

Affonso de Cusatis Junior

**RAYCASTING INTERVALAR DE SUPERFÍCIES IMPLÍCITAS
COM ARITMÉTICA AFIM**

**Dissertação apresentada ao Departamento de
Informática da PUC-RJ como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em Informática.**

Orientadores:

**Luiz Henrique de Figueiredo
Marcelo Gattass**

**Departamento de Informática
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro, 23 de abril de 1999.

“O Saber é o alimento da alma”

Leonardo da Vinci

***“Tudo vale a pena
se a alma não é pequena”***

Fernando Pessoa

*À minha mãe, lutadora surpreendentemente incansável,
em quem busco inspiração em meus momentos de fraqueza.*

RESUMO

Este trabalho investiga a técnica mais natural para a visualização de superfícies implícitas, o *raycasting*, sob um tratamento intervalar. São implementados algoritmos robustos para o *raycasting* de superfícies genéricas, utilizando métodos intervalares e métodos numéricos convencionais no cálculo das interseções, e é testada a utilização de aritmética afim (AA), um modelo numérico para o cálculo com intervalos proposto como alternativa à aritmética intervalar tradicional (IA). Projetada para evitar o problema de explosão de erro em longas seqüências de cálculos intervalares, AA leva em consideração as correlações entre os termos de uma expressão e define operações mais caras que IA, mas fornece resultados mais precisos, o que pode acelerar alguns algoritmos intervalares.

ABSTRACT

This work investigates ray casting, the most natural visualization technique for implicit surfaces, using interval methods. Some robust algorithms are implemented for ray casting generic surfaces, using interval methods and conventional numerical methods in the determination of ray-surface intersections – a central operation in ray casting – and a new interval calculation model is tested: affine arithmetic (AA), proposed as a alternative for standard interval arithmetic (IA). AA was designed in order to avoid the IA's error explosion problem at long interval calculation sequences, and takes into account correlations between terms in a interval expression. So, AA defines more expensive operations but yields more precise results, and this feature may accelerate several interval algorithms.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	3
CAPÍTULO 2 SUPERFÍCIES IMPLÍCITAS	5
2.1 INTRODUÇÃO	5
2.1.1 Definição	5
2.1.2 Representação implícita \times paramétrica	7
2.2 APLICAÇÕES DE SUPERFÍCIES IMPLÍCITAS EM MODELAGEM	8
2.2.1 Operações booleanas e modelagem CSG	9
2.2.2 Operações de blending	10
2.3 VISUALIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES IMPLÍCITAS	11
CAPÍTULO 3 RAYCASTING DE SUPERFÍCIES IMPLÍCITAS	13
3.1 O ALGORITMO DE RAYCASTING	13
3.2 O CÁLCULO DAS INTERSEÇÕES	15
3.3 TRABALHOS ANTERIORES	18
CAPÍTULO 4 MÉTODOS NUMÉRICOS PARA RESOLUÇÃO DE EQUAÇÕES	20
4.1 MÉTODOS NUMÉRICOS CONVENCIONAIS	21
4.1.1 Método da bisseção	21
4.1.2 Método da falsa posição (<i>regula falsi</i>)	24
4.1.3 Método de Brent	26
4.2 MÉTODOS NUMÉRICOS INTERVALARES	27
4.2.1 O algoritmo de Moore	27
CAPÍTULO 5 ARITMÉTICAS COM INTERVALOS	30
5.1 ARITMÉTICA INTERVALAR TRADICIONAL (IA)	30
5.1.1 Operações básicas em IA	30
5.1.2 O problema da explosão de erro nos cálculos com IA	34
5.2 ARITMÉTICA AFIM (AA)	36
5.2.1 Operações básicas em AA	38
5.2.2 Otimização em algoritmos intervalares com AA	40

CAPÍTULO 6 IMPLEMENTAÇÃO	44
6.1 AS BIBLIOTECAS DE OPERAÇÕES IA E AA	45
6.2 CALCULANDO EXPRESSÕES COM AS BIBLIOTECAS	46
6.3 O PROGRAMA SUPERRAY	47
CAPÍTULO 7 TESTES	48
7.1 DESCRIÇÃO DOS TESTES	48
7.2 EXEMPLOS	49
7.3 RESULTADOS DOS TESTES	53
CAPÍTULO 8 ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES	58
CAPÍTULO 9 TRABALHOS FUTUROS	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

Lista de figuras

<i>Figura 2.1 – Esfera definida na forma implícita</i>	6
<i>Figura 2.2 – Plano definido na forma implícita</i>	6
<i>Figura 3.1 – Idéia básica do algoritmo de raycasting</i>	13
<i>Figura 3.2 – Etapa de isolamento de intervalos com raízes</i>	16
<i>Figura 3.3 – Etapa de refinamento de raízes</i>	17
<i>Figura 4.1 – Método da bisseção - passo n</i>	22
<i>Figura 4.2 – Método da bisseção - passo $n+1$</i>	22
<i>Figura 4.3 – Método da falsa posição (regula falsi) - passo n</i>	24
<i>Figura 4.4 – Exemplo de caso difícil para regula falsi e outros métodos</i>	25
<i>Figura 5.1 – Propriedade da inclusão por monotonicidade em IA</i>	33
<i>Figura 5.2 – Região no \mathbb{R}^2 para os possíveis valores de (x,y) com IA e por AA</i>	38
<i>Figura 5.2 – Interpretação geométrica das aproximações por IA e por AA</i>	39
<i>Figura 5.3 – Otimização em algoritmos intervalares com AA</i>	40
<i>Figura 5.4 – Casos de interseção possíveis na otimização com AA</i>	42
<i>Figura 6.1 – Tela principal do programa</i>	47
<i>Figura 7.1 – Esfera</i>	49
<i>Figura 7.2 – Gota</i>	49
<i>Figura 7.3 – Gota (equação expandida)</i>	49
<i>Figura 7.4 – Toro</i>	50
<i>Figura 7.5 – Bitoro</i>	50
<i>Figura 7.6 – Bitoro (equação expandida)</i>	50
<i>Figura 7.7 – Superfície de Mitchell</i>	51
<i>Figura 7.8 – “Six-peak”</i>	51
<i>Figura 7.9 – Superfície de Steiner</i>	51
<i>Figura 9.1 – Idéia de exploração da coerência nas superfícies para acelerar o raycasting</i>	62
<i>Figura 9.2 – Um dos casos em que a idéia da consistência pode falhar</i>	63

Lista de tabelas

<i>7.1 - Tempos para conjunto padrão de parâmetros de cena</i>	<i>54</i>
<i>7.2 - Número de recursões intervalares, para o mesmo conjunto de parâmetros</i>	<i>54</i>
<i>7.3 - Tempos, aumentando-se o intervalo inicial no domínio de t</i>	<i>55</i>
<i>7.4 - Tempos, aumentando-se a resolução da cena</i>	<i>55</i>
<i>7.5 - Alterando-se a direção da reta suporte do ponto de visualização</i>	<i>56</i>
<i>7.6 - Utilizando-se um valor de epsilon 10^3 vezes maior</i>	<i>56</i>
<i>7.7 - Utilizando-se um valor de epsilon 10^3 vezes menor</i>	<i>57</i>
<i>7.8 - Tempos em uma máquina com maior capacidade de processamento</i>	<i>57</i>