

# Animação Estruturas Articuladas



## Animação de Estruturas Articuladas

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## Conteúdo



- 1.Introdução
- 2.Técnicas de Animação
- 3.Cinemática Directa e Inversa
- 4.Representação de Figuras Articuladas
- 5.Cinemática Inversa
- 6.Caso de Estudo

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animacão Estruturas Articuladas

## 1. Introdução



- Figuras caricaturadas
- Utilização de actores (Max Head)
- Definição do andar de um actor envolve o controlo de pelo menos 22 graus de liberdade (Zeltzer)

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## 2. Técnicas de Animação



**Cinemática:** especificação do movimento de modo independente das forças que o produziram.

**Figura Articulada:** estrutura composta por corpos rígidos ligados por juntas.

**Número de Graus de Liberdade:** número de variáveis independentes necessárias para definir o estado da figura articulada.

**Vector de Estado:** vector das variáveis que definem o estado da figura articulada. Qualquer corpo rígido sem constrangimentos tem 6 graus de liberdade (três de translação e três rotacionais).

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animação Estruturas Articuladas

## 3. Cinemática Directa e Inversa

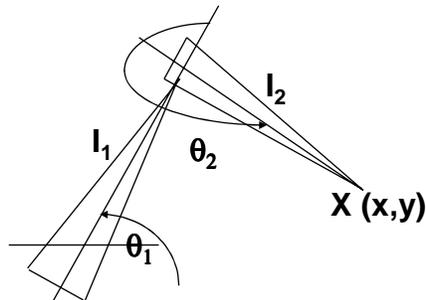


**Cinemática directa** ( $X = f(\theta)$ ): o animador define explicitamente o movimento de todas as junções. O resultado final resulta da acumulação de todas as transformações.

**Cinemática inversa** ( $\theta = f^{-1}(X)$ ): o animador define unicamente a posição da extremidade do último corpo rígido. O sistema calcula a posição e orientação de todas as juntas.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## Cinemática (cont)



- A Solução em cinemática directa para  $X = (x, y)$  é:  
$$X = (l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos (\theta_1 + \theta_2), l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin (\theta_1 + \theta_2))$$
- Aplicando trigonometria é possível obter a solução inversa.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animação Estruturas Articuladas

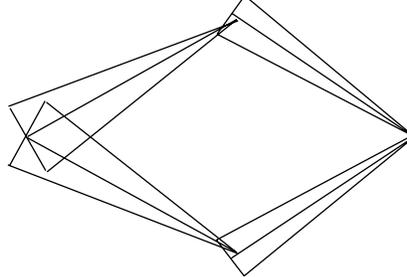
## Complexidade



- 1-Utilização de bibliotecas de animação (exp: pernas a andar de bicicleta).
- 2-Introdução de constrangimentos (conservação de posição, de momento ou minimização de energia). A diferença entre o número de graus de liberdade e o número de constrangimentos define o grau de redundância da figura articulada.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## Exemplo



Duas soluções (1 se for um braço de uma pessoa)

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animação Estruturas Articuladas

## Cinemática Directa



1. Pouco intuitiva e complexa (mas pode usar-se os princípios da animação tradicional).
2. Complexidade das figuras. Em robótica prova-se que todos os sistemas com juntas de revolução e prismática com 6 graus de liberdade e formando uma única cadeia tem solução numérica. Mas só uma cadeia de corpos rígidos...
3. Corpos não rígidos...

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## 4. Representações de Figuras Articuladas



- **Representação de DH (de Denavit-Hartenberg):** associa-se um sistema de coordenadas a cada corpo.
- **Representação de Sims and Zeltzer:** representação dos eixos nas juntas.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animacão Estruturas Articuladas

## Representação DH (Denavit-Hartenberg)



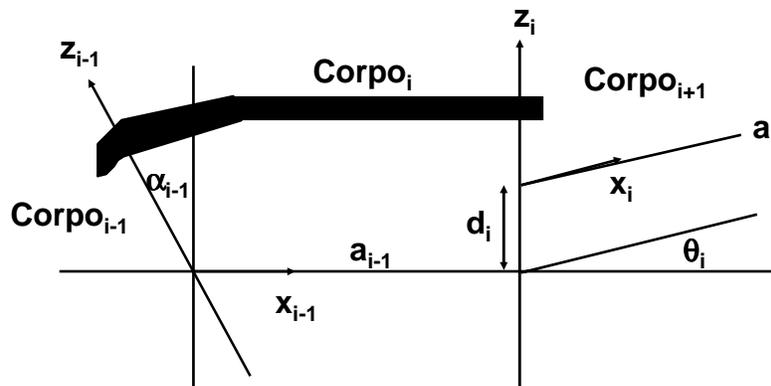
São usados 4 parâmetros para definir a transformação linear entre sistemas de coordenadas associados a corpos ligados por uma junção:

- O comprimento do corpo  $a_i$  é a distância entre  $z_i$  e  $z_{i+1}$  medido ao longo de  $x_i$ .
- A torção do corpo  $\alpha_i$  é o ângulo entre  $z_i$  e  $z_{i+1}$  medido ao longo de  $x_i$ .
- A distância entre os corpos  $d_i$  é a distância entre  $x_{i-1}$  e  $x_i$  medidos ao longo de  $z_i$ .

$\theta_i$  é o ângulo entre  $x_{i-1}$  e  $x_i$  medido ao longo de  $z_i$ .

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## Representação DH (cont)



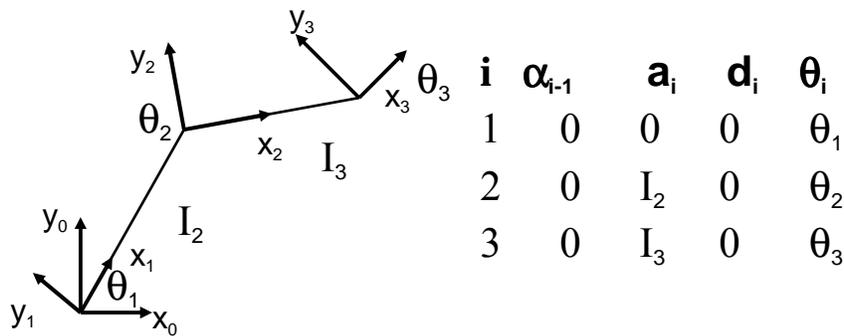
$a_i$  e  $\alpha_i$  são os parâmetros de ligação.

$d_i$  e  $\theta_i$  são os parâmetros de junção.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animação Estruturas Articuladas

## Exemplo



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## Transformações

- Rotação  $R_{z\theta}$  do ângulo  $\theta_i$  em torno de  $Z_{i-1}$  alinhando o  $X_{i-1}$  com o  $X_i$ ;
- Translação  $T_{zd}$  ao longo do eixo  $Z_{i-1}$  com o valor  $d_i$  de modo a colocar os eixos  $X$  coincidentes;
- Translação  $T_{xl}$  ao longo do eixo  $X_i$  com distância  $a_{i-1}$  fazendo com que as origens coincidam.
- Rotação  $R_{x\alpha}$  do ângulo  $\alpha_{i-1}$  em torno de  $X_i$  fazendo com que os sistemas de eixos coincidam.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animação Estruturas Articuladas

## Composição



- O resultado da concatenação das 4 transformações resulta na transformação que relaciona o quadro  $i$  com o quadro  $i-1$ ;
- Concatenando todas as transformações obtém-se uma única transformação, parametrizada por todos os valores das variáveis e que relaciona o último quadro com o 1º quadro.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## Exemplo de Cinemática Directa

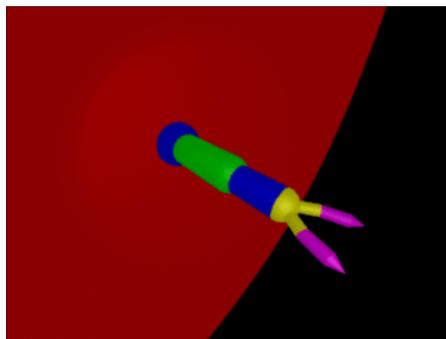


**Quatro corpos:** 1º e 3º com 2 graus de liberdade e restantes com 1 grau de liberdade.

1º quadro: ângulos de rotação  
 $((0,0),0,[(30,0),-15],[(-30,0),15])$

Último Quadro:  $((-30,60),-80,[(90,30),-135],[(-90,30),135])$

<http://www.cis.ohio-state.edu/~parent/book/forwardAnimation.html>



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animacão Estruturas Articuladas

## Representação de Sims and Zeltzer



Representação da posição dos eixos nas junções:

1-Posição da junção.

2-Orientação dos eixos da junção

3-Apontadores para cada corpo que se encontra ligado através da junção.

7 parâmetros: 3 de posição, 3 para a orientação dos eixos e um para o ângulo de junção.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## 5. Cinemática Inversa



- Um **Jacobiano** é uma extensão multi-dimensional à diferenciação de uma única variável.
- Seja:  $X = f(\theta)$  em que  $X$  tem dimensão  $n$  e  $\theta$  tem dimensão  $m$ .
- O Jacobiano  $J$  é uma matriz de  $n \times m$  das derivadas parciais:

$$dX = J(\theta) d\theta$$

em que o elemento  $(i,j)$  de  $J$  é dado por:

$$J_{ij} = \delta f_i / \delta x_j$$

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animacão Estruturas Articuladas

## Utilidade do Jacobiano



$$\dot{X} = J(\theta)\dot{\theta}$$

$\dot{X}$  velocidade do corpo final (vector com 6 elementos: velocidades lineares,  $V$  e velocidades angulares,  $\Omega$ ).

$\dot{\theta}$  derivada em função do tempo do vector de estado.

**Jacobiano mapeia velocidades no vector de estado em velocidades no Espaço Cartesiano.**

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## Utilidade (Cont)



O Jacobiano é uma transformação linear em função do tempo.

O Problema da cinemática inversa corresponde a resolver:  $\theta = f^{-1}(X)$ .

Apesar de  $f$  ser, normalmente, não linear, o problema pode passar a ser linear se aplicar-se à localização actual o calculo do inverso do jacobiano:  $d\theta = J^{-1}(dX)$

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animacão Estruturas Articuladas

## Solução Iterativa

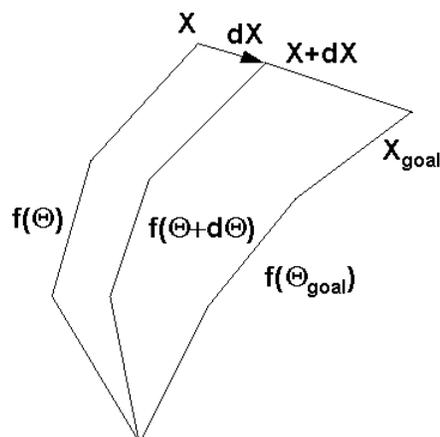


1. Constrói-se o Jacobiano.
2. Inverte-se o Jacobiano usando-se métodos iterativos.
3. Obtém-se os incrementos a cada valor do vector de estado.
4. Quando o resultado estiver na vizinhança do objectivo para-se. Se não volta-se para 3.

**Disciplina de Robótica (obrigatória para II)**

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## Iterações



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animacão Estruturas Articuladas

## Aplicacão a Esqueletos



- Cinemática Inversa como um motor associado a cada corpo do esqueleto.
- Animação do objectivo.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## Motor



- Seja um esqueleto uma hierarquia de de nós organizados em rede um dos quais é a raiz e em que qualquer nó podem ter mais do que um “filho”:
- Pode-se aplicar o motor de cinemática inversa entre qualquer nós desde que o nó ao qual se aplica o movimento esteja num nível superior.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animacão Estruturas Articuladas

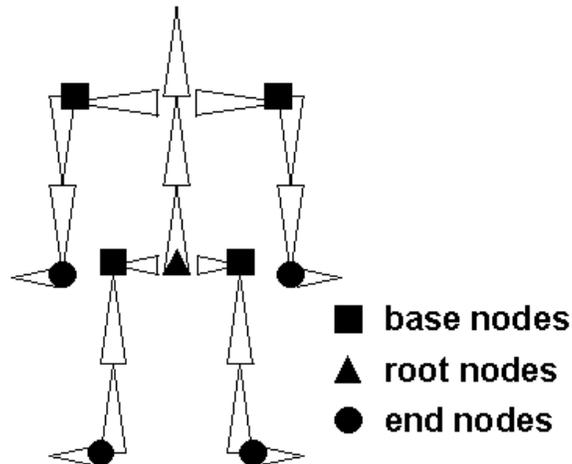
## Motor (cont)



- Podem-se aplicar vários motores a várias partes do esqueleto, os chamados “nós vazios”.
- Quando existem corpos cujo movimento é definido por mais do que um motor é necessário associar prioridades a cada motor.
- Motores de mais baixa prioridade controlam “nós vazios” que ainda não tenham sido processados.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## Um Esqueleto



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animação Estruturas Articuladas

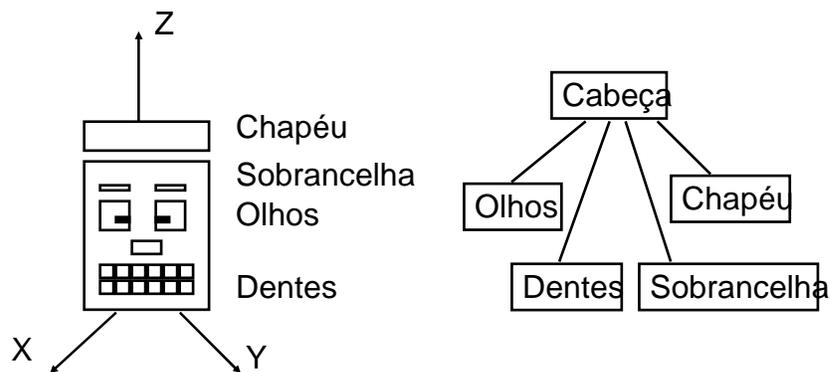
## Animar o objectivo



- Um objectivo (*goal*) é uma restrição que o motor pretende atingir o qual pode ser animado.
- O motor tenta minimizar a distância entre a restrição e a posição do corpo final.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## 6.Caso de Estudo



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animação Estruturas Articuladas

## Transformações



Definem-se as funções importantes:

- Rotação da cabeça em função de  $t$
- Rotação dos olhos em função de  $t$
- Translação e escalamento dos dentes

Segue-se:

- Refinamentos
- Compensações

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

## Processo



1. Animação inicia-se no topo da hierarquia (cabeça);
2. Anima-se cada um dos sub-níveis (chapéus, etc.) para o que se definem funções, por exemplo, rotação de um olho em função do tempo.

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animacão Estruturas Articuladas

## Cinemática Inversa



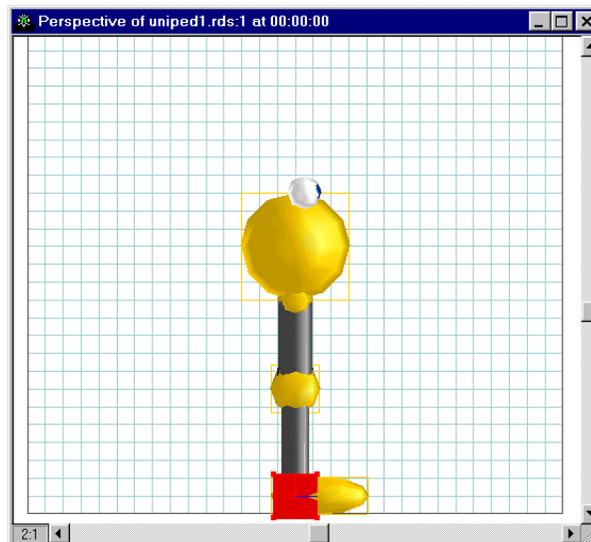
Exemplo da empresa Autonomous Effects Inc.

([www.afx.com](http://www.afx.com))

em <http://www.afx.com/tutorial/iktut.htm>

©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

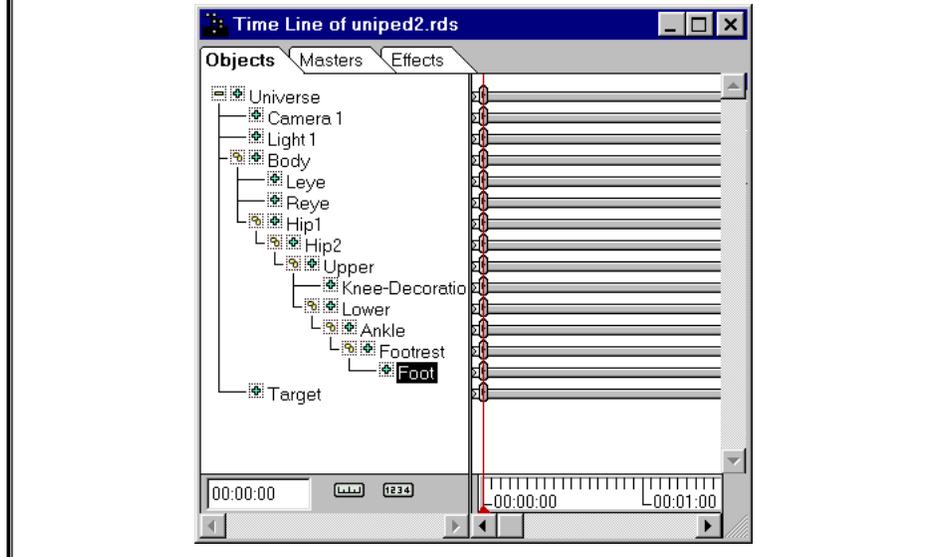
## Definir o Modelo



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

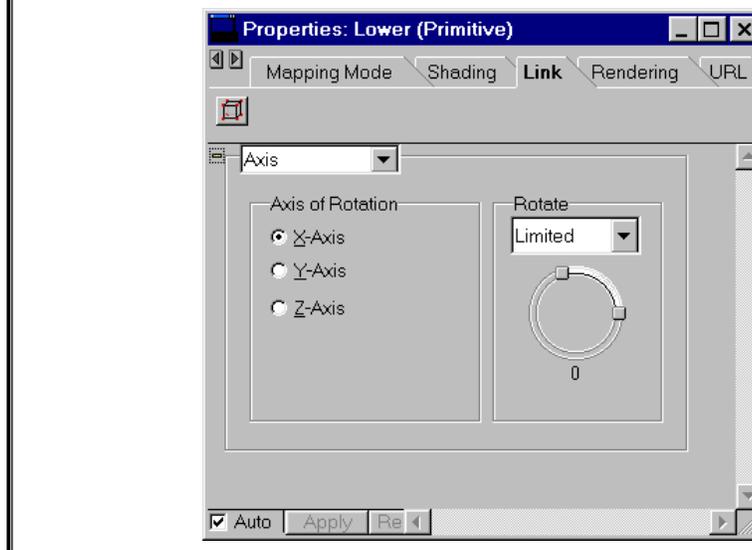
# Animacão Estruturas Articuladas

## Definir as Animações



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

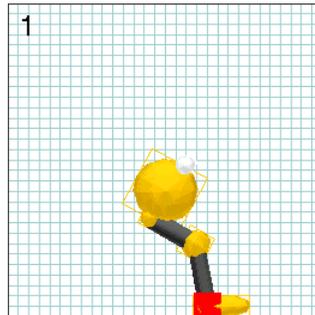
## Introduzir Restrições



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

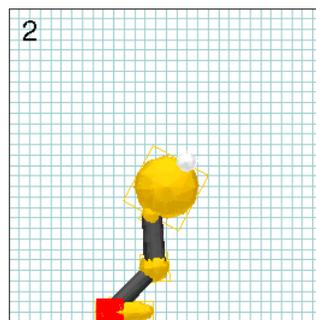
# Animacão Estruturas Articuladas

Quadro 1



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

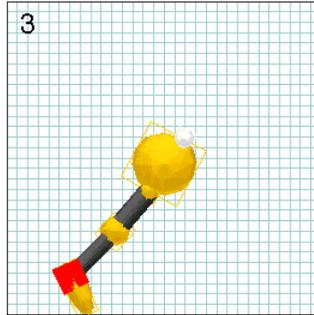
Quadro 2



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

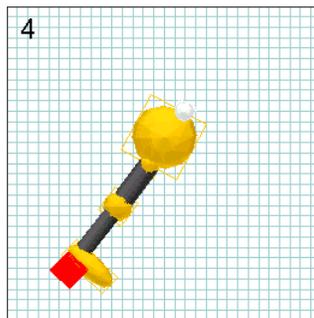
# Animacão Estruturas Articuladas

Quadro 3



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

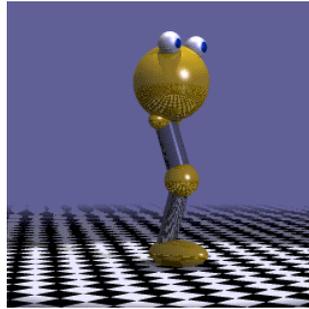
Quadro 4



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000

# Animacão Estruturas Articuladas

Um Quadro



©MRG & Instituto Superior Técnico, 2000