

# Legato: Ajuste de Primitivas Utilizando Algoritmos Genéticos

Fernando E. R. Mattioli, Lázaro V. O. Lima, Keynes M. Kanno,  
Edgard A. Lamounier Jr., Alexandre Cardoso  
Universidade Federal de Uberlândia  
Uberlândia-MG, Brasil  
{mattioli.fernando, lazavini, keyneskanno}@gmail.com,  
{lamounier, alexandre}@ufu.br

## Abstract

*Interaction between virtual objects and avatars is an important usability element in Virtual Reality Systems. Specifically in the interaction of virtual hands and objects, grasping an object is a very complex task, due to many shape and motion constraints. By matching the shape of an irregular object with a simpler primitive, it is possible to model the virtual hand behaviour replacing the object by the primitive. In this work, Genetic Algorithms are used in the optimisation of model adjustment for virtual objects, in a shape-matching task, a first step toward the grasping synthesis.*

## 1. Introdução

A síntese dos movimentos de uma mão virtual constitui crescente área de pesquisa nos domínios da Computação Gráfica e Realidade Virtual [6]. Os diversos trabalhos desenvolvidos em animação de mãos virtuais, tais como [1], [13] e [11], têm como resultado comum a produção de animações e modelos mais consistentes com as leis da física e, consequentemente, mais realísticos. Analogamente, em aplicações de Realidade Virtual que envolvam interação entre mãos e objetos virtuais (por exemplo em aplicações voltadas à reabilitação humana), a fidelidade da representação da forma e do comportamento destes elementos virtuais é fator determinante na usabilidade e na eficácia do sistema.

Ainda neste domínio, o problema da preensão (*grasp*) não possui uma solução trivial, uma vez que se busca o equilíbrio físico entre o objeto e a mão (ou garra) virtual do princípio ao fim da ação [14]. A síntese automática da preensão é um dos problemas clássicos em robótica [2], dadas as várias restrições de movimento e forma associadas a esta tarefa.

Existem sistemas que sintetizam a preensão a partir de um conjunto de posições pré-definidas da mão virtual e

do ajuste da forma do objeto virtual (*shape-matching*) [5]. Neste trabalho, foram utilizados Algoritmos Genéticos para o ajuste de formas primitivas a objetos virtuais. Estes algoritmos, baseados na seleção natural [4], combinam a sobrevivência dos indivíduos (soluções) mais aptos com a recombinação de estruturas de dados produzidas aleatoriamente. A cada geração, a aptidão de cada um dos indivíduos é avaliada e um novo conjunto de indivíduos é produzido, por meio de operadores baseados na genética, tais como cruzamento (*crossover*), mutação e inversão [7].

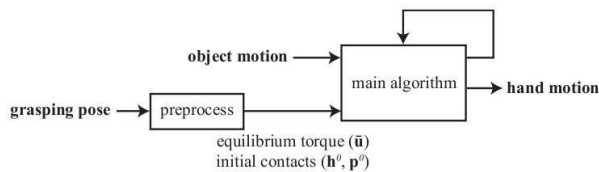
Na Seção 2 alguns trabalhos relacionados são apresentados. Em seguida, é apresentada uma discussão da solução proposta com suas respectivas etapas de desenvolvimento. Finalmente, são apresentados os resultados obtidos, as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

## 2. Trabalhos relacionados

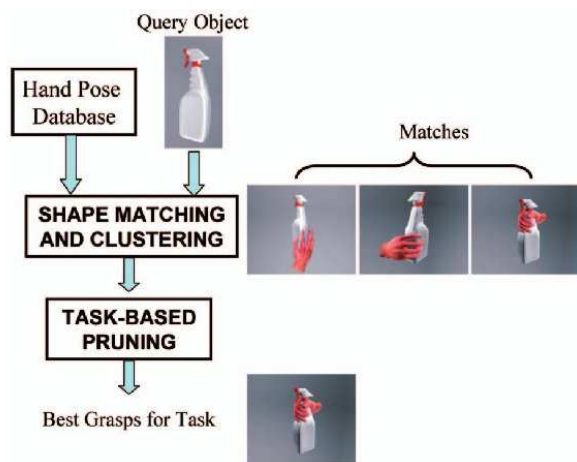
A síntese dos movimentos de uma mão virtual tem sido abordada em muitos trabalhos tais como [5] e [6]. Neste contexto, diversos algoritmos de busca e otimização têm sido desenvolvidos, de acordo com os diferentes parâmetros de entrada utilizados em cada situação. Dentre os algoritmos utilizados, alguns autores [2, 3] avaliaram a aplicação de Algoritmos Genéticos à síntese da preensão em um braço robótico.

Liu [6] desenvolveu um sistema em que, a partir da posição de uma mão virtual (*grasping pose*) e da trajetória desejada para um dado objeto, é produzida uma animação que apresenta a manipulação do objeto pela mão virtual. Na Figura 1 é apresentada uma visão geral desse sistema. No trabalho de Li [5], uma abordagem um pouco diferente é adotada. O sistema tem como parâmetros de entrada uma posição pré-determinada da mão virtual e um objeto virtual (objeto alvo). Uma base de dados com diferentes modelos de preensão é consultada para determinar o modelo mais adequado ao objeto em questão. A partir de um conjunto de possíveis posições da mão virtual para interação com este

modelo, é selecionada a posição que melhor se aplica à tarefa que se deseja realizar (por exemplo, movimentação do objeto). A Figura 2 ilustra o algoritmo principal desta aplicação.



**Figura 1. Síntese dos movimentos de uma mão virtual [6].**



**Figura 2. Síntese de preensão [5].**

Os trabalhos acima descritos, assim como os apresentados em [10] e [15], revelam a importância do desenvolvimento de técnicas de interação entre avatares e objetos virtuais. Entretanto, estes trabalhos não abordam especificamente o ajuste de modelos a objetos virtuais, que pode ser utilizado no sentido de se fornecer informações complementares com relação à forma destes objetos aos algoritmos de síntese de preensão [5] e de movimento [6].

### 3. Materiais e métodos

O presente trabalho foi desenvolvido utilizando-se o ambiente de modelagem Blender 3D [12] e a linguagem de programação Python [9]. O problema abordado neste trabalho consiste na otimização do ajuste de modelos a objetos virtuais utilizando Algoritmos Genéticos. Esta otimização de modelos consiste no primeiro passo para a síntese de preensão, que está em desenvolvimento e será abordada em trabalhos futuros. Partindo de um conjunto de primitivas simples (cubos, cilindros e esferas), uma população de prováveis soluções é gerada, contendo instâncias de diferentes

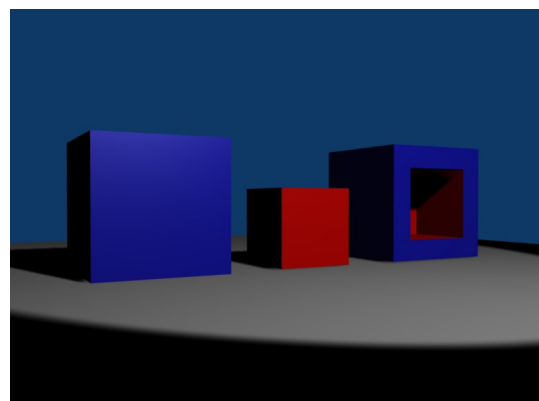
dimensões destas primitivas. O algoritmo genético então, avalia as diferentes soluções e aplica os operadores genéticos, produzindo a cada “geração” uma nova população de soluções candidatas. Finalmente, escolhe-se dentre as soluções da última geração a que melhor se ajusta ao objeto em questão.

Para o cálculo da aptidão de uma possível solução, foi realizada uma análise em duas etapas: primeiramente, buscou-se determinar se a solução em questão representa um envoltório satisfatório para o objeto alvo (em outras palavras, determinar se o objeto alvo “cabe” perfeitamente no modelo analisado). Em seguida, foi calculada a diferença entre o volume do modelo e o volume do objeto alvo. A melhor solução é aquela que envolve por completo o objeto alvo e ao mesmo tempo apresenta o menor valor para a diferença de volume.

#### 3.1. Compatibilidade das dimensões

Uma primeira alternativa para se verificar a compatibilidade entre as dimensões do modelo e do objeto alvo foi a recuperação e comparação das dimensões dos envoltórios (*bounding boxes*) de cada um destes objetos. No entanto, tal abordagem resulta em perda de precisão para alguns objetos irregulares, já que os envoltórios são sempre caixas retangulares, não se ajustando às diversas formas destes objetos.

Desta forma, optou-se por uma outra alternativa, que consiste em verificar a diferença entre as formas do modelo e do objeto alvo, alinhando os dois objetos e subtraindo suas formas. Desta operação resulta um volume que pertence ao primeiro objeto mas não ao segundo. Se todo o volume do primeiro objeto pertence ao segundo, ou seja, se o primeiro objeto “cabe” no segundo, o resultado do operador de diferença é um objeto de volume zero (um ponto). A Figura 3 apresenta o resultado desta operação para o caso em que o objeto menor (centro) foi subtraído do objeto maior (esquerda) produzindo o objeto da direita.



**Figura 3. Diferença de volumes.**

### 3.2. Cálculo do volume por triangulação do sólido

A triangulação é o processo de se dividir determinada superfície em um número finito de triângulos. A triangulação possibilita cálculos precisos de área de superfícies e boa aproximação para o cálculo do volume [8].

Dividindo-se um objeto 3D em vários objetos menores, de volumes calculáveis, pode-se aproximar o volume do objeto 3D pelo somatório dos volumes dos objetos menores. Desta forma, pode-se dividir o objeto 3D em objetos menores, de base triangular, a partir da triangulação das superfícies deste objeto. Para o cálculo do volume de cada um dos objetos menores, foi realizado o seguinte procedimento:

- Cálculo da área da base do objeto em questão (base triangular);
- Cálculo do vetor normal médio (média dos três vetores normais) do objeto em relação ao plano  $xy$ ;
- Cálculo do volume do objeto (área da base  $\cdot$  altura média).

As equações 1, 2 e 3 apresentam o cálculo do volume de um sólido (prisma), a partir das coordenadas espaciais de seus vértices.

$$V = S_{base} \cdot H_{média} \quad (1)$$

onde:

$$S_{base} = 0.5 \cdot |x_1(y_3 - y_2) + x_2(y_1 - y_3) + x_3(y_2 - y_1)| \quad (2)$$

e

$$H_{média} = \frac{z_1 + z_2 + z_3}{3} \quad (3)$$

As equações acima mostram que o cálculo da base do prisma foi realizado utilizando-se a equação da área do triângulo, a partir das coordenadas geométricas dos três vértices ( $x_n$ ,  $y_n$  e  $z_n$ ), com  $n = 1, 2, 3$ . A altura do prisma foi calculada pela média das alturas dos três vértices ( $z_1$ ,  $z_2$  e  $z_3$ ), o que resulta em um valor médio da altura do prisma em relação ao plano  $xy$ .

### 3.3. Cálculo da aptidão

Experimentalmente, definiu-se a aptidão de cada provável solução como sendo o inverso da diferença entre o volume da solução e o volume do objeto alvo, como mostrado na Equação 4.

$$\text{Aptidão} = \frac{1}{V_{solução} - V_{alvo}} \quad (4)$$

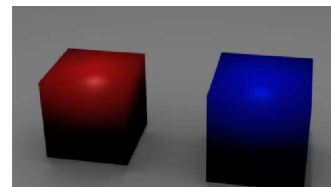
Uma vez constatada a compatibilidade entre as formas do objeto alvo e da solução analisada, procede-se ao cálculo da aptidão da solução em questão. Como representado pela Equação 4, a melhor solução será aquela que apresentar a menor diferença de volumes, tendo suas dimensões compatíveis com as dimensões do objeto alvo.

## 4. Resultados obtidos

Para validar a solução proposta, o algoritmo genético implementado foi executado com diferentes combinações de parâmetros, tais como tamanho da população, probabilidade de cruzamento, probabilidade de mutação, dentre outros. Nesta seção, são apresentados os resultados de alguns dos experimentos realizados, nos quais buscou-se ajustar um modelo a 2 objetos alvo conhecidos (primitivas).

### 4.1. Objeto alvo: cubo

O objeto alvo desta seção consiste em um cubo, com dimensão unitária (aresta de 1 unidade). Foram realizadas 5 execuções do algoritmo genético com os seguintes parâmetros: população - 50; pc - 0.6; pm - 0.01; seleção do tipo roleta; número de gerações - 20; elitismo - 20. Após as 5 execuções, a melhor aproximação obtida foi um paralelepípedo de dimensões 1.1, 1.2 e 1.1. Esta solução é apresentada ao lado do objeto alvo na Figura 4. A Tabela 1 apresenta os outros resultados obtidos nas 5 execuções do algoritmo genético para este mesmo objeto alvo.



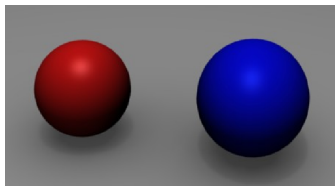
**Figura 4. Objeto alvo cubo e melhor aproximação encontrada.**

**Tabela 1. Resultados do algoritmo genético: cubo unitário.**

Execução	Prim.	Dim. X	Dim. Y	Dim. Z
1	Par.	1.2	1.7	1.0
2	Cil.	1.6	1.3	1.1
3	Par.	1.1	1.2	1.1
4	Cil.	1.5	1.4	1.0
5	Par.	1.4	1.1	1.0

## 4.2. Objeto alvo: esfera

Neste experimento, foram utilizados os mesmos parâmetros da Seção 4.1, no entanto tendo como objeto alvo uma esfera de diâmetro unitário. Novamente, após 5 execuções do algoritmo genético com os parâmetros apresentados, a melhor aproximação obtida para a esfera foi um modelo esférico de dimensões 1.2, 1.1 e 1.1. A solução é apresentada ao lado do objeto alvo na Figura 5. A Tabela 5 apresenta o resultado do algoritmo genético em cada uma das 5 execuções para o objeto alvo esférico.



**Figura 5. Objeto alvo esfera e melhor aproximação encontrada.**

**Tabela 5. Resultados do algoritmo genético: esfera unitária.**

Execução	Prim.	Dim. X	Dim. Y	Dim. Z
1	Cil.	1.0	1.0	1.2
2	Esf.	1.2	1.2	1.2
3	Esf.	1.1	1.3	1.1
4	Esf.	1.1	1.8	1.1
5	Esf.	1.2	1.1	1.1

## 5. Conclusões e trabalhos futuros

Algoritmos Genéticos apresentam-se como uma importante alternativa para a resolução de problemas de otimização e ajuste de primitivas a objetos virtuais. Com os experimentos realizados neste trabalho foi possível avaliar a viabilidade da utilização destes algoritmos para o ajuste de primitivas simples, tais como paralelepípedos, cilindros e esferas. Com os resultados observados pode-se concluir que os algoritmos implementados tiveram um desempenho satisfatório nos experimentos realizados.

A utilização da diferença de volumes juntamente com o cálculo de volume por triangulação, ambos abordados neste trabalho, apresentam-se como importantes técnicas de avaliação do ajuste de primitivas a objetos virtuais, complementares à utilização de envoltórios retangulares.

Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se a extensão dos algoritmos implementados ao ajuste de objetos de forma irregular e a implementação dos algoritmos de síntese de preensão. Esta abordagem possui diversas aplicações tais como ambientes virtuais inteligentes e manipula-

ção de objetos irregulares por avatares em ambientes virtuais.

## Referências

- [1] I. Albrecht, J. Haber, and H. Seidel. Construction and animation of anatomically based human hand models. In *Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation*, pages 98–109. Eurographics Association Aire-la-Ville, Switzerland, Switzerland, 2003.
- [2] A. Chella, H. Dindo, F. Matraxia, and R. Pirrone. Real-time visual grasp synthesis using genetic algorithms and neural networks. *Lecture Notes in Computer Science*, 4733:567, 2007.
- [3] J. Fernandez Jr and I. Walker. A biologically inspired fitness function for robotic grasping. In *Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conf. GECCO-99*, W. Banzhaf, J. Daida, AE Eiben, MH Garzon, V. Honavar, M. Jakiela, and RE Smith, Eds. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, pages 1517–1522, 1999.
- [4] D. Goldberg. *Genetic Algorithms in Search and Optimization*. Addison-wesley, 1989.
- [5] Y. Li, J. Fu, and N. Pollard. Data-driven grasp synthesis using shape matching and task-based pruning. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(4):732–747, 2007.
- [6] C. K. Liu. Dextrous manipulation from a grasping pose. *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH)*, 28(3), 2009.
- [7] M. Mitchell. *An introduction to genetic algorithms*. The MIT press, 1998.
- [8] I. Nystrom, J. K. Udupa, G. J. Grevera, and B. E. Hirsch. Area of and volume enclosed by digital and triangulated surfaces. Disponível em: <[http://www.cb.uu.se/~ingela/Manuscripts/SPIE4681\\_80.pdf](http://www.cb.uu.se/~ingela/Manuscripts/SPIE4681_80.pdf)>, 2002. Acesso em: 11 nov. 2009.
- [9] Python Community. Python programming language - official website. Disponível em: <<http://www.python.org>>, 2009. Acesso em: 08 set. 2009.
- [10] H. Rijpkema and M. Girard. Computer animation of knowledge-based human grasping. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 25(4):339–348, 1991.
- [11] S. Sueda, A. Kaufman, and D. Pai. Musculotendon simulation for hand animation. In *ACM SIGGRAPH 2008 papers*, page 83. ACM, 2008.
- [12] The Blender Foundation. Blender: site oficial. Disponível em: <<http://www.blender.org>>, 2009. Acesso em: 14 dez. 2009.
- [13] W. Tsang, K. Singh, and E. Fiume. Helping hand: an anatomically accurate inverse dynamics solution for unconstrained hand motion. In *Proceedings of the 2005 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation*, page 328. ACM, 2005.
- [14] S. VIERTEL, M. HOUNSELL, and R. ROSSO JR. Raciocínios Geométricos na Avaliação da Preensão de um Robô Virtual. In *Congresso Brasileiro de Autômática-CBA*, 6p, 2008.
- [15] K. Yamane, J. J. Kuffner, and J. K. Hodgins. Synthesizing animations of human manipulation tasks. *ACM Trans. Graph.*, 23(3):532–539, 2004.