

Ruben Gómez Díaz

**Uma Compressão Simples
para Malhas Irregulares com
Alças**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
MECÂNICA**

**Programa de Pós-graduação em
Engenharia Mecânica**

Rio de Janeiro
julho de 2004



Ruben Gómez Díaz

**Uma Compressão Simples para Malhas
Irregulares com Alças**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de
Engenharia Mecânica da PUC-Rio

Orientador: Prof. Marcelo de Andrade Dreux
Co-Orientador: Prof. Hélio Cortes Vieira Lopes

Rio de Janeiro
julho de 2004



Ruben Gómez Díaz

Uma Compressão Simples para Malhas Irregulares com Alças

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Marcelo de Andrade Dreux

Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica — PUC-Rio

Prof. Hélio Cortes Vieira Lopes

Co-Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica — PUC-Rio

Prof. Bruno Feijó

Departamento de Informática – PUC-Rio

Prof. Eduardo Antonio Barros da Silva

Departamento Engenharia Elétrica – COPPE-RJ

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico —
PUC-Rio

Rio de Janeiro, 6 de julho de 2004

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Ruben Gómez Díaz

Graduou-se em Ciência da Computação na UFU - Universidade Federal de Ubêrlandia. Especializou-se na Universidade Federal de Ubêrlandia em Redes de Computadores. Durante o Mestrado foi bolsista da CNPQ. Desenvolveu com seus orientadores durante o Mestrado uma extensão do algoritmo de compressão *EdgeBreaker* para superfícies compostas por triângulos e/ou quadrângulos, com ou sem gênus.

Ficha Catalográfica

Díaz, Ruben Gómez

Uma compressão simples para malhas irregulares com alças / Ruben Gómez Díaz; orientador: Marcelo de Andrade Dreux; co-orientador: Hélio Cortes Vieira Lopes. — Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Mecânica, 2004.

127 f. : il. ; 30 cm

1. Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia mecânica – Teses. 2. Compressão geométrica. 3. Modelagem geométrica 4. Computação gráfica. 5. Visualização científica. I. Dreux, Marcelo de Andrade. II. Lopes, Hélio Cortes Vieira. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Mecânica. IV. Título.

CDD: 621

Agradeço primeiramente à Deus, e aos meus amados pais Gabino Gómez e Máxima Díaz pelo apoio incondicional, confiança e por estarem sempre presentes na minha vida. Obrigado por tudo.

Ao meu irmão Yno por sempre acreditar em mim.

Agradecimentos

Ao meu orientador Professor Marcelo de Andrade Dreux pelo seu apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu co-orientador Professor Hélio Lopes pelo apoio constante, sugestões e críticas no desenvolvimento dos algoritmos computacionais apresentados neste trabalho.

Ao CNPQ e à universidade PUC-Rio, pelos auxílios concedidos sem os quais não teria sido possível desenvolver este trabalho.

Ao Laboratório de CAD Inteligente (ICAD) pelo espaço cedido.

A todo o pessoal do ICAD pela amizade, ajuda e apoio assim como também os grandes e maravilhosos momentos compartilhados.

Aos professores integrantes da comissão examinadora.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Mecânica.

A minha família, especialmente meus pais que sempre estão presentes no meu caminhar.

Resumo

Díaz, Ruben Gómez; Dreux, Marcelo de Andrade; Lopes, Hélio Cortes Vieira. **Uma Compressão Simples para Malhas Irregulares com Alças**. Rio de Janeiro, 2004. 127p. Dissertação de Mestrado — Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Muitas são as aplicações onde se faz necessário transmitir modelos 3D via Internet. Entre eles merece destaque o compartilhamento de dados entre ambientes colaborativos situados em diferentes localidades. Este compartilhamento permite a sua análise e visualização, porém restrições de largura de banda da rede (*Internet/Intranet*) assim como o custo de armazenamento limitam a complexidade do modelo a ser transmitido/armazenado.

As malhas geométricas são utilizadas em diferentes áreas da computação gráfica e visualização científica, como exemplos podem se citar elementos finitos os quais são utilizados em modelos CAD, jogos, modelagem de terrenos, geometria computacional entre outros.

Devido à grande complexidade das malhas, estas são processadas por meios computacionais usando alguma estrutura de dados que represente da melhor forma o modelo em questão. A principal motivação deste trabalho é verificar a viabilidade do uso de uma nova estrutura de dados para representar e comprimir malhas irregulares (triângulos e quadrângulos). Nesta nova abordagem será apresentada a estrutura de dados *CHalfEdge*. Ela usa os conceitos e idéias da representação *HalfEdge* e esta por sua vez possui um baixo custo de armazenamento e mantém um alto poder de expressão.

Neste trabalho é desenvolvido também um algoritmo de compressão de malhas triangulares e/ou quadrangulares com suporte a alças. Este novo algoritmo proposto é uma extensão da compressão de malhas triangulares *EdgeBreaker*.

Palavras-chave

Compressão Geométrica, Modelagem Geométrica, Computação Gráfica, Visualização Científica.

Abstract

Díaz, Ruben Gómez; Dreux, Marcelo de Andrade; Lopes, Hélio Cortes Vieira. **A Simple Compression for Irregular Meshes with Handles**. Rio de Janeiro, 2004. 127p. MSc. Dissertation — Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Many applications need to transmit 3D models over the Internet, among those data sharing between collaborative environments situated in different locations. Those data sharing aim to analyze and visualize them but bandwidth constraints and storage costs limit the complexity of models than can be transmitted/stored.

Polygonal meshes are used in different areas of Computer Graphics and Scientific Visualization. For instance, finite elements and boundary representations are used in CAD models, games, terrain modelling, etc.

Due the great complexity of those meshes, they must be represented by a specific data structure that suits them. The main motivation of this work is to verify the feasibility of the use of a new data structure to represent and to compress irregular meshes (triangles and quads). It is introduced the *CHalfEdge* data structure based on the ideas of the *HalfEdge* data structure, which are used to represent models by boundary representation.

In this work it is also proposed a new algorithm to compress and decompress irregular meshes with genus, this new algorithm is an extension of the EdgeBreaker compression for regular meshes.

Keywords

Geometric Compression, Geometric Modelling, Computer Graphics, Scientific Visualization.

Conteúdo

1	Introdução	15
1.1	Trabalhos Anteriores	17
1.1.1	Estrutura de Dados Topológicas	17
1.1.2	Compressão Geométrica	18
1.2	Contribuições	19
1.3	Organização da Dissertação	19
2	Conceitos básicos de topologia	20
2.1	Topologia combinatória	20
2.2	Teoria das Alças	25
2.3	Operadores de Alças	28
2.3.1	Operador de Alça do tipo 0	29
2.3.2	Operador de Alças do tipo 1	29
2.3.3	Operador de Alças do tipo 2	30
2.3.4	Operador de <i>Zip</i>	30
2.3.5	Operadores Inversos de Alças	31
2.4	Conclusão	32
3	Uma Representação Econômica de Malhas Irregulares	33
3.1	Representação <i>CHalfEdge</i>	33
3.2	A classe <i>CHalfEdge</i>	37
3.2.1	Os construtores e o destrutor	37
3.2.2	Implementação dos métodos	38
3.3	Relações de Incidências e Adjacências	42
3.3.1	Vizinhança de um Vértice	43
3.3.2	Vizinhança de uma Aresta	44
3.3.3	Vizinhança de uma Face	44
3.4	Estrutura de Arquivo dos Modelos 3D	45
3.5	Construção da Tabela M	48
3.6	Conclusão	49
4	Compressão de Malhas Irregulares	51
4.1	Compressão <i>EdgeBreaker</i>	51
4.2	Extensão do <i>EdgeBreaker</i> para Quadrângulos	54
4.3	Codificação para superfícies irregulares	56
4.4	Compressão de superfícies irregulares com gênero	57
4.4.1	Inicialização da Compressão	57
4.4.2	A Compressão	62
4.4.3	Compressão de Triângulo	64
4.4.4	Compressão de Quadrângulo	67
4.5	Ilustração do algoritmo	70
4.5.1	Exemplo 1: Uma pirâmide com base quadrangular	70
4.5.2	Exemplo 2: Um toro	75

4.5.3	Análise do algoritmo	77
4.6	Conclusão	79
5	Descompressão de Malhas Irregulares	80
5.1	Descompressão Edgebreaker	80
5.2	Decomposição de HandleBody do EdgeBreaker	82
5.3	Descompressão de superfícies irregulares com gênero	85
5.3.1	Inicialização da Descompressão	85
5.3.2	A Descompressão	88
5.3.3	Descompressão de Triângulo	91
5.3.4	Descompressão de Quadrângulos	93
5.4	Ilustração do algoritmo	97
5.4.1	Exemplo 1: Uma pirâmide com base quadrangular	97
5.4.2	Exemplo 2: Um toro	104
6	Resultados	106
6.1	Interface do Programa Desenvolvido	106
6.2	Custo da Codificação por Vértice	110
6.3	Frequência dos <i>labels</i> na Compressão	112
6.4	Malhas utilizadas	114
7	Conclusões e Trabalhos Futuros	123

Lista de Figuras

1.1	Compressão e Transmissão de Dados.	15
1.2	Malha de elementos finitos.	16
2.1	Faces de uma célula.	21
2.2	Células propriamente ligadas.	21
2.3	Células imprpropriamente ligadas.	22
2.4	Um exemplo de superfície	23
2.5	Uma superfície orientável	24
2.6	Diferentes tipos de alças para superfícies.	26
2.7	Decomposição de um toro	27
2.8	Operador de Alças do tipo 0 (constructor de superficies)	29
2.9	Operador de Alças do tipo 1	30
2.10	Operador de Alças do tipo 2	31
2.11	Operador de Zip	31
3.1	Representação válida de uma superfície na <i>CHalfEdge</i>	34
3.2	<i>Semi-arestas</i> simétricas	36
3.3	Tabelas da Estrutura de Dados <i>CHalfEdge</i>	36
3.4	A estrela de um vértice.	43
3.5	Modelo de dados de entrada.	45
4.1	A codificação do <i>EdgeBreaker</i>	53
4.2	Na árvore TST(Triangle Spanning Tree), cada <i>label</i> S introduz um novo ramo e cada <i>label</i> E fecha o ramo.	53
4.3	Divisão de um quadrângulo em dois triângulos.	55
4.4	Processo de compressão iniciando com um <i>label</i> do tipo C.	55
4.5	Exemplo de uma pirâmide de base quadrangular.	70
4.6	Tabelas da Estrutura de Dados <i>CHalfEdge</i>	70
4.7	Início da compressão.	71
4.8	Codificação do segundo triângulo da pirâmide.	72
4.9	Codificação do primeiro triângulo do quadrângulo da pirâmide.	72
4.10	Codificação do segundo triângulo do quadrângulo da pirâmide.	73
4.11	Codificação do terceiro triângulo da pirâmide.	73
4.12	Codificação do ultimo triângulo da pirâmide.	74
4.13	Exemplo de um toro e sua malha irregular.	75
4.14	Alguns estágios da compressão de um toro.	75
4.15	Seqüência de CLERS na compressão de um toro com malha irregular.	76
4.16	Estrutura do arquivo de saída Fgeometry.	76
4.17	Estrutura do arquivo de saída Fclers.	77
4.18	Estrutura do arquivo de saída Fhandles.	77
4.19	Compressão no grafo dual e primal.	78
5.1	Orientação das arestas no processo Wrap&Zip.	81
5.2	Exemplo de uma pirâmide de base quadrangular.	97

5.3	Tabelas V e M da pirâmide a ser reconstruída.	98
5.4	Tabelas V e M depois da leitura e reconstrução da primeira face da pirâmide.	99
5.5	Tabelas V e M depois da decodificação do primeiro elemento da seqüência de CLERS.	99
5.6	Tabelas V e M depois da decodificação da seqüência <i>CcR</i> de CLERS.	100
5.7	Tabelas V e M depois da decodificação da seqüência <i>CcRR</i> de CLERS.	101
5.8	Malha da pirâmide após a decodificação da seqüência <i>CcRRE</i> de CLERS.	101
5.9	Tabelas V e M após o processo de Wrap.	102
5.10	Malha da pirâmide após a decodificação completa.	103
5.11	Tabelas V e M após a descompressão.	103
5.12	Exemplo de um toro e sua malha irregular.	104
5.13	Decodificação de um torus antes de passar pelo processo de Zip.	105
5.14	Alguns passos do processo de Zip.	105
6.1	Opções do programa implementado.	107
6.2	Interface2 do programa implementado.	107
6.3	Textura triângulo de início.	108
6.4	Textura triângulo do tipo C.	108
6.5	Textura triângulo do tipo R.	108
6.6	Textura triângulo do tipo L.	108
6.7	Textura triângulo do tipo S.	108
6.8	Textura triângulo do tipo E.	108
6.9	Textura quadrângulo de início.	109
6.10	Textura triângulo do tipo c.	109
6.11	Textura triângulo do tipo l.	109
6.12	Textura triângulo do tipo s.	109
6.13	Bunny (9672 faces triangulares).	114
6.14	Bunny (9672 faces triangulares, com a codificação CLERS).	114
6.15	Cow (5804 faces triangulares).	115
6.16	Cow (5804 faces triangulares, com a codificação CLERS).	115
6.17	Sphere (100 faces triangulares, 2450 faces quadrangulares).	116
6.18	Sphere (100 faces triangulares, 2450 faces quadrangulares, com a codificação CLERS.).	116
6.19	Blooby (84880 faces triangulares e gênero = 6).	117
6.20	Blooby (84880 faces triangulares, com a codificação CLERS).	117
6.21	Star (60 faces triangulares, 180 faces quadrangulares).	118
6.22	Star (60 faces triangulares, 180 faces quadrangulares, com a codificação CLERS).	118
6.23	Fandisk (6475 faces triangulares).	119
6.24	Fandisk (6475 faces triangulares, com a codificação CLERS).	119
6.25	Knot (1996 faces quadrangulares).	120
6.26	Knot (1996 faces quadrangulares, com a codificação CLERS).	120
6.27	Cad1 (8688 faces triangulares e 8027 faces quadrangulares, gênero = 9).	121

6.28	Cad1 (8688 faces triangulares e 8027 faces quadrangulares, com a codificação CLERS).	121
6.29	Cad3 (6418 faces triangulares e 2014 faces quadrangulares, gênero = 5).	122
6.30	Cad3 (6418 faces triangulares e 2014 faces quadrangulares, com a codificação CLERS).	122
7.1	Malha com componentes conexas.	124

Lista de Tabelas

6.1	Modelos utilizados	112
6.2	Frequência de ocorrência de CLERS para triângulos.	113
6.3	Frequência de ocorrência de CLERS para triângulos e quadrângulos.	113

Lista de Algoritmos

1	Classe CHalfEdge.	37
2	Construtores da classe CHalfEdge.	38
3	Construtores da classe CHalfEdge.	38
4	Destrutor da classe CHalfEdge.	38
5	Semi-aresta sucessora.	39
6	Semi-arestas antecessora.	39
7	Tipo de face de uma semi-aresta.	39
8	Índice de um triângulo.	40
9	Índice de um quadrângulo.	40
10	Índice de uma face.	40
11	Número de triângulos.	40
12	Número de quadrângulos.	41
13	Número de vértices.	41
14	Acesso a tabela M.	41
15	Acesso a tabela V	41
16	Acesso a tabela G.	41
17	Vizinhança de um vértice.	44
18	Vizinhança de uma face.	45
19	Leitura de dados.	47
20	Construção da tabela M.	49
21	Iniciação do modulo de Compressão WriteEB.	59
22	Sub-módulo 1 da Compressão WriteEB.	60
23	Sub-módulo 2 da Compressão WriteEB.	61
24	Sub-módulo 3 da Compressão WriteEB.	61
25	Modulo Geral para Compressão de Malhas Irregulares.	63
26	Módulo de compressão para triângulos.	65
27	Sub-módulo de codificação de triângulos.	66
28	Módulo de compressão para quadrângulos.	67
29	Sub-módulo para codificar o primeiro triângulo de um quadrângulo.	68
30	Sub-módulo para codificar o segundo triângulo de um quadrângulo.	69
31	Inicialização do módulo de Descompressão ReadEB.	87
32	Sub-módulo da inicialização ReadEB.	88
33	Módulo Geral para Descompressão de Malhas Irregulares.	90
34	Módulo de Descompressão para triângulos.	92
35	Módulo de Descompressão para quadrângulos.	94
36	Módulo de compressão para quadrângulos para o segundo triângulo do quadrângulo.	95
37	Módulo para zipar arestas livres de uma <i>HalfEdge</i>	96