

## Modelagem e Animação de Superfícies Deformáveis

Luciana Porcher Nedel\*

Instituto de Informática

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Caixa Postal 15064 - CEP 91501

Porto Alegre - RS - Brasil

e-mail: lpn@inf.ufrgs.br

### RESUMO

O crescente número de sistemas de animação baseados na cinemática para geração do movimento vem levando os pesquisadores a buscar outras alternativas para gerar resultados mais realistas. Com base nesta premissa, vários autores passaram a estudar a criação de animação de objetos sintéticos através da dinâmica. Este trabalho apresenta um modelo simplificado para simulação do movimento de uma superfície flexível. São abordados tanto o modelo geométrico utilizado como o modelo físico, sendo ressaltadas as forças aplicadas sobre a superfície e as restrições que podem ser impostas pelo mundo no qual a mesma está inserida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Animação, Deformação, Dinâmica, Elasticidade, Restrições, Simulação

### 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem havido um interesse crescente em desenvolver modelos baseados na Física para gerar seqüências de animação [5]. Num primeiro momento foram abordados apenas objetos rígidos, passando-se mais tarde a considerar objetos articulados e, por fim, aqueles ditos flexíveis ou, ainda, deformáveis.

A animação de personagens deformáveis exige que se possua um modelo geométrico que permita a mudança de forma ao longo do tempo. Em Computação Gráfica, isto pode ser

---

\* Atualmente integra o corpo docente da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA)

definido através de modelos físicos de curvas, superfícies ou mesmo sólidos deformáveis, governados através de leis mecânicas. Essas leis podem ser expressas, por exemplo, através de equações diferenciais dinâmicas, unificando, deste modo, a descrição de formas e movimentos. Com a resolução dessas equações numericamente, devemos ser capazes de criar animações realísticas envolvendo a interação entre modelos deformáveis e a aplicação de várias forças, meio ambiente e obstáculos impenetráveis, em uma simulação física da realidade [4].

O objetivo principal na simulação de modelos deformáveis ou flexíveis é produzir movimentos fisicamente realistas. Exemplos incluem a simulação da musculatura do corpo humano a fim de representar realisticamente um personagem caminhando; a simulação do fluxo de líquidos viscosos, como, por exemplo, lavas sobre rochas vulcânicas; a simulação de um escultor modelando com argila [2]; ou ainda a simulação de tecidos num sistema de CAD para a indústria de confecções [1][6].

Neste trabalho, apresenta-se um método de modelagem e animação de superfícies deformáveis, que permite tanto a simulação do comportamento estático e dinâmico de uma superfície, como a sua interação com um mundo virtual.

## 2 MODELO GEOMÉTRICO

O modelo geométrico aqui considerado para simular uma superfície deformável consiste de uma malha retangular representada por uma matriz de pontos  $M$ . Cada elemento  $M_{i,j}$  desta matriz contém um terno  $(x,y,z)$  correspondente a um ponto da superfície, em um espaço tridimensional. Considera-se ainda  $r$  como a distância entre os elementos da matriz  $M$  acima definida.

## 3 MODELO FÍSICO

A fim de simular fisicamente uma malha flexível, utilizou-se o conceito das molas de Hooke [3]. O modelo físico baseia-se fundamentalmente na aplicação de forças sobre os diversos pontos de massa da malha, gerando novas posições para os mesmos. Através da

soma de todas as forças aplicadas, obtém-se uma força resultante para cada ponto da superfície deformável.

Com o objetivo de simplificação, considerou-se aqui a aplicação de apenas três forças distintas: força da gravidade, força de elasticidade e força de curvatura e torção; além de uma quarta força, representando as restrições do sistema. Desta forma, pode-se dizer que a força resultante em cada ponto da malha pode ser calculada da seguinte forma:

$$F_{\text{RESULTANTE}} = F_{\text{GRAVIDADE}} + F_{\text{ELASTICIDADE}} + F_{\text{CURVATURA}} + F_{\text{RESTRICÇÃO}}$$

Isto, no entanto, não quer dizer que não possam ser aplicadas outras forças ao modelo. Por exemplo, para incluir a simulação da força do vento, basta acrescentar este elemento na soma referida acima.

### 3.1 FORÇA GRAVITACIONAL

A força da gravidade é calculada para cada ponto da superfície, da seguinte forma:

$$F_{\text{GRAVIDADE}} = g \cdot m$$

onde  $g$  representa a aceleração da gravidade e  $m$ , a densidade de massa do ponto.

### 3.2 FORÇA DE ELASTICIDADE

Para simular a elasticidade em um ponto  $P_{i,j}$  da matriz  $M_{i,j}$ , supôs-se a conexão deste aos seus 8 vizinhos, através de molas (figura 1). Sabendo-se que a força exercida por uma mola de Hooke sobre um ponto de massa é

$$F_{\text{MOLA}} = -km \cdot (P - P_r)$$

onde  $km$  é a constante que indica o grau de elasticidade da mola,  $P$ , o ponto em questão e  $P_r$  o ponto de repouso da mola, pode-se, por extensão, definir a força de elasticidade como sendo o somatório das forças exercidas pelas molas, no ponto  $P$ .

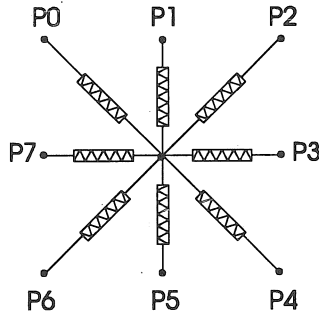


Figura 1: Modelo elástico da superfície

### 3.3 FORÇA DE CURVATURA E TORÇÃO

A força aqui descrita indica o grau com que a superfície se curva e torce. Esta força é calculada também em função dos 8 vizinhos de um ponto. A simulação deste efeito foi concebida como a colocação de molas angulares entre os vizinhos do ponto  $P$ , da seguinte forma: uma mola no ângulo formado entre os vértices  $P_0, P$  e  $P_4$  (figura 2); uma entre  $P_1, P$  e  $P_5$ ; outra entre  $P_2, P$  e  $P_6$  e uma última entre  $P_3, P$  e  $P_7$ .

A colocação destas molas é feita de forma que estejam na posição de repouso quando o ângulo formado entre os 3 vértices for igual a  $180^\circ$ . Além disto, considera-se que as molas em questão possuam um coeficiente de elasticidade parametrizável, denominado  $kc$ . A alteração que a força exercida por estas molas possa vir a causar na posição do ponto  $P_i, j$ , é indicada por um função  $f(i, j)$ .

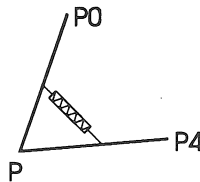


Figura 2: Mola angular entre os pontos  $P_0, P$  e  $P_4$ , com ângulo inferior a  $180^\circ$ .

## 4 RESTRIÇÕES

No que diz respeito às restrições físicas impostas pelo mundo virtual no qual a superfície está sendo simulada, considerou-se:

- a existência de pontos imóveis na grade que representa a superfície;
- a detecção de colisão de superfícies deformáveis com objetos sólidos.

Entretanto, a concepção do modelo aqui descrito, por ser baseada em restrições físicas, permite a inclusão de novas restrições, sem que, no entanto, isto acarrete modificações drásticas no modelo existente.

A implementação destas funções é feita da seguinte forma: no caso de haver qualquer tipo de restrição sobre um ponto, é calculada uma força tal que leve o ponto a não se mover ou, ainda, a se mover obedecendo a restrição em questão.

### 4.1 PONTOS FIXOS

Trata-se de uma restrição imposta ao sistema ainda na fase de configuração, ou seja, no instante zero. Através da indicação de quais os pontos da malha que devem permanecer fixos, pode-se simular situações em que a superfície mantém-se "pendurada" por um ou mais pontos. Esta restrição pode ser usada, por exemplo, na simulação de uma toalha pendurada em um prego; uma cortina presa na parede; ou ainda, uma bandeira presa a um mastro e tremulando ao vento.

### 4.2 COLISÃO COM CORPOS RÍGIDOS

A colisão da superfície deformável com corpos rígidos, é calculada como uma função  $f(i, j)$  que verifica para cada ponto da malha se este está dentro do sólido, fora ou na superfície deste. No caso de estar fora ou sobre a superfície, a força de restrição é nula. Entretanto, se o ponto da superfície estiver dentro do sólido, deve ser aplicada uma força que leve o ponto para a superfície do mesmo.

Com o uso desta restrição, pode-se gerar efeitos bastante interessantes como a colocação de uma toalha sobre uma mesa.

## 5 ANIMAÇÃO

A simulação de movimento no modelo proposto, dá-se através da aplicação dos conceitos conhecidos da dinâmica [3]. Abaixo, descreve-se o algoritmo utilizado na geração dos pontos da malha, após cada intervalo de tempo especificado ( $\Delta t$ ):

- Para um tempo igual a  $t$ , inicialmente igual a 0 e variando de  $\Delta t$ :
  - Calcular a força resultante em cada ponto da malha flexível, através dos métodos acima descritos;
  - Conhecidas as forças resultantes e a densidade de massa de cada ponto, através da aplicação das leis de Newton ( $F = m.a$ , onde  $m$  é a massa e  $a$ , a aceleração) calcular a aceleração de cada ponto.
  - Com base nesta aceleração, encontrar a velocidade dos pontos através da fórmula:  $V = Va + a.\Delta t$ , onde  $Va$  representa a velocidade no momento anterior,  $a$ , a aceleração e  $\Delta t$ , o intervalo de tempo.
  - Dada a velocidade, encontra-se a nova posição do ponto, da seguinte forma:  $P = Pa + V.\Delta t$ , onde  $Pa$  é a posição anterior do ponto,  $V$ , a sua velocidade e  $\Delta t$ , o intervalo de tempo.

## 6 VALIDAÇÃO DO MODELO PROPOSTO: RESULTADOS INICIAIS

Foi desenvolvido um sistema considerando uma malha deformável e apenas duas dimensões. Na figura 3, apresenta-se 3 momentos da deformação de uma superfície bastante elástica (constante  $km$  igual a 1), leve (densidade de massa igual a 1), sem resistência a curvatura e torção e presa apenas por um ponto.

O modelo proposto está inserido no âmbito da dissertação de mestrado da autora e foi desenvolvido com o objetivo de constituir um passo inicial às pesquisas na área da deformação de objetos através da Física. Com base nesta premissa, pode-se considerar que os objetivos foram alcançados, uma vez que o modelo possui um grau de realismo bastante razoável.

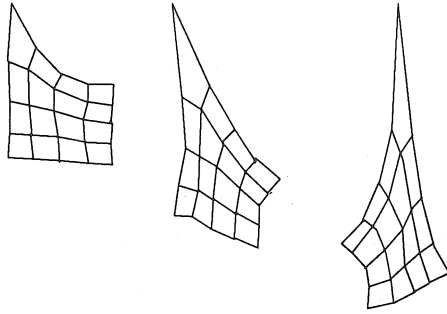


Figura 3: Deformação de uma superfície de 5 x 5.

## 7 CONCLUSÃO: PERSPECTIVAS FUTURAS

Conforme foi afirmado anteriormente, o presente modelo possui um grau de realismo tal que permite o prosseguimento do trabalho de acordo com várias propostas. A primeira delas é a extensão destes conceitos para gerar não apenas superfícies deformáveis, mas também objetos tri-dimensionais compostos por faces, com essas mesmas características.

Uma segunda possibilidade de extensão deste trabalho é a inclusão de características inelásticas ao modelo. Entre elas, pode-se considerar a deformação definitiva das molas que unem os pontos da malha ou, ainda, a fratura. Entende-se por fratura o rompimento das molas por diferentes motivos, sendo o mais evidente a distensão demasiada de uma superfície pouco resistente. Formalmente representa-se a resistência de um material, através da constante  $k$  das molas. Quanto maior esta constante, maior a resistência das molas; conseqüentemente, também menor a elasticidade da superfície.

Outra linha de pesquisa a ser desenvolvida é a criação de superfícies que em seu estado inicial tenham forma diferente de um retângulo, como o proposto neste artigo. Para isso, imaginou-se a criação de um modelador que gerasse superfícies de formatos diferentes e que respeitasse as seguintes restrições: a superfície deve poder ser representada em uma matriz  $M_{i,j}$ ; as molas que compõem o sistema devem estar todas em repouso, no estado inicial.

Em relação a este último aspecto - restrições, cabe salientar que o presente trabalho se insere no contexto de desenvolvimento de sistemas baseados em restrições e, sob este ponto

de vista, uma alternativa viável no prosseguimento da pesquisa é a estruturação do sistema de modelagem e animação segundo a abordagem orientada a objetos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Anatólio Laschuk, pelo auxílio na definição de um modelo de molas adequado; à professora Carla Freitas, pela revisão final do texto; ao Niuton Zinn Severo e a Soraia Raupp Musse pelo apoio e incentivo; ao CNPq por financiar parcialmente este trabalho.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Dias, J.M.S. e Rebordão, J.M., "Um Modelo Energético para Simulação de Superfícies Deformáveis", Actas do IV Encontro Português de Computação Gráfica, pp.109-123, Lisboa, Portugal, Nov. 91.
- [2] Platt, J.C. e Barr, A.H., "Constraint Methods for Flexible Models: the Tutorial Notes", Developments in Physically-Based Modeling - SIGGRAPH 88 - COURSE 27, L1-L23, 1988.
- [3] Resnick, R. e Halliday, D., Física I, Ed. Livros Técnicos e Científicos Ltda., 1984.
- [4] Terzopoulos, D. e Fleischer, K., "Deformable Models", The Visual Computer, 4:306-331, Springer-Verlag, 1988.
- [5] Terzopoulos, D. e Witkin, A., "Physically-Based Models with Rigid and Deformable Components", Graphics Interface, pp.146-154, Edmondson, Alberta, Jun. 88.
- [6] Weil, J., "The Synthesis of Cloth Objects", Computer Graphics, 20(4):49-54, Aug. 86.