

Simulação de ondas e oceano



Antoniél Magalhães
Luis Felipe



Agenda

1. Introdução
2. Fundamentos Físicos
3. Simulação do Empinamento
4. Computação Gráfica na Simulação de Ondas
5. Implementação em Three.js
6. Técnicas Avançadas de Simulação
7. Referências

Introdução

- A simulação de ondas e oceano é uma área de estudo que combina física, matemática e computação para modelar o comportamento das ondas no mar.
- Este campo é crucial para:
 - Jogos e aplicações interativas
 - Efeitos visuais em filmes e animações
 - Visualização científica
 - Simuladores de treinamento marítimo

Fundamentos da Teoria Linear

- Baseada na Teoria Linear de Ondas (Airy, 1845)
- Simplificações importantes para computação gráfica:
 - Fluido homogêneo e incompressível
 - Tensão superficial desprezada
 - Fundo plano e horizontal
- Estas simplificações permitem implementações eficientes mantendo realismo visual [5]

Pressupostos da Teoria Linear

- A teoria linear assume que: o fluido é homogêneo, incompressível (densidade constante) e irrotacional.
- A tensão superficial é desprezada.
- A pressão na superfície livre é uniforme e constante.
- O fluido é invíscido.
- O fundo é um limite plano, horizontal, fixo e impermeável.

Aspectos Computacionais

- Na computação gráfica, a superfície da água é frequentemente representada como uma malha de vértices
- A elevação da superfície $\eta(x, t)$ é dada por:

$$\eta(x, t) = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t)$$

- A relação de dispersão conecta frequência e número de onda:

$$\omega^2 = gk \tanh(kh)$$

Técnicas de Renderização

- Métodos de renderização em tempo real:
 - Normal mapping para detalhes da superfície
 - Fresnel effect para reflexão/refração
 - Caustics para efeitos de luz subaquática
- A velocidade das partículas é dada por:

$$\vec{v} = \nabla\phi = \begin{pmatrix} \frac{\partial\phi}{\partial x} \\ \frac{\partial\phi}{\partial y} \\ \frac{\partial\phi}{\partial z} \end{pmatrix}$$

Técnicas de Otimização

- Level of Detail (LOD):
 - Malha adaptativa baseada na distância
 - Redução de vértices em áreas distantes
- Otimizações de renderização:
 - Frustum culling
 - Vertex buffer optimization
 - Shader optimizations
- Performance em tempo real [1]

Simulação do Empinamento

- O empinamento das ondas é um fenômeno importante na dinâmica oceânica.
- A simulação deste processo ajuda a entender como as ondas interagem com estruturas costeiras e como a energia das ondas é dissipada.

Computação Gráfica na Simulação de Ondas

- A computação gráfica desempenha um papel vital na visualização das simulações de ondas.
- Técnicas avançadas permitem a criação de modelos visuais realistas que ajudam na análise e interpretação dos dados simulados.

Simulação em Three.js

- Three.js: biblioteca JavaScript para computação gráfica 3D [2]
- Componentes principais:
 - Geometria: PlaneGeometry para superfície da água
 - Material: MeshPhongMaterial para reflexões realistas
 - Iluminação: Combinação de luzes direcionais e ambiente

Demonstração da Simulação



- Simulação de ondas em tempo real usando Three.js
- Demonstração completa: [GitHub](#)

Modelo de Propagação de Ondas

- Modelo baseado em sistema de molas para simulação de ondas:

```
class PropagationSpringModel {  
    constructor(rows, columns) {  
        this.heightField = new Float32Array(rows * columns);  
        this.velocityField = new Float32Array(rows * columns);  
  
        // Constantes físicas da simulação  
        this.springConstant = 0.008; // Elasticidade  
        this.damping = 0.025;        // Amortecimento  
        this.propagationSpeed = 5.0; // Velocidade  
    }  
}
```

Renderização com Three.js

- Configuração básica da cena 3D:

```
class OceanSimulation {  
  constructor() {  
    this.scene = new THREE.Scene();  
    this.camera = new THREE.PerspectiveCamera(45);  
  
    // Material realista para água  
    this.waterMaterial = new THREE.MeshPhongMaterial({  
      color: 0x006994,  
      specular: 0x111111,  
      shininess: 40  
    });  
  }  
}
```

Survey: Estado da Arte em Simulação de Oceanos

- Survey de técnicas de simulação [4]:
 - Métodos baseados em física
 - Métodos de domínio espacial
 - Técnicas híbridas para melhor performance
- Desafios identificados no survey:
 - Equilíbrio entre realismo e performance
 - Simulação de fenômenos complexos
 - Integração com sistemas em tempo real

Survey: Técnicas Avançadas

- Método Euleriano baseado em física [6]:
 - Simulação em tempo real de águas rasas
 - Modelagem realista de ondas quebrando
 - Otimizado para GPU
- Técnicas modernas de GPU [3]:
 - Tesselação dinâmica da superfície
 - Nível de detalhe adaptativo
 - Otimização de geometria em tempo real

Referências

- [1] AlephOverflow. Wavesimulator: Real-time ocean wave simulation using three.js, 2024.
- [2] Three.js Authors. Three.js, 2024. JavaScript 3D Library.
- [3] Xavier Bonaventura. *Terrain and Ocean Rendering with Hardware Tessellation*, pages 83–94. AK Peters/CRC Press, 2018.
- [4] Emmanuelle Darles, Benoît Crespín, Djamchid Ghazanfarpour, and Jean-Christophe Gonzato. A survey of ocean simulation and rendering techniques in computer graphics. *Computer Graphics Forum*, 30(1):43–60, 2011.
- [5] S. Meirelles and N. Violante-Carvalho. Modelagem computacional da propagação de ondas superficiais no oceano: um subsídio para a compreensão dos fenômenos ópticos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(4):555–563, 2007.
- [6] Nils Thürey, Matthias Müller-Fischer, Simon Schirm, and Markus Gross. Real-time breaking waves for shallow water simulations. In *15th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications (PG'07)*, pages 39–46, 2007.