

# 基于交互式遗传算法的无人机造型设计研究

赵子安<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>浙江工业大学设计与建筑学院, 浙江 杭州

<sup>2</sup>浙大城市学院艺术与考古学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2024年3月19日; 录用日期: 2024年5月29日; 发布日期: 2024年6月5日

## 摘要

本文针对产品造型设计中存在产品造型简单、方案展示度不足、个性化程度低等问题, 以无人机产品为研究对象, 在三维软件中进行基于交互式遗传算法的无人机产品造型个性化设计系统的开发。首先, 本研究对无人机产品造型进行分析, 得到控制无人机造型的关键特征。然后, 通过对关键特征的参数化建模, 以交互式遗传算法为基础, 以多样化、可拓展、可复现为目标, 构建产品造型的基因编码。最后, 完成定制化设计系统的搭建, 对系统进行定制化设计的验证, 成功生产出了契合用户偏好的无人机产品三维造型方案, 验证了系统的有效性, 实现了高复杂度产品造型的个性化设计。

## 关键词

产品造型设计, 交互式遗传算法, 参数化建模, 个性化设计

# Research on UAV Modeling Design Based on Interactive Genetic Algorithm

Zian Zhao<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>School of Design and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou Zhejiang

<sup>2</sup>School of Art and Archaeology, Hangzhou City University, Hangzhou Zhejiang

Received: Mar. 19<sup>th</sup>, 2024; accepted: May 29<sup>th</sup>, 2024; published: Jun. 5<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In this paper, for the problems of product modelling design, such as simple product modelling, insufficient solution presentation and low degree of personalisation, the development of personalised design system for unmanned aerial vehicle (UAV) product modelling based on interactive genetic algorithm is carried out in 3D software with the UAV product as the research object. Firstly, this study analyses the UAV product modelling and gets the key features to control the unmanned

文章引用: 赵子安. 基于交互式遗传算法的无人机造型设计研究[J]. 设计, 2024, 9(3): 17-26.

DOI: 10.12677/design.2024.93283

modelling. Then, through the parametric modelling of the key features, the genetic coding of the product styling is constructed based on the interactive genetic algorithm with the objectives of diversification, expandability and reproducibility. Finally, the construction of the customised design system is completed, the system is verified for customised design, and the 3D modelling scheme of the UAV product that fits the user's preference is successfully output, which verifies the validity of the system and realises the personalised design of high-complexity product modelling.

## Keywords

Product Styling Design, Interactive Genetic Algorithms, Parametric Modelling, Personalised Design

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

互联网背景下,用户需求愈发成为产品设计的重要考量因素,以用户个性化偏好为基础的产品设计也愈发成为当前的设计产出模式[1]。交互式遗传算法(IGA)是进化计算的分支,以用户主观评价为基础对产品造型进行优化,将用户情感偏好的隐性需求融入到造型设计中[2],在产品定制化领域发挥了巨大作用。目前,对于IGA的研究主要是针对算法[3][4][5]以及评价方式的改进研究[6][7][8]。其中,产品设计领域的研究有汽车前脸[9]、服装[10]、千斤顶[11]等。但现有的研究中,大多针对二维与简单三维设计方案的,产品的展示形式与产品的复杂度都有较大提升空间。据上述不足,借助MAYA软件核心脚本语言Mel进行三维建模,以三维形式进行进化方案的展示,并以无人机为应用对象,突破产品复杂度,进行IGA系统的构建。

## 2. 无人机造型特征分析

无人机(Unmanned aerial vehicle, UAV)作为近年来的先进机器人系统[12],取得了飞跃式的发展,在军用和民用领域应用广泛[13]。因无人机系统种类繁多,各类别差异较大,将具体应用范围缩小至消费级民用固定翼无人机。为了使IGA系统更好地满足用户的个性化需求,作为系统基础的产品基因应足够丰富,基因编码的组合应尽可能涵盖市面上的各无人机造型。因此,在基因构建前,需要了解无人机产品的造型特征,并运用与之契合的参数化建模手段进行表达。

首先,通过对市场上的无人机产品的整理分析,将其划分为机体、连杆、旋翼、摄像头云台、起落架五个部分,其中机体与连杆部分联系紧密,多有一体化造型,因此,可将其视作一个部分,最终将无人机造型特征总结为机体(包括连杆)、旋翼、摄像头和起落架四个部分。对四部分特征进一步分析,机体与连杆可细分为独立连杆、一体式连杆与包围连杆;旋翼可细分为上旋翼、下旋翼、三旋翼、四旋翼、开放式旋翼与包围式旋翼;摄像头云台可分为上、中、下部云台,一体式、悬挂式云台;起落架可分为独立起落架与连体起落架。此外,机体与起落架部件通过不同形式的连接组合,又可以组成新的机体形态,形成一系列的无人机造型。如图1展示了市场现有的一款五叶下旋翼,中部一体式摄像头,连体起落架与包围式机体的机型。

其次,确定各组件的基础造型前,需要充分考虑到各组件间的搭配,能否覆盖现有大部分无人机产品造型、组件间的搭配是否协调等问题。如一体式机体与独立起落架的适配性就很差。因此,以组件的

适配性、代表性、多样性等指标为标准，进行部件基础造型的确定。最终确定机体、旋翼、摄像头、起落架造型各 8 种，共 32 种配件作为系统的基础造型。由此出发，对于无人机产品的生成以零部件装配视角出发，通过各种部件的搭配组合完成产品的基础造型生成。



Figure 1. Schematic representation of drone modelling features

图 1. 无人机造型特征示意

最后，需要选定契合的参数化建模手段。在 Maya 软件平台中，分为多边形建模与曲面建模两种方式。确定建模方式前，需要考虑以下几点问题：

- 1) 参数化建模方式在开发环境下的可复现性；
- 2) 参数化建模方式对模型修改、扩展的易用性；
- 3) 应用对象的复杂度；
- 4) 尽可能产生多样化造型的目标。

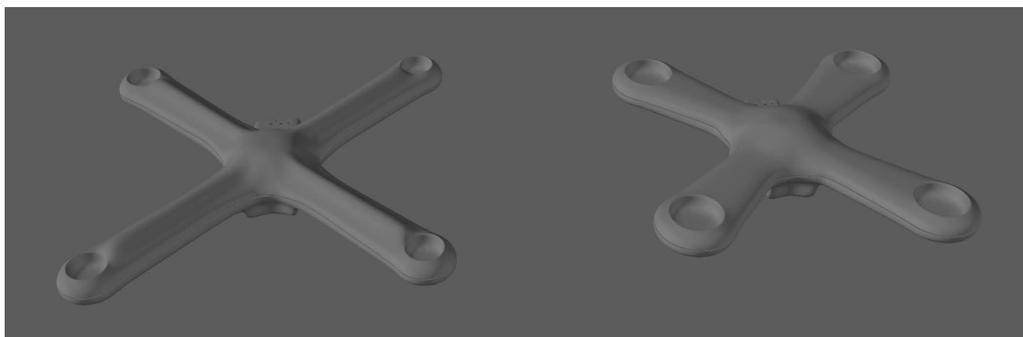
综合考虑上述几点问题，选择了可操作性更强的多边形建模方式，以期达到可复现、可扩展、多样化的目标。

### 3. 产品基因构建

产品基因构建的目标是对于现有产品造型的充分覆盖，使所建立的基因库中所包含的表现型可以对无人机产品造型尽可能的表达。

#### 3.1. 参数化建模与基因的映射

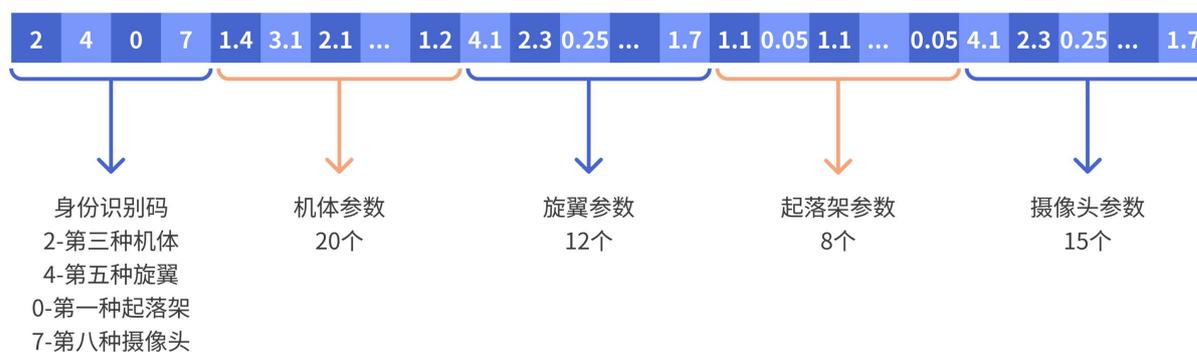
将生命科学领域中基因的形成类比到开发环境中来，就是参数化建模与产品基因映射关系的形成。在基因构建前需要确定某种映射机制才能更好的完成基因序列的编码。经特征分析发现无人机产品主要分为四个部分，对这四个部分又可以进行细分归纳出更多的造型特征。因此，通过多边形参数化建模的方式，选择显著的造型特征映射到基因编码中的机制，能够较好的达成表现型多样化的目标。为实现此种优良映射机制，在参数化建模的过程中，选择能够明显改变造型、创造不同风格观感的参数基因进入编码，帮助产品造型更好的进化。在各零部件进行装配组合生成产品基础造型后，通过调控进入基因序列的参数，又能产生在理论上的无数种造型特征，摆脱产品的造型仅仅依赖于不同部件的装配。以一种一体化机体造型为例(图 2)，选择影响连杆长度、机体大小、连杆隆起等主要造型的参数进入到基因序列中，从而达成更好的把控机体的造型，获得更好进化效果的目标。



**Figure 2.** One-piece body shape  
**图 2.** 一体式机体造型

### 3.2. 基因编码

根据已设定的映射机制，基因编码应主要包括四个部分，分别为机体、旋翼、摄像头和起落架共四个基因段落。同时，考虑到各部分组件的适配性问题，还需要在基因序列中加入零部件的身份码，作为各部分组件的识别标识，达到控制“装配”的目的，以避免适配性差的部件强行组合。最后，一条完整的基因编码应该为包括身份码在内的四个部件基因序列的组合。各部件基因长度主要由其复杂度与基因改变产生的造型变化程度共同决定。部件越复杂，能够控制造型变化的基因越多，基因的序列就越长。但考虑到后续的基因交叉变异操作，需要控制各部分组件基因的数量一致，即基因编码长度一致，这样才能够保证完成模拟染色体交叉的过程。在实际基因编码过程中，综合考虑造型多样性、基因长度一致性与部件适配性三点，将机体、旋翼、起落架、摄像头的基因数量分别设定为 20 位、12 位、8 位、15 位，加上 4 位身份码，共 59 个基因。除身份码外的 55 个参数基因控制着各部件的造型表型，每个参数基因又由八位二进制基因点位组成，共 444 位基因，参考已上市的机体参数尺寸与实际部件装配的协调程度，为各个参数基因设定阈值。基因编码示意请见图 3。



**Figure 3.** Schematic diagram of gene coding  
**图 3.** 基因编码示意图

## 4. 个性化设计系统搭建

### 4.1. 系统设计

系统主要包括四个部分，初代种群的生成，种群的打分，进化参数的调整与进化生成。在点击生成按钮后，生成第一代种群，并弹出打分窗口，让用户使用点选按钮的方式对当前种群个体进行评价。评价采用五点量表，从不喜欢到喜欢共有 5 个等级，分别对应 1~5 分的分值。在界面设计上将用户之间对

于不同分值所对应的喜好程度的标准不同纳入考量，在界面上同时出现分值与喜好程度，帮助统一用户对于分值与喜好程度的对应标准。此外，同时出现两种表示程度的方式，也可以让用户自行选择评价标准，快速做出评价判断，在一定程度上有助于降低用户打分时的疲劳水平。完成对当前种群所有个体的评价后，出现提示窗口，告知用户完成打分，并提示用户下一步操作。此时，用户可以自行调节交叉率、变异率、交叉类型与产生变异的数量共 4 个参数，调节完成后点击进化按钮即可生成下一代种群。

在用户取得满意解时还需满足种群平均分大于 3.5 或进化代数大于 10 代的算法终止条件才能结束流程，输出满意解。这是为了在一定程度上统一不同用户对于“满意”这个概念的标准，防止部分用户在获得只是稍满意的种群时就结束流程，以致丢失后续更优秀的种群。

系统使用的流程见图 4，系统主界面见图 5，打分界面见图 6。

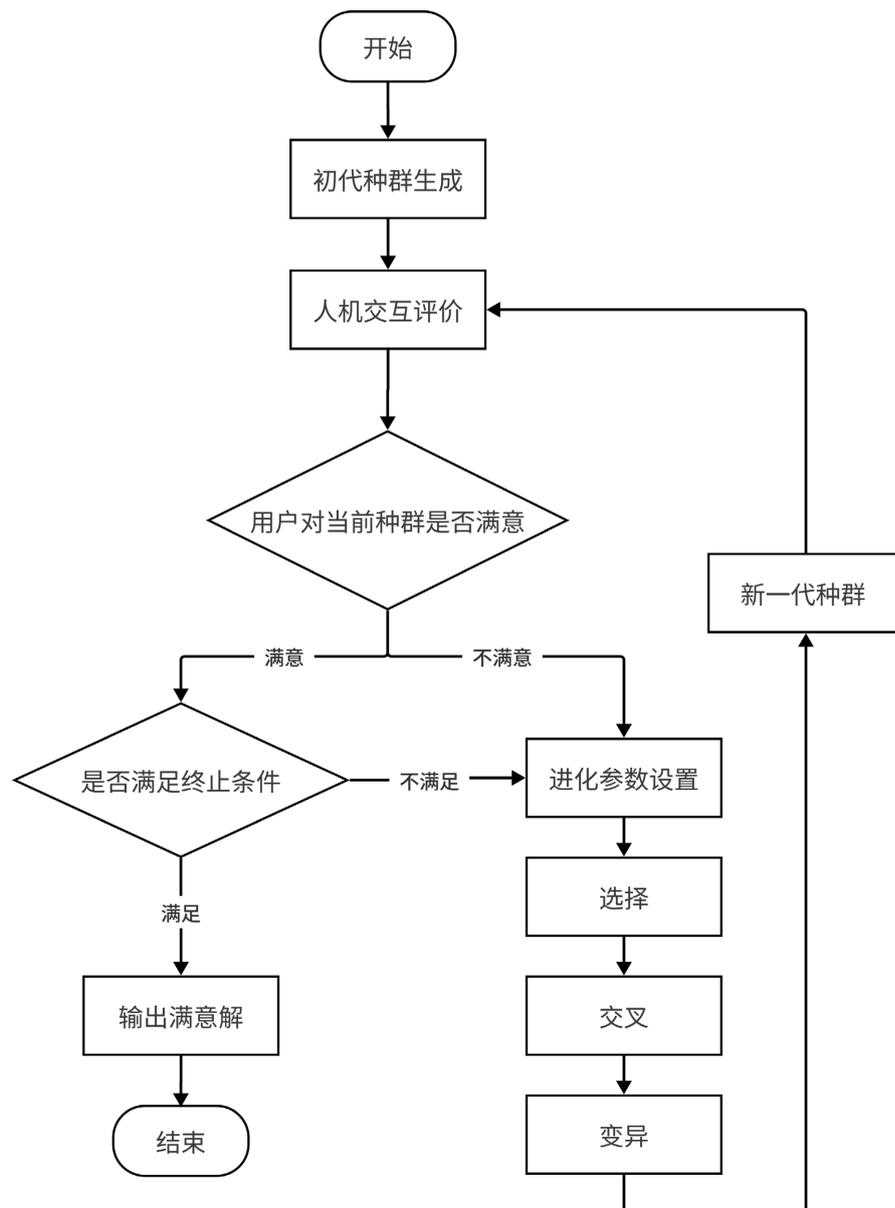


Figure 4. Usage process

图 4. 使用流程

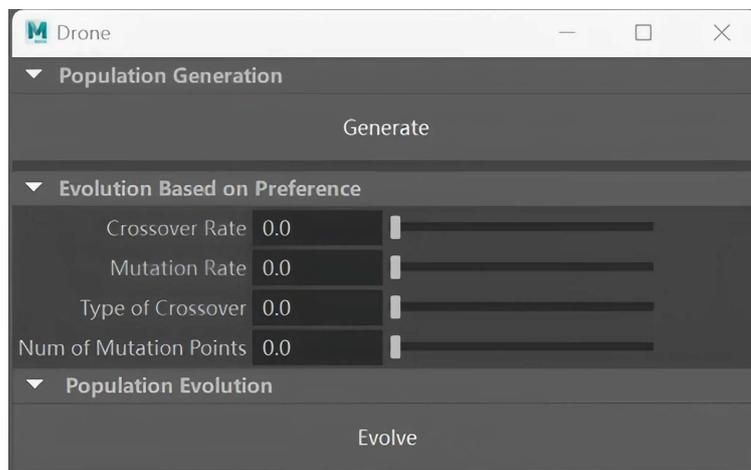


Figure 5. System interface

图 5. 系统界面



Figure 6. Scoring window

图 6. 打分窗口

## 4.2. 交叉和变异操作

交叉是指同源染色体之间的部分基因片段的交换行为。系统中为用户提供可自由设置的交叉概率、变异概率以及单点、多点交叉两种方式。单点交叉是指在一条完整基因序列中选择一个点位截断基因编码，并与另一条在相同位置被截断的基因编码进行互换。身份码同样的参与交叉，借此可以达成更高效的基因表达。用户设置的交叉率越高，父母本间进行交叉互换基因编码的概率就越大；变异率越高、产生变异点位的数量越多，在基因序列中翻转基因的位数就越多，对应的表现型的区别就越大；交叉类型用于控制交叉时采用的交叉方式是单点交叉还是多点交叉。基因单点、多点交叉的具体示例见图 7、图 8。

在变异操作中，根据用户当前设置的变异数量完成基因的变异行为。以变异数量  $n$  为例，将 440 位基因以  $n$  为单位长度划分了  $m$  份，然后在  $m$  份中随机选取点位进行基因的翻转，0 翻转为 1，1 翻转为 0。基因变异示例见图 9。

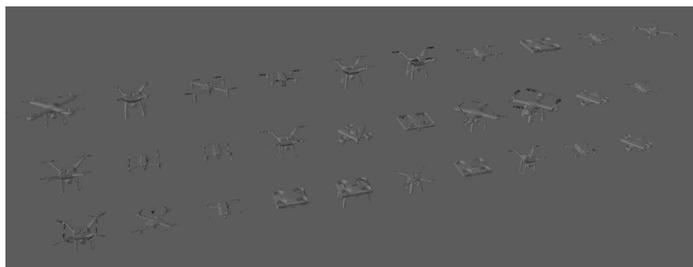
## 5. 设计验证

对无人机产品的初代种群进行生成，得到多样化的种群个体，表明对于无人机产的特征分析以及基





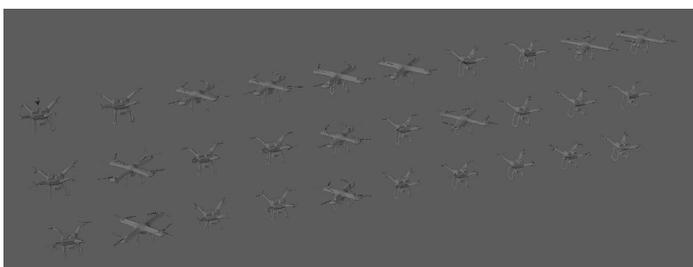
**Figure 10.** Relationship between mean population score and evolutionary generations  
**图 10.** 种群平均分与进化代数关系



**Figure 11.** Initial population  
**图 11.** 初始种群



**Figure 12.** Third-generation populations  
**图 12.** 第三代种群



**Figure 13.** Fifth-generation populations  
**图 13.** 第五代种群



**Figure 14.** Seventh-generation populations  
**图 14.** 第七代种群



**Figure 15.** Individual details  
**图 15.** 种群个体细节

## 6. 结语

本文对无人机产品进行较为详尽的特征分析，以此为基础进行基因编码的构建，完成了针对无人机产品造型定制化设计的 IGA 系统开发，主要有以下几点贡献：

- 1) 突破了交互式遗传算法在高复杂度产品造型设计上的应用，拓宽 IGA 的应用范围。
- 2) 以三维建模的方式进行生成与展示，直观全面的获取个体造型信息。
- 3) 在基因编码中加入标识身份码，从而控制装配。
- 4) 为其他产品造型领域的进化设计提供了参考。

研究中还存在着一些不足之处，如产品仅是单纯的造型设计，并无色彩材质等内容；进化系统依靠软件内置脚本，限制了传播；评价过程中用户对于产品造型的观察需要手动操作进行，影响评价过程的流畅性等，这些问题将在下一步研究中得到针对性解决。

## 注 释

文中所有图片均为作者自绘。

## 参考文献

- [1] 胡炳涛, 冯毅雄, 刘继红, 等. 面向“互联网+”定制产品的智能适应性设计研究[J]. 机械工程学报, 2023, 59(12): 109-125.

- 
- [2] 孙艳, 王万良, 赵燕伟, 等. 产品研发中面向用户意象的交互式遗传算法评价模式[J]. 计算机集成制造系统, 2012, 18(2): 276-281.
- [3] 苏胜, 顾森, 宋志强, 等. 基于深度表征学习和遗传算法的军用座舱色彩设计方法[J]. 兵工学报, 2024, 45(4): 1060-1069.
- [4] Lee, S.-C., Tseng, H.-E., Chang, C.-C. and Huang, Y.-M. (2020) Applying Interactive Genetic Algorithms to Disassembly Sequence Planning. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, **21**, 663-679. <https://doi.org/10.1007/s12541-019-00276-w>
- [5] Zhu, X., Li, X., Chen, Y., Liu, J., Zhao, X. and Wu, X. (2020) Interactive Genetic Algorithm Based on Typical Style for Clothing Customization. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, **15**. <https://doi.org/10.1177/1558925020920035>
- [6] 孙晓燕, 陈姗姗, 巩敦卫, 等. 基于区间适应值交互式遗传算法的加权多输出高斯过程代理模型[J]. 自动化学报, 2014, 40(2): 172-184.
- [7] 朱苗苗, 潘伟杰, 刘翔, 等. 基于 BP 神经网络代理模型的交互式遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(2): 146-151.
- [8] Zeng, D., *et al.* (2021) An Interactive Genetic Algorithm with an Alternation Ranking Method and Its Application to Product Customization. *Human-Centric Computing and Information Sciences*, **11**, Article No. 15. <http://hccisj.com/articles/?HCIS202111015&ckattempt=1>
- [9] 杨延璞, 刘琼. 设计意图驱动的产品形态设计方法[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(4): 867-874.
- [10] 杨晓波. 基于交互式遗传算法的三维服装款式研究[J]. 纺织学报, 2022, 43(6): 145-150.
- [11] 朱佳栋, 苏少辉, 陈昌, 等. 面向产品配置设计的改进交互式遗传算法[J]. 国机械工程, 2018, 29(20): 2474-2478.
- [12] 刘阳, 王开松, 唐威, 等. 基于倾转电机的可折翼的水空两栖无人机设计与实现[J]. 机械工程学报, 2024, 60(2): 272-286.
- [13] 张建扬, 于春梅, 叶剑晓. 基于扩张状态观测器和反步滑模法的四旋翼无人机轨迹跟踪控制[J]. 计算机应用, 2018, 38(9): 2742-2746.