

# Modelagem do Movimento Rígido de Sistemas Articulados

SORAIA RAUPP MUSSE \*  
ANATÓLIO LASCHUK

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS  
Instituto de Informática - II  
Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação - CPGCC  
Caixa Postal 15064 - CEP 91591-970  
Porto Alegre, RS, Brasil  
soraia@inf.ufrgs.br  
laschuk@vortex.inf.ufrgs.br

**Abstract.** The present paper describes a model to represent articulated structures. The movement's control, description and specification are also presented. The model uses dynamic analysis. Constraints and physical based analysis are used to movement's control.

## 1 Introdução

Alvo de muitas pesquisas no campo da animação computadorizada, a animação de corpos articulados [GIR 85], [TOS 88], [MUS 92], [BOU 92] é o ponto de partida para as mais variadas áreas como artes, robótica, medicina e biomecânica. Várias técnicas têm sido estudadas e desenvolvidas nesta área, abrangendo diferentes formas de resolver o problema que vão desde a cinemática com controle de movimentos key-frame até sistemas de simulação dinâmica.

Este trabalho apresenta uma proposta de modelo para geração de movimentos de sistemas articulados. Como modelo compreende-se tanto a representação das hastes do sistema articulado, como a descrição de seus movimentos. Para isto, utilizaram-se conceitos da física na representação e geração de movimentos.

## 2 Caracterização de Sistemas Materiais Articulados

**Sistema material** é o conjunto de pontos materiais ligados entre si por determinadas relações ou condições. Um sistema material onde os pontos que o compõem não se distanciam em função do tempo é denominado **Sistema Rígido**. E o sistema material onde os pontos variam de distância entre si no tempo são **Sistemas Elásticos**, ou seja, corpos que sofrem deformações.

O **movimento** de um sistema material é ocasionado pela variação da posição e orientação dos pontos do sistema material em função do tempo. O mo-

vimento pode ser **Rígido**, onde as distâncias mútuas entre os pontos internos ao sistema não mudam e **Elástico**, onde variam as distâncias mútuas entre os pontos do sistema.

Os **Graus de liberdade** de um sistema são os movimentos rígidos e possíveis que o sistema pode ter [WAT 92], onde **Rígidos**, representa que as distâncias mútuas entre os diversos pontos do sistema devem permanecer inváriáveis e **Possíveis** são os movimentos compatíveis com os vínculos do sistema.

**Vínculo de ligação** é tudo aquilo que restringe possibilidades de movimento. O sistema pode possuir **Vínculo Interno**, onde são restringidas possibilidades de movimento interno do sistema, **Vínculo Externo**, onde são restringidas possibilidades de movimento externo do sistema.

Este trabalho trata da modelagem de movimentos rígidos de sistemas materiais articulados, ou seja, corpos que possuem massa e não se deformam e estão vinculados por meio de articulações. O sistema articulado tratado neste trabalho possui 6 graus de liberdade internos e 6 graus de liberdade externos nos 3 eixos cartesianos.

## 3 Modelagem Estrutural do Sistema Articulado

O primeiro passo na animação de corpos articulados é a modelagem do corpo e o armazenamento do modelo em estruturas adequadas. Existe uma relação entre o modelo geométrico do corpo e a posterior animação e, por causa desta relação, a etapa da modelagem do corpo pode conter mais informações do que as puramente geométricas [TOS 88]. As seções seguintes apresentam algumas decisões tomadas quanto a descrição do modelo dos objetos a serem tratados

\*Atualmente exerce atividades de docência na Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS - São Leopoldo - RS.

neste trabalho.

### 3.1 Modelagem Física

A inclusão de informações físicas no modelo de sistemas articulados contribui na geração de movimentos mais realísticos. Assim não serão necessárias muitas correções para a conclusão da animação [TOS 88]. Este trabalho inclui a modelagem física do sistema articulado envolvendo os seguintes atributos: massa da haste ou corpo do sistema, momento de inércia, dimensão da haste aproximada em um paralelepípedo de dimensões (b,c,a) nos eixos (x,y,z) e centro de massa. Neste caso, considera-se o centro geométrico da haste e a distribuição de sua massa de forma uniforme.

### 3.2 Modelagem Geométrica

Existem três técnicas de representação que podem ser empregadas para modelar geometricamente objetos tridimensionais como um corpo humano: linhas, superfícies e volumes [MUS 92].

Este modelo considera a representação dos sistemas articulados por linhas ou *stick figure*. Este modelo consiste de um conjunto hierárquico de linhas (hastes do sistema articulado) conectadas por pontos (articulações). Vistos os conceitos de sistema material e movimento rígido, considera-se o posicionamento de dois pontos extremos da haste, sendo estes os pontos origem e destino do segmento de linha. Pela facilidade da representação e tratamento de dados, optou-se pela utilização de vetores na descrição da estrutura conforme visto na figura 1.

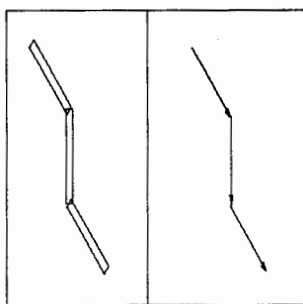


Figure 1: Notação vetorial da estrutura articulada.

## 4 Modelagem do Movimento do Sistema Articulado

Várias considerações podem ser feitas na descrição do movimento do corpo. Vários trabalhos têm sido realizados na modelagem de corpos rígidos [KOL 92], deformáveis [TER 88] [NED 92] e articulados [WIL 89]

[GIR 85] [FOR 88]. As diferentes ênfases na descrição dos modelos são em função dos objetivos do trabalho: aproximação bastante realística de movimentos baseada em física, a simulação da realidade com fins de animação ou uma descrição ainda mais simples: a geração de movimentos por cinemática. Este trabalho objetiva a simulação de movimentos de sistemas articulados sem o comprometimento da representação fidedigna da realidade, porém, quer-se gerar movimentos coerentes com a realidade para computação gráfica. Para isto, usou-se um modelo dinâmico na geração dos movimentos.

### 4.1 Modelo Dinâmico

A análise mecânica do movimento baseado em dinâmica assume uma relação entre o mecanismo produtor de força e a cinemática observada. Podem ser consideradas as dinâmicas direta ou inversa [SEL 89]. A dinâmica direta é a solução ideal para representar modelos que devam ser simulados realisticamente no contexto da animação. Os corpos são modelados como hastes conectadas por juntas e atuam sob a influência de torques e forças internas e externas [FOR 88]. Nesta análise o objetivo é encontrar as velocidades a partir das forças e torques, através das equações de movimento de Newton. Utilizou-se o método de Euler explícito na resolução das equações de movimento.

### 4.2 Modelo de Forças Considerado

O modelo proposto neste trabalho, envolve o cálculo das forças atuantes e determinação da força resultante em cada haste. A partir da força resultante determinada, aplica-se as equações de movimento de Newton que são resolvidas pelo Método Implícito de Euler. As componentes de força envolvidas neste trabalho são apresentadas a seguir:

$$f_{result} = f_{grav} + f_{int} + f_{ext} + f_{vincular} + f_{atrito}$$

Onde cada componente será explicado nas seções seguintes.

#### 4.2.1 Força Gravitacional ( $f_{grav}$ )

Considerando-se  $m$  a massa do corpo e  $g$  o campo gravitacional do universo considerado a força gravitacional de atração do corpo é  $f_{grav} = m.g$ , sendo  $g$  informado nos dados de entrada com o objetivo de simular diferentes ambientes virtuais.

#### 4.2.2 Força Interna ( $f_{int}$ )

Pela 3a. lei de Newton o somatório das forças de ação e reação são sempre iguais a zero, ou seja, to-

das as forças da natureza existem aos pares. Por considerar-se o movimento de corpos rígidos, onde as distâncias dos pontos do sistema material não são alteradas, a força interna do corpo a ser considerado é igual à zero [RES 80]. Neste trabalho considera-se que a força interna é na verdade a distribuição da força externa pelas hastes do sistema articulado.

### 4.2.3 Força Externa (*f<sub>ext</sub>*)

A força externa é um vetor que vem de um agente externo e influencia o movimento do corpo rígido do sistema articulado. A força externa pode atuar em qualquer ponto do sistema articulado e gera forças e torques, descrevendo movimentos translacionais e rotacionais, respectivamente.

A força externa atuante em uma haste do sistema articulado é distribuída para outras hastes como uma força interna. A distribuição da força externa de forma dinâmica pelas hastes do sistema articulado necessita do cálculo do tensor de inércia do sistema articulado como um todo. Neste trabalho aborda-se um método não físico para distribuição da força externa de forma mais intuitiva, com menos custo computacional e com resultados menos realísticos.

### Distribuição da Força Externa

O método desenvolvido tem por objetivo calcular a força que é distribuída pelas hastes do sistema articulado a partir da atuação de uma força externa ao sistema. Para esse caso, deduziu-se uma equação matemática com os atributos envolvidos no cálculo, ou seja, a massa da haste, bem como a distância do centro de massa da haste ao ponto de aplicação da força. Sendo  $\vec{f}$  a força externa aplicada no sistema articulado,  $d$  a distância entre a haste considerada e o ponto de aplicação da força e  $m$  a massa da haste,  $\vec{f}_h$  é a força que é efetivamente aplicada na haste, ou seja,

$$\vec{f}_h = \vec{f} - \frac{(\vec{f} * \frac{d}{distotal}) + (\vec{f} * \frac{m}{massatotal})}{2}$$

Onde *distotal* é a dimensão total do sistema e *massatotal* é a massa de todas as hastes do sistema articulado. A equação acima realiza uma ponderação da força em função dos atributos considerados. Com esse método os resultados foram bem mais convincentes, apesar de não serem realísticos fisicamente. Imagens com resultados podem ser visualizados nas Conclusões.

### 4.2.4 Força Vincular (*f<sub>vincular</sub>*)

A força vincular é especificada a partir da definição dos vínculos do sistema articulado pelo usuário. O *Princípio das Reações Vinculares* diz que todo e qualquer vínculo pode ser substituído por forças fictícias cujas componentes definam o mesmo resultado em termos de movimentos. Isso significa, por exemplo, que um vínculo translacional que pretende restringir o movimento a uma roldana pode ser substituído por forças que mantenham o movimento desejado. Estas forças funcionam restringindo ou anulando qualquer componente de força que deveria gerar movimentos não permitidos pelo vínculo. Essas forças geradas no sistema a partir da substituição dos vínculos são denominadas forças reativas pois reagem às especificações de força que não estejam de acordo com os vínculos definidos.

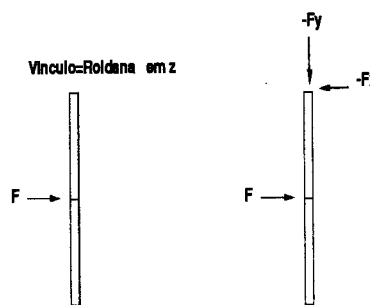


Figure 2: Forças vinculares.

### 4.2.5 Força de Atrito (*f<sub>atrito</sub>*)

É classificada como uma força de contato, ou seja, proveniente da interação entre dois corpos que se tocam. A força de atrito se opõe ao movimento. Este trabalho considera o atrito do ar cujo coeficiente é informado nos dados de entrada.

## 5 Conclusões

Este artigo teve por objetivo propor um modelo de representação e geração de movimento para animação de sistemas articulados. Está sendo desenvolvido um protótipo que aplica o modelo proposto. Este trabalho está sendo desenvolvido na linguagem C em estações Sun e Silicon Graphics.

Alguns resultados que validam o modelo são apresentados a seguir.

Na figura 3, pode-se visualizar um sistema articulado com 4 hastes que cai pela ação da força gravitacional. Uma força externa constante atua na segunda articulação. O sistema é livre, pois não há presença de vínculos.

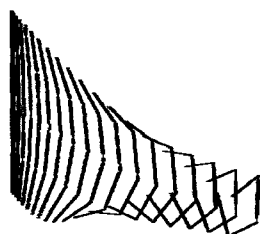


Figure 3: Exemplo de atuação da força num sistema articulado livre.



Figure 4: Exemplo de vínculo que “imita” uma roldana no eixo X.

O exemplo da figura 4, apresenta um sistema articulado com 8 hastes que está vinculado ao mundo externo “imitando” uma roldana no eixo X. Uma força externa atua na sexta articulação do sistema.

Considera-se que tendo em vista os objetivos propostos, na geração de animação por computador, o trabalho apresenta bons resultados e razoavelmente coerentes com a realidade. Os problemas encontrados nos métodos de distribuição da força externa pelo sistema são em função do não realismo físico utilizado. Aqui encontra-se uma questão chave a ser explorada ainda, neste modelo.

O estudos realizados em estruturas articuladas já propiciaram a participação no filme “C.G. com Filtro” exibido em novembro passado no SIBGRAPI’92 [MUS 92a]. Na ocasião, desenvolveu-se uma ferramenta chamada ACAR - Animador de Corpos Articulados baseado em Restrições que foi utilizada na geração do movimento de dois cigarros “articulados” que simulavam o caminhar humano.

## 6 Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao grupo de Computação Gráfica da UFRGS e às amigas: Luciana Porcher Nedel e Otilia Werner pelo apoio no desenvolvimento deste. Agradeço ainda ao Prof. Alexandre Musse pelas va-

liosias indicações.

## 7 Referências

- [BOU 92] BOULIC, Ronan; THALMANN, Daniel. TRACK a Kinematic Goal-Oriented Animation System for Coordinated Editing of Joint-Space Based Motions. *Eurographics’92 - Third Workshop on Animation and Simulation. England, september -1992.*
- [FOR 88] FORSEY, David R.; WILHELMS, Jane. Techniques for interactive manipulation of articulated bodies using dynamics analysis. *Graphics Interface’88*, P.8-15, 1988.
- [GIR 85] GIRARD, Michael; MACIEJEWSKI, A.A. Computational Modeling for the Computer Animation of Legged Figures. *Computer Graphics*, vol.19, n.3, p.263-270, 1985.
- [KOL 92] KOLLER, Thomas; et all.. A Tool for Interactive Control in Dynamics - Based Animation. *Eurographics’92 - Third Workshop on Animation and Simulation. England, september -1992.*
- [MUS 92] MUSSE, Soraia Raupp. *Um Estudo sobre Animação Computadorizada de Objetos Rígidos Articulados*. Porto Alegre: CPGCC-UFRGS, 1992. Trabalho Individual no. 275.
- [MUS 92a] MUSSE, Soraia Raupp; et all. *A realização do Filme C.G. com Filtro*. In: SECOMP - Primeira Semana da Computação na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. CPGCC-UFRGS - outubro, 1992.
- [NED 92] NEDEL, Luciana Porcher. *Simulação de Objetos Deformáveis baseada na Análise Dinâmica*. Porto Alegre: CPGCC-UFRGS, 1993. Dissertação de mestrado.
- [RES 80] RESNICK, Robert; HALLIDAY, David. *Física* Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1980.
- [TER 88] Terzopoulos D.; Witkin, A. A Physically based model with rigid and deformable components. *IEEE Computer Graphics and Applications*, pg.41-51 - 1988.
- [TOS 88] TOST, D; PUEYO, X. Human body animation: a survey. *The Visual Computer*, v.3, p.254-264, 1988.
- [WAT 92] WATT, A.; WATT, M. *Advanced Animation Rendering Techniques Theory and Practice*. Addison Wesley - 1992.
- [WIL 89] WILHELMS, Jane. *Dynamic Experiences. Making them Move : Mechanics, control, and animation of articulated figures*. Edited by Norman I. Badler, Brian a. Barsky, David Zeltzer, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., p.265-280, 1989.