *New ();
    void Set_Sender (SV_Sound_Probe* S) { Sender = S; };
    void OnChar      (HWND wnd, UINT nChar, UINT nRepCnt, UINT nFlags);

private:

    SV_Sound_Probe* Sender;
    int User_Control;
    bool Move;

};

#endif
```

Fim do Código

A.13 SV_Interactor_Grid.h

Começo do Código

```
#ifndef __sv_interactor_grid_h__
#define __sv_interactor_grid_h__

#include "SV_Interactor_Kernel.h"
```

```

class SV_Sound_Grid;

class SV_Interactor_Grid : public SV_Interactor
{
    public:

        static SV_Interactor_Grid *New ();
        SV_Interactor_Grid ();
        void Set_Sender (SV_Sound_Grid* S) { Sender = S; };

        void OnMouseMove(HWND wnd, UINT nFlags,int X, int Y);
        void OnLButtonDown(HWND wnd,UINT nFlags,int X, int Y);
        void OnLButtonUp(HWND wnd,UINT nFlags,int X, int Y);

    private:

        SV_Sound_Grid* Sender;
        int Button;

};

#endif

```

Fim doCodigo

A.14 VKThread.h

Começo doCodigo

```

/* DO NOT EDIT THIS FILE - it is machine generated */
#include <jni.h>
/* Header for class VKThread */

#ifndef _Included_VKThread
#define _Included_VKThread
#ifdef __cplusplus
extern "C" {
#endif
/* Inaccessible static: threadInitNumber */
/* Inaccessible static: stopThreadPermission */
#undef VKThread_MIN_PRIORITY
#define VKThread_MIN_PRIORITY 1L

```

```
#undef VTKThread_NORM_PRIORITY
#define VTKThread_NORM_PRIORITY 5L
#undef VTKThread_MAX_PRIORITY
#define VTKThread_MAX_PRIORITY 10L

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     SetDVisual
 * Signature:  (I)V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetDVisual
    (JNIEnv *, jobject, jint);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     SetDSound
 * Signature:  (I)V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetDSound
    (JNIEnv *, jobject, jint);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     OpenFile
 * Signature:  (Ljava/lang/String;)V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_OpenFile
    (JNIEnv *, jobject, jstring);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     OpenFile
 * Signature:  (Ljava/lang/String;)V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SaveFile
    (JNIEnv *, jobject, jstring);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     SetIsoParameters
 * Signature:  (I[F)V
 */
```



```
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetIsoParameters
    (JNIEnv *, jobject, jint, jfloatArray);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     SetDVRParameters
 * Signature:  (I[FI)V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetDVRParameters
    (JNIEnv *, jobject, jint, jfloatArray, jfloat,
     jfloat , jfloat , jfloat , jfloat , jint , jint );

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     RenderIso
 * Signature:  ()V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_RenderIso
    (JNIEnv *, jobject);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     RenderDVR
 * Signature:  ()V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_RenderDVR
    (JNIEnv *, jobject);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     RenderIsoSound
 * Signature:  ()V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_RenderIsoSound
    (JNIEnv *, jobject);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     RenderDVRSound
 * Signature:  ()V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_RenderDVRSound
    (JNIEnv *, jobject);
```

```
/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     SetSoundParameters
 * Signature:  (IIIII)V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetSoundParameters
    (JNIEnv *, jobject, jint, jint, jint);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     SetSoundCoordParameters
 * Signature:  (I)V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetSoundCoordParameters
    (JNIEnv *, jobject, jint, jint);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     SetSoundProbeParameters
 * Signature:  (I[F)V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetSoundProbeParameters
    (JNIEnv *, jobject, jint, jint, jfloatArray);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     SetSoundGridParameters
 * Signature:  (I[F)V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetSoundGridParameters
    (JNIEnv *, jobject, jint, jint, jfloatArray);

/*
 * Class:      VTKThread
 * Method:     SetSoundProbe
 * Signature:  ()V
 */
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetSoundProbe
    (JNIEnv *, jobject, jint);

/*
 * Class:      VTKThread
```

```
* Method:    SetSoundGrid
* Signature: ()V
*/
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetSoundGrid
    (JNIEnv *, jobject, jint);

/*
* Class:      VTKThread
* Method:      RestoreData
* Signature: ()V
*/
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_RestoreData
    (JNIEnv *, jobject);

/*
* Class:      VTKThread
* Method:      SetCoordIncrementP
* Signature: (F)V
*/
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetCoordIncrementP
    (JNIEnv *, jobject, jfloat);

/*
* Class:      VTKThread
* Method:      SetCoordIncrementA
* Signature: ([I)V
*/
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetCoordIncrementA
    (JNIEnv *, jobject, jintArray);

/*
* Class:      VTKThread
* Method:      SetProbeIncrementP
* Signature: (F)V
*/
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetProbeIncrementP
    (JNIEnv *, jobject, jfloat);

/*
* Class:      VTKThread
* Method:      SetProbeIncrementA
* Signature: ([I)V
*/
```

```
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetProbeIncrementA
    (JNIEnv *, jobject, jintArray);
```

```
/*
```

```
 * Class:      VTKThread
 * Method:     SetBackGround
 * Signature:  ([I)V
 */
```

```
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetBackGround
    (JNIEnv *, jobject, jintArray);
```

```
/*
```

```
 * Class:      VTKThread
 * Method:     SetBackGroundDVR
 * Signature:  ([I)V
 */
```

```
JNIEXPORT void JNICALL Java_VTKThread_SetBackGroundDVR
    (JNIEnv *, jobject, jintArray);
```

```
void Execute_Sonification (int);
```

```
void StartServers ();
```

```
#ifdef __cplusplus
```

```
}
```

```
#endif
```

```
#endif
```

Fim do Codigo

A.15 Vizualization.idl

Começo do Codigo

```
module Visual {
    interface Visualization {
        void SetFile(in string file, in long size_file);
        void SetContour(in short i, in float IsoSurface);
        long GetSize ();
        string GetString ();
    };
};
```

Fim doCodigo

A.16 Sound.idl

Começo doCodigo

```
module Sound {

    struct Pontos {
        short Ponto_Origem[2];
        short Ponto_Fim[2];
    };

    struct Range {
        float xRange;
        float yRange;
        float zRange;
    };

    struct Posicao {
        short xPos;
        short yPos;
        short zPos;
    };

    interface IDL_Sound {

        //metodo para setar o arquivo a ser usado para calculos
        void SetFile(in long size_file, in string file);

        //metodos para sonificacao de coordenadas
        short CoordSonification(in short coord, in short dimensao,
            in short max_freq, in short min_freq);
        short MaxSonification(in short c_axe, in short coord,
            in short max_freq, in short min_freq);
        short MinSonification(in short c_axe, in short coord,
            in short max_freq, in short min_freq);

        //metodo para sonificacao da malha
        void GridSonification(in short x, in short y,
            inout pontos p, inout range r, inout posicao pos);
    };
};
```

```

float PointID(in posicao pos);

//calcula a frequencia
short ScalarValue(in float scalar, in float max_scalar,
                  in float min_scalar, in short max_freq, in short min_freq);

//metodo para sonificacao da sonda

void SetNumValues(in short n);
void SetValues(in float value, in short ind);
short PopDensSonification(in short probe_positionx,
                          in short probe_positiony, in short probe_positionz,
                          in short probe_size_x, in short probe_size_y,
                          in short probe_size_z, in short sonification_method,
                          in short max_freq, in short min_freq);

short ValuesSonification(in short probe_positionx,
                         in short probe_positiony, in short probe_positionz,
                         in short probe_size_x, in short probe_size_y,
                         in short probe_size_z, in short max_freq, in short min_freq);

};

};

```

Fim do Codigo

A.17 VizualizationImpl.h

Começo do Codigo

```

//-----
#ifdef __VisualizationServerH
#define __VisualizationServerH

#include "vtk.h"
#include "Visualization_s.hh"

//-----
class VisualizationImpl: public POA_Visual::Visualization
{
    char* filestr;
    char* returnstr;

```

```

    int Dim[3];
    vtkStructuredPointsReader* readerstring;

protected:
public:
    void SetContour(CORBA::Short i, CORBA::Float IsoSurface);
    void SetFile(const char* file, CORBA::Long size_file);
    char* GetString();
    CORBA::Long GetSize();
};
#endif

```

Fim doCodigo

A.18 SoundImpl.h

Começo doCodigo

```

#include "Sound_s.hh"
#include "vtk.h"

#ifndef _Sound_Impl_
#define _Sound_Impl_

// USE_STD_NS is a define setup by VisiBroker to use the std namespace
USE_STD_NS

class SoundImpl : public POA_Sound::IDL_Sound
{
    char* filestr;
    int Dim[3];
    vtkStructuredPointsReader *readerstring;
    float* Sonified_Values;
    int Num_values;
    int Case_Table[8];
    int Scores[9];
    void Start();
    int Conta_Triangulos ( float* , float );
    int Posicao(int * , int , int , int );

public:

```

```
CORBA::Float balance();

CORBA::Short CoordSonification(CORBA::Short Coord,
    CORBA::Short Dimensao, CORBA::Short Max_Freq,
    CORBA::Short Min_Freq);

void SetFile (CORBA::Long size_file, const char* file );

CORBA::Float CalculaFreqSonda(CORBA::Float Freq,
    CORBA::Float Max_Freq, CORBA::Float Min_Freq);

CORBA::Float CalculaSomCoordenada(CORBA::Float Coord,
    CORBA::Float Dimensao,
    CORBA::Float Max_Freq, CORBA::Float Min_Freq);

CORBA::Float CalculaSomValorMaxMin(CORBA::Float max_min,
    CORBA::Float Max_Scalar, CORBA::Float Min_Scalar,
    CORBA::Float Max_Freq, CORBA::Float Min_Freq);

CORBA::Short CalculaFreqMalha(CORBA::Float Scalar,
    CORBA::Float Min_Scalar, CORBA::Float Max_Scalar,
    CORBA::Float Min_Freq, CORBA::Float Max_Freq);

CORBA::Short MaxSonification(CORBA::Short C_Axe,
    CORBA::Short coord,
    CORBA::Short Max_Freq, CORBA::Short Min_Freq);

CORBA::Short MinSonification(CORBA::Short C_Axe,
    CORBA::Short coord,
    CORBA::Short Max_Freq, CORBA::Short Min_Freq);

void GridSonification(CORBA::Short X, CORBA::Short Y,
    Bank::Pontos& P,
    Bank::Range& R, Bank::Posicao& pos);

CORBA::Short ScalarValue(CORBA::Float scalar, CORBA::Float Max_Scalar,
    CORBA::Float Min_Scalar, CORBA::Short Max_Freq,
    CORBA::Short Min_Freq);

CORBA::Float PointID(const Bank::Posicao& pos);

CORBA::Short PopDensSonification(CORBA::Short probe_positionX,
```



```

        CORBA::Short probe_positionY, CORBA::Short probe_positionZ,
        CORBA::Short probe_sizeX, CORBA::Short probe_sizeY,
        CORBA::Short probe_sizeZ, CORBA::Short Sonification_Method,
        CORBA::Short Max_Freq, CORBA::Short Min_Freq);

void SetNumValues(CORBA::Short N);

void SetValues(CORBA::Float value, CORBA::Short ind);

CORBA::Short ValuesSonification(CORBA::Short probe_positionX,
        CORBA::Short probe_positionY, CORBA::Short probe_positionZ,
        CORBA::Short probe_sizeX, CORBA::Short probe_sizeY,
        CORBA::Short probe_sizeZ, CORBA::Short Max_Freq,
        CORBA::Short Min_Freq);
};

#endif

```

Fim do Codigo

A.19 ClientVizualizationObj.h

Começo do Codigo

```

#include "Visualization_c.hh"

class VisualClientObj
{
    Visual::Visualization_var vis;

public :

    VisualClientObj ()
    {
        // Obter o ID
        PortableServer::ObjectId_var managerId =
            PortableServer::string_to_ObjectId("VisualManager");

        // Localizar o servidor - Passa o nome completo do agente POA
        // e o ID do servidor
        vis=
            Visual::Visualization::_bind("/visual_agent_poa", managerId);
    }
};

```

```
}  
  
Visual::Visualization_var GetID () { return vis;};  
};
```

Fim doCodigo

A.20 ClientSoundObj.h

Começo doCodigo

```
#include "Sound_c.hh"  
  
class ClientObj  
{  
    Sound::IDL_Sound_var account;  
  
public :  
  
    ClientObj ()  
    {  
        // Obter o ID  
        PortableServer::ObjectId_var managerId =  
            PortableServer::string_to_ObjectId("SoundManager");  
  
        // Localizar o servidor - Passa o nome completo do agente POA  
        // e o ID do servidor  
        sound=  
            Sound::IDL_Sound::_bind("/sound_agent_poa", managerId);  
    }  
  
    Sound::IDL_Sound_var GetID () { return sound;};  
};
```

Fim doCodigo