

## 基于交互式 FOA 算法和服装部件库的三维服装设计

陆晗翔, 刘晓刚

东华大学 服装与艺术设计学院, 上海 200051

**摘要:** 针对传统的三维服装部件曲面偏置方法存在局部形状难以控制以及部分特殊部件造型方法无法准确定义的缺点, 结合果蝇优化算法的快速搜索能力和全局最优能力, 在参数化造型方法的基础上, 建立衣领、衣袖和衣身的三维部件库, 在客户满意度最佳和设计材料最低的情况下, 实现服装部件的模块化和参数化, 便于后期三维服装设计模型的快速调用。该方法可以有效地提高三维服装设计的效率, 避免重复繁琐的服装部件原始造型过程。

**关键词:** 交互式; 果蝇优化算法; 三维服装设计

**中图分类号:** TP391.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2016)04-0595-05

## 3D Fashions Design Based on Interactive FOA Algorithm and Parts Library

LU Han-xiang, LIU Xiao-gang

Fashion and Art Design Institute/Donghua University, Shanghai 200051, China

**Abstract:** This paper established the 3D fashion parts library based on the shaped parameters combining with the ability to quickly search of Flying Fruit Optimization Algorithm and the global optimization capability instead of the traditional 3D surface bias method, which was difficult to control and define accurately the local shape as well as the modeling for special parts, so as to achieve a modularization and parameterization of fashion parts for easily using the models in fashion parts library under the best customer satisfaction and the most economical materials. The proposed method could effectively improve the efficiency of 3D fashion design to avoid a duplication of tedious original modeling for fashion parts.

**Keywords:** Interactive; Flying Fruit Optimization Algorithm; 3D fashion design

随着计算机技术和服装 CAD 技术的快速发展, 二维服装 CAD 设计在服装款式设计、排料和打版过程中均得到了广泛应用, 并取得了一定成果。虽然三维服装 CAD 设计取得了一定研究成果, 但是三维服装设计的过程中需要设计者具备相应的专业基础和较多的交互设计工作量, 导致客户无法参与三维服装 CAD 设计<sup>[1]</sup>。针对该问题, 本文首先将服装部件如衣身、衣领、衣袖、口袋等随机组合形成整体衣服, 之后通过用户交互的方式实现评分, 利用果蝇优化算法和服装部件库的重复使用, 结合用户交互式评价的适应度, 获得用户满意的三维服装设计结果。

### 1 果蝇优化算法

果蝇优化算法(Fruit Fly Optimization Algorithm, FOA)是受果蝇觅食行为启发所提出的一种生物寻优算法<sup>[2]</sup>, 其算法流程如下:

(1) 设置 FOA 算法参数: 果蝇群体大小  $Popsiz$ e 和最大迭代次数  $Iteration$ ,  $X\_begin$ 、 $Y\_begin$  表示随机初始化果蝇群体位置;

(2) 通过公式 (1) 和 (2) 计算果蝇个体寻优的随机方向和距离;

$$x_i = X\_begin + Value \times rand() \quad (1)$$

$$y_i = Y\_begin + Value \times rand() \quad (2)$$

其中,  $Value$  表示果蝇的搜索距离;  $x_i$  和  $y_i$  分别表示果蝇个体的下一时刻的位置。

(3) 通过公式 (3) 计算果蝇个体和原点之间的距离  $d_i$ , 而后通过公式 (4) 计算果蝇个体的味道浓度  $S_i$ ;

$$d_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2} \quad (3)$$

$$s_i = \frac{1}{d_i} \quad (4)$$

(4) 将味道浓度  $S_i$  代入味道浓度判定函数, 如公式 (5), 计算出当前位置的果蝇个体味道浓度;

收稿日期: 2016-03-02

修回日期: 2016-03-28

作者简介: 陆晗翔(1991-),女,江苏太仓人,在读硕士研究生,主要研究方向为服装设计理论与应用. E-mail:11111111hao@sina.com

$$Smell_i = Function(s_i) \tag{5}$$

- (5) 找到果蝇群体中最佳味道浓度值由  $Smell_b$  表示和最佳位置由  $x_b$  和  $y_b$  表示;
- (6) 保留并记录果蝇最佳位置和最佳味道浓度, 最佳味道浓度  $Smell_{best}=Smell_b$ , 果蝇初始位置  $X_{begin}=x_b$ ,  $Y_{begin}=y_b$ , 同时果蝇群体向当前最佳位置搜寻;
- (7) 进入迭代寻优, 重复迭代步骤 (2) ~ (5), 同时判断味道浓度是否好于前一迭代味道浓度; 若成立, 则转到步骤 (6)。

## 2 建立三维服装部件库

目前, 三维服装部件模型主要通过曲面偏置的方法构建出来, 该方法存在局部形状难以控制以及部分特殊部件造型方法无法准确进行定义<sup>[3]</sup>。针对上述缺点, 本文利用参数化造型方法, 建立衣领、衣袖和衣身的三维部件库, 实现服装部件的模块化和参数化, 便于后期三维服装设计的模型快速调用, 提高三维服装设计的效率, 避免重复繁琐的服装部件原始造型过程。

### 2.1 建立三维服装部件库

为了便于后期三维服装设计时, 服装部件模型的快速调用, 首先需设计相应的衣领类、衣袖类和衣身类的三维服装设计部件库数据结构。

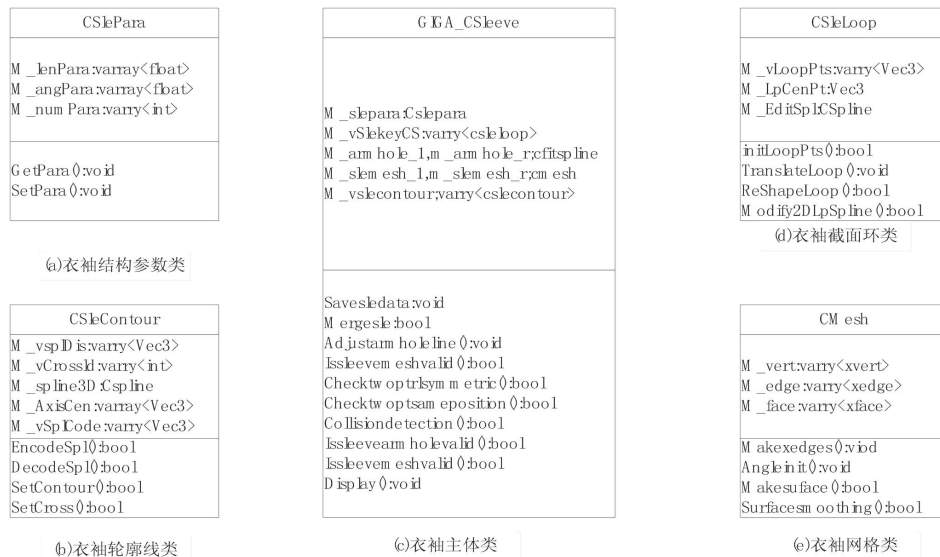


图 1 衣袖类定义  
Fig.1 Definition of sleeves

### 2.2 拼接服装部件

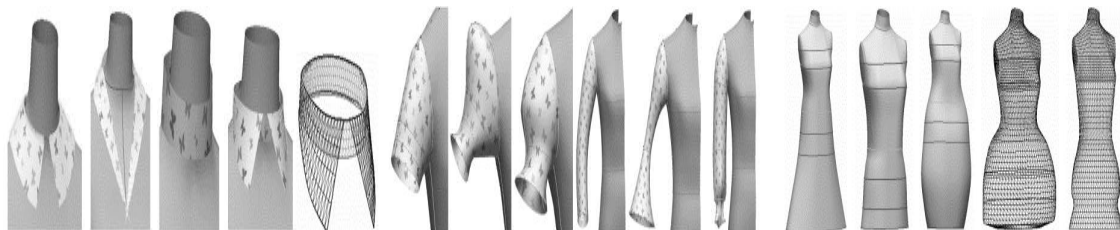


图 2 衣领部件  
Fig.2 Parts in collar

图 3 衣袖部件  
Fig.3 Parts in sleeve

图 4 衣身部件  
Fig.4 Parts in fashion

衣袖和衣领通过拼接线  $F_{neck}$  和  $F_{arm}$  将二者和衣身拼接成一个整体。将拼接线定义为  $F=(C,\{P_i\},\{T_i\},\{L_i\})$ 。其中,  $C$  表示空间曲线;  $\{P_i\}$  表示  $C$  的控制点在衣身网格曲面上投影点的集合;  $\{T_i\}$  表示  $\{P_i\}$  所在三角形序号的集合;  $\{L_i\}$  表示  $\{P_i\}$  之间的线段集合<sup>[4]</sup>。在生成衣领和衣袖部件时, 以衣身为参考生成拼接线  $F_{neck}$  和  $F_{arm}$ , 对于拼接线上每个点  $P_i$  可根据其对应的  $T_i$  获得所在衣身网格三

角形的顶点( $Q_{i0}, Q_{i1}, Q_{i2}$ ),  $P_i$  可通过公式 (6) ~ (8) 获得, 其中( $u, v, w$ )为重心坐标。

$$P_i = f(T_i, u_0, v_0, w_0) \tag{6}$$

$$u_0 = \frac{U}{U + V + W}, v_0 = \frac{V}{U + V + W}, w_0 = \frac{W}{U + V + W} \tag{7}$$

$$u = \frac{\|P_i Q_{i1} \text{ 到 } Q_{i2} Q_{i1}\|}{\|Q_{i0} Q_{i1} \text{ 到 } Q_{i2} Q_{i1}\|}, v = \frac{\|P_i Q_{i0} \text{ 到 } Q_{i2} Q_{i0}\|}{\|Q_{i1} Q_{i0} \text{ 到 } Q_{i2} Q_{i0}\|}, w = \frac{\|P_i Q_{i0} \text{ 到 } Q_{i1} Q_{i0}\|}{\|Q_{i2} Q_{i0} \text{ 到 } Q_{i1} Q_{i0}\|} \tag{8}$$

当服装部件应用于其他衣身时, 由于具有相同的拓扑结构, 所以可根据拼接线中所记录的  $T_i$  获得  $P_i$  在新的衣身网格中所在的三角形顶点( $Q'_{i0}, Q'_{i1}, Q'_{i2}$ ), 然后利用公式 (9) 计算出  $P_i$  在新衣身所对应的点  $P'_i$ 。

$$P'_i = u_0 Q'_{i0} + v_0 Q'_{i1} + w_0 Q'_{i2} \tag{9}$$

当重新计算出所有控制点的新坐标后, 即可将拼接线映射到新的衣身网格, 根据映射后的拼接线将部件网格按三角形最小内角最大化的原则进行缝合完成部件拼接。

### 3 基于交互式 FOA 的三维服装设计系统

#### 3.1 人机交互

为了最大限度地发挥人和计算机之间的相互优势, 将人和计算机结合起来, 运用计算机定量表达的逻辑推理能力和人类定性认识的整体效应, 实现定量和定性表达的最优化选择。

#### 3.2 设计框架

基于交互式 FOA 的三维服装设计系统的设计模块图如图 5 所示<sup>[5]</sup>:

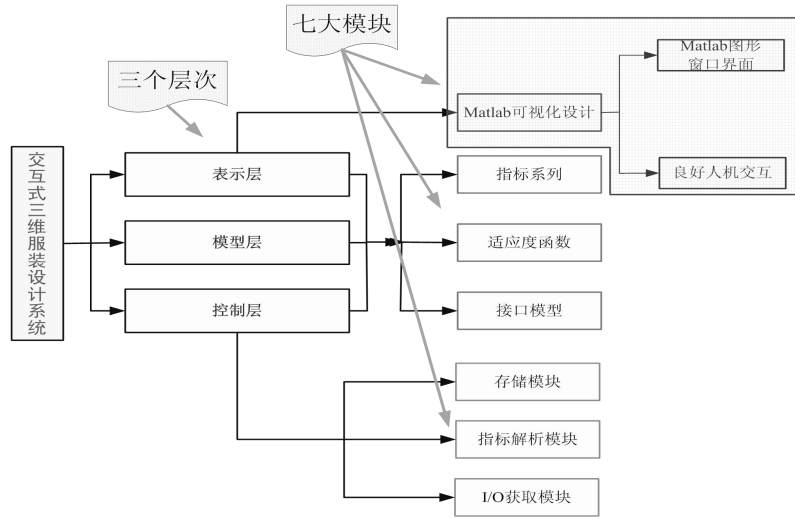


图 5 交互式三维服装设计系统  
Fig.5 Interactive 3D fashion design system

#### 3.3 适应度函数

为了实现三维服装设计运算, 提出一种基于部件指针的编码方式。部件指针指向服装三维部件或者纹理数据结构的指针类型。果蝇个体直接由部件指针构成, 从而实现三维部件的灵活拼接。果蝇个体定义成为  $\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6\}$ , 其含义如图 6 所示。编码时, 首先初始化果蝇个体位置的部件指针, 之后从部件库中读取部件数据并将其保存到响应的类结构, 从而形成一个代表三维服装的果蝇个体, 图 7 表示一个果蝇个体的组成和其代表的三维服装。解码时, 无需进行相应的变换处理,

利用果蝇个体中的部件指针就可以实现服装部件的组合、拼接和三维显示等操作。

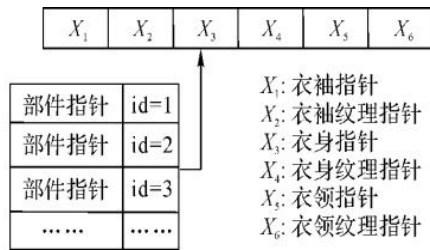


图 6 果蝇个体定义  
Fig.6 Definition of a fruit fly

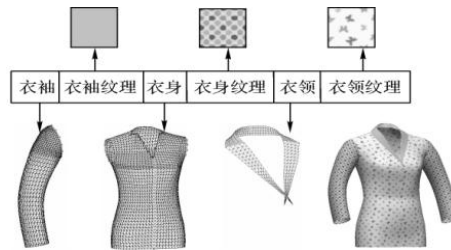


图 7 果蝇个体和其形成的三维服装  
Fig.7 A fruit fly and 3D fashions

由于服装好坏的评价存在主观性强和无法定量计算的缺点，通过人机交互评分的方式则更能合理的体现用户对于所设计服装的喜好。由于服装由不同部件构成，不同的用户对于服装部件的偏重程度又有所不同。在此基础上，通过三维服装组件分别打分的方式，计算三维服装设计的适应度。首先由用户对服装个体的衣身、衣袖及衣领进行打分，依次用  $F_{gi}$ 、 $F_{si}$ 、 $F_{ci}$  表示，之后将获得的分值乘以相应的权重系数  $I_g$ 、 $I_s$ 、 $I_c$ ，最后将加权分值相加，获得三维服装的整体适应度  $Fitness$ 。不同服装部件的权重系数由用户根据偏好设定<sup>[6]</sup>。

$$Fitness = I_g F_{gi} + I_s F_{si} + I_c F_{ci} \tag{9}$$

目标函数以三维服装布料使用量最少为目标<sup>[7]</sup>：

$$\begin{aligned} \min f_1(x) = & 0.7854x_1x_2^2(3.3333x_3^2 + 14.933x_3 - 43.0934) \\ & - 1.508x_1(x_6^2 + x_7^2) + 7.477(x_6^3 + x_7^3) \\ & + 0.7854(x_4x_6^2 + x_5x_7^2) \end{aligned} \tag{10}$$

$$A_1 = [(745x_2^{-1}x_3^{-1}x_4)^2 + 16.9 \cdot 10^6]^{0.5} \tag{11}$$

$$B_1 = 0.1x_6^3 \tag{12}$$

$$A_2 = [(745x_2^{-1}x_3^{-1}x_5)^2 + 157.5 \cdot 10^6]^{0.5} \tag{13}$$

$$B_2 = 0.1x_7^3 \tag{14}$$

### 3.4 约束条件

约束条件包括共点约束、对称约束、尺寸约束、干涉约束和边界约束等 11 个约束条件<sup>[8]</sup>：

$$g_1(x) = 27x_1^{-1}x_2^{-2}x_3^{-1} - 1 \leq 0 \tag{15}$$

$$g_2(x) = 397.5x_1^{-1}x_2^{-2}x_3^{-2} - 1 \leq 0 \tag{16}$$

$$g_3(x) = 1.93x_2^{-1}x_3^{-1}x_4^3x_6^{-4} - 1 \leq 0 \tag{17}$$

$$g_4(x) = 1.93x_2^{-1}x_3^{-1}x_5^3x_7^{-4} - 1 \leq 0 \tag{18}$$

$$g_5(x) = x_2x_3 - 40 \leq 0 \tag{19}$$

$$g_6(x) = 5 - x_1x_2^{-1} \leq 0 \tag{20}$$

$$g_7(x) = x_1x_2^{-1} - 12 \leq 0 \tag{21}$$

$$g_8(x) = 1.9 - x_4 + 1.5x_6 \leq 0 \tag{22}$$

$$g_9(x) = 1.9 - x_5 + 1.5x_7 \leq 0 \tag{23}$$

$$g_{10}(x) = A_1B_1^{-1} - 1800 \leq 0 \tag{24}$$

$$g_{11}(x) = A_2B_2^{-1} - 1800 \leq 0 \tag{25}$$

### 3.5 数学模型

综上，以三维服装布料使用量最少为优化目标的优化设计问题的数学模型可由如下数学模型表

$$\text{示}^{[9]}: \min f(x) x = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7]^T \in R^7 \quad \text{s.t.} \quad g_j(x) \leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, 11) \quad (26)$$

#### 4 仿真实验

为了验证本文算法的有效性,设置 FOA 算法的参数如下:迭代次数为 100,种群大小为 30,仿真实验结果如图 8、图 9、图 10 和图 11 所示:

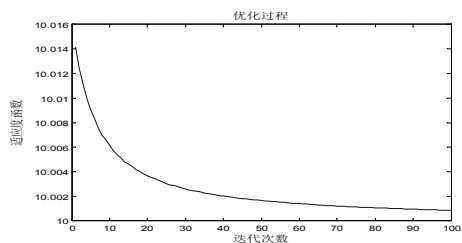


图 8 适应度函数的收敛过程

Fig.8 Convergence process of fitness function

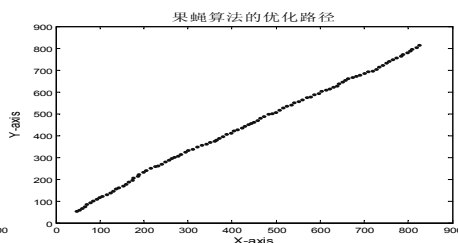


图 9 果蝇算法优化路径

Fig.9 Optimal algorithm for FOA

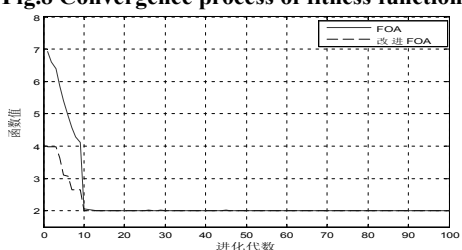


图 10 FOA 和改进 FOA 收敛结果对比图

Fig.10 Comparison between FOA and improved FOA

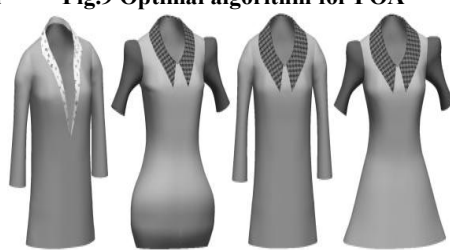


图 11 交互式 FOA 设计结果

Fig.11 Design based on interactive FOA

由仿真结果可知,交互式果蝇优化算法的优化设计问题,可以克服 FOA 算法的局部最优问题,同时收敛速度也得到较大提高。由图 10 可知,改进的 FOA 算法收敛速度快于 FOA 算法,效果较好。

#### 5 结论

针对传统的三维服装部件曲面偏置方法存在局部形状难以控制以及部分特殊部件造型方法无法准确进行定义的缺点,在参数化造型方法的基础上,建立衣领、衣袖和衣身的三维部件库,在客户满意度最佳和设计材料最低的情况下,运用交互式 FOA 算法实现服装部件的模块化和参数化,便于后期三维服装设计的模型的快速调用。实验结果表明,提出的方法可以有效地提高三维服装设计的效率,避免重复繁琐的服装部件原始造型过程。

#### 参考文献

- [1] Wu W. An image quality assessment method based on HVS[C]. Ottawa: 41st annual IEEE international carnahan conference on security technology, 2007:320-324
- [2] Pan WT. A new fruit fly optimization algorithm: Taking the financial distress model as an example[J]. Knowledge-Based Systems, 2012,26(2):69-74
- [3] Wang Z, Bovik AC. A Universal Image Quality Index[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002,9(3):81-84
- [4] Wang Z, Bovik AC, Lu L. Why is image quality assessment so difficult?[C]. Orlando: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing(ICASSP'02), 2002,4:IV3313-IV3316
- [5] Wang Z, Bovik AC, Sheikh HR, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004,13(4):600-612
- [6] 王进,陆国栋,陈龙,等.三维服装曲面的积件化设计技术及实现[J].浙江大学学报:工学版,2009,43(2):309-314
- [7] 冯海亮,林青家,陈涤,等.一种基于神经网络的服装设计曲面构造方法研究[J].计算机应用,2010,26(9):2206-2208
- [8] Cervellera C, Wen A, Chen VCP. Neural network and regression spline value function approximations for stochastic dynamic programming[J]. Computer & Operations Research, 2007,34(1):70-90
- [9] Li JF, Yang AP, Dai WZ. Modeling Mechanism of Grey Neural Network and Its Application[C]. Nanjin: IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services, 2007:404-408