

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

DIEGO VASCONCELOS SCHARDOSIM DE MATOS

Simulação Física Simplificada em Web

RIO DE JANEIRO
2025

DIEGO VASCONCELOS SCHARDOSIM DE MATOS

Simulação Física Simplificada em Web

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Instituto de Computação da
Universidade Federal do Rio de Janeiro como
parte dos requisitos para obtenção do grau de
Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Cláudio Esperança

RIO DE JANEIRO

2025

CIP - Catalogação na Publicação

R484t Ribeiro, Tatiana de Sousa
 Titulo / Tatiana de Sousa Ribeiro. -- Rio de
 Janeiro, 2018.
 44 f.

 Orientador: Maria da Silva.
 Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto
de Matemática, Bacharel em Ciência da Computação,
2018.

 1. Assunto 1. 2. Assunto 2. I. Silva, Maria da,
orient. II. Titulo.

DIEGO VASCONCELOS SCHARDOSIM DE MATOS

Simulação Física Simplificada em Web

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado ao Instituto de Computação da
Universidade Federal do Rio de Janeiro como
parte dos requisitos para obtenção do grau de
Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovado em ____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA:

Cláudio Esperança
Titulação (Instituição)

Nome do Professor1
Titulação (Instituição)

Nome do Professor2
Titulação (Instituição)

"The display is the computer."

Jen-Hsun Huang

RESUMO

Neste trabalho é descrito elementos básicos para um esquema de modelagem baseado em física de objetos rígidos e deformáveis bem adequado para aplicações interativas que é simples, rápida e bastante estável. Estes corpos são representados por um grupo de partículas que devem satisfazer um conjunto de restrições lineares por um método de relaxamento e a simulação de seu movimento é usado um esquema de integração Verlet. A detecção das colisões são tratadas em duas fases: de *Broad Phase* responsável por reduzir o número de candidatos à colisão com estruturas de divisão espacial e uso de testes rápidos e baratos; de *Narrow Phase* responsável por usar algoritmos mais sofisticados para detectar colisão como o Teorema do Eixo Separador (Separating Axis Theorem - SAT) e algoritmo de Gilbert-Johnson-Keerthi (GJK). Para a resposta da colisão é usado as técnicas descritas por Jakobsen pela projeção das posições das partículas envolvidas através Vetor de Translação Mínimo (minimum translation vector - MTV). Diferente das abordagens tradicionais, a simulação física é obtida sem que se compute explicitamente matrizes de orientação, torques ou tensores de inércia.

Palavras-chave: Computação gráfica; Simulação Física; Detecção de Colisão; Resposta a Colisão; Corpos rígidos e deformáveis; web.

ABSTRACT

Abstract in english. The text should be typed in a single paragraph with **single spacing** and contain between 150 and 500 words. Use the third person singular, the verbs in the active voice and avoid the use of symbols and contractions that are not of current use. The keywords must appear right below the abstract, preceded by the expression **Keywords:**, separated by a semicolon (;) and ending with a period. They must be written with the initials in lowercase, with the exception of proper nouns and scientific names.

Keywords: artificial intelligence; cryptography; data mining; Sociedade Brasileira de Computação; neural network.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	PROJEÇÃO DE POSIÇÃO PELO MÉTODO JAKOBSEN .	9
2.1	INTEGRAÇÃO VERLET	9
3	SOLUÇÃO DE RESTRIÇÕES POR RELAXAMENTO	10
3.1	RESTRIÇÃO LINEAR	10
3.2	RESTRIÇÃO ANGULAR	10
3.3	RESTRIÇÃO DE REVOLUÇÃO	10
3.4	RESOLVENDO MÚLTIPLAS RESTRIÇÕES CONCORRENTES POR RELAXAMENTO	10
3.5	SIMULAÇÃO DE TECIDOS	10
4	MODELANDO CORPOS	11
4.1	CORPOS RÍGIDOS	11
4.2	CORPOS DEFORMÁVEIS	11
4.3	CORPOS ARTICULADOS	11
5	O FECHO CONVEXO	12
5.1	CAIXA DELIMITADORA ALINHADA AO EIXO COORDENADO (AABB)	12
5.2	QUICKHULL	12
6	DETECÇÃO E RESPOSTA DE COLISÕES	13
6.1	POLÍGONOS CONVEXOS	13
6.1.1	Teorema do Eixo Separador (SAT)	13
6.1.2	Algoritmo Gilbert–Johnson–Keerthi (GJK)	13
6.1.3	Resposta a colisão	13
6.2	POLÍGONOS CÔNCAVOS	13
6.3	TRATANDO CASOS DEGENERADOS	13
7	OTIMIZAÇÕES	14
7.1	BROAD PHASE E NARROW PHASE	14
7.2	DIVISÃO ESPACIAL EM GRADE UNIFORME	14
7.2.1	Uso na Broad Phase	14
7.3	SEPARANDO SIMULAÇÃO DA THREAD PRINCIPAL	14

8	CONCLUSÕES	15
	REFERÊNCIAS	16

1 INTRODUÇÃO

2 PROJEÇÃO DE POSIÇÃO PELO MÉTODO JAKOBSEN

2.1 INTEGRAÇÃO VERLET

3 SOLUÇÃO DE RESTRIÇÕES POR RELAXAMENTO

3.1 RESTRIÇÃO LINEAR

3.2 RESTRIÇÃO ANGULAR

3.3 RESTRIÇÃO DE REVOLUÇÃO

3.4 RESOLVENDO MÚLTIPLAS RESTRIÇÕES CONCORRENTES POR RELAXAMENTO

3.5 SIMULAÇÃO DE TECIDOS

4 MODELANDO CORPOS

4.1 CORPOS RÍGIDOS

4.2 CORPOS DEFORMÁVEIS

4.3 CORPOS ARTICULADOS

5 O FECHO CONVEXO

5.1 CAIXA DELIMITADORA ALINHADA AO EIXO COORDENADO (AABB)

5.2 QUICKHULL

6 DETECÇÃO E RESPOSTA DE COLISÕES

6.1 POLÍGONOS CONVEXOS

6.1.1 Teorema do Eixo Separador (SAT)

6.1.2 Algoritmo Gilbert–Johnson–Keerthi (GJK)

6.1.3 Resposta a colisão

6.2 POLÍGONOS CÔNCAVOS

6.3 TRATANDO CASOS DEGENERADOS

7 OTIMIZAÇÕES

7.1 BROAD PHASE E NARROW PHASE

7.2 DIVISÃO ESPACIAL EM GRADE UNIFORME

7.2.1 Uso na Broad Phase

7.3 SEPARANDO SIMULAÇÃO DA THREAD PRINCIPAL

8 CONCLUSÕES

REFERÊNCIAS