

交互式进化设计中的思维固化及改进策略

周砖¹, 贺茂恩², 尧优生¹

(1.仲恺农业工程学院, 广州 510000; 2.同济大学, 上海 200092)

摘要: **目的** 探讨交互式进化设计 (IED) 中设计师思维固化现象的发生和成因, 并提出改进策略。**方法** 首先, 解构 IED 中设计师思维固化现象, 阐明人的视觉搜索机制和 IED 算法机制对交互式进化过程中设计师思维固化的影响, 对应提出“信息刺激”“增大种群数量”及“增大变异概率”策略; 其次, 基于豪斯多夫距离算法, 提出产品形态交互式进化设计中思维固化的量化方法, 以中式花瓶轮廓为例, 在 MATLAB 软件平台下开发了产品形态交互式进化设计系统; 最后设计对比实验进行验证。**结果** 实验结果表明所提策略在缓解交互式进化过程中设计师的思维固化具有显著性。**结论** 提出的改进策略有助于提高交互式进化设计方案输出的创新性, 为交互式进化设计中设计师认知特征提供新的研究视角。

关键词: 交互式进化设计; 人机协同; 思维固化; 交互式遗传算法; 智能设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)14-0052-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.14.005

Solution to Resolve the Thinking Fixation in Interactive Evolutionary Design

ZHOU Zhuan¹, HE Mao-en², YAO You-sheng¹

(1.Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510000, China;

2.Tongji University, Shanghai 200092, China)

ABSTRACT: The work aims to discuss the thinking fixation of designers in interactive evolutionary design (IED) and its causes. First, the phenomenon of designers' thinking fixation in IED was deconstructed, and the influence of human visual search mechanism and IGA algorithm mechanism on designers' thinking fixation in interactive evolution was also clarified. Strategies such as "visual stimulation strategy", "increase sample size strategy" and "increase mutation probability" were also proposed accordingly. Then, based on the Hausdorff distance algorithm, a quantitative method of thinking fixation in the interactive evolutionary design of product form was proposed; then, with the outline of a Chinese vase as an example, an interactive evolutionary system of product shape was developed under the MATLAB software platform. Finally, a comparative experiment was designed to verify it. The experimental results showed the effectiveness of the proposed strategy in alleviating the fixation of designers' thinking in interactive evolution. The proposed improvement strategy can help to improve the innovation of the design output of interactive evolutionary systems, and provide a new research perspective for cognitive characteristics of designers in interactive evolutionary design.

KEY WORDS: interactive evolutionary design; human-machine collaboration; thinking fixation; interactive genetic algorithm; intelligent design

收稿日期: 2023-02-13

基金项目: 2021 年广东省省级质量工程现代产业学院项目; 2020 年度广东省教育科学“十三五”规划项目 (2020GXJK192); 2017 年广东省非物质文化遗产数字化保护工程技术研究中心资助项目; 2022 年度广东省科技创新战略专项 (大学生科技创新培育) 项目 (phjd2022A0248)

作者简介: 周砖 (1994—), 男, 硕士, 助教, 主要研究方向为智能设计。

通信作者: 尧优生 (1982—), 男, 博士生, 副教授, 主要研究方向为工业设计与社会创新设计。

在工业设计领域存在着—类难以量化与结构化的决策问题, 例如: 美感、直觉、偏好与满意度等, 属于隐性目标决策问题。在隐性目标的决策过程中, 难以通过目标函数显式定义。目前, 应用交互式遗传算法 (Interactive Genetic Algorithm, IGA) 并可视化不确定性指标及设计要素, 采用人机协同的方式, 逐步优化设计方案, 即交互式进化设计 (Interactive Evolutionary Design, IED), 是解决设计中隐性目标决策较为普遍的方法。通过这类方法获得的设计方案既能体现人的偏好, 也比解决传统形态问题效率更高, 获取的方案更多样, 是近年来计算机辅助工业设计的研究热点。

1 概述

目前, IGA 在工业设计领域已取得许多成果, Cluzel 等^[1]使用 IGA 生成汽车侧面轮廓线, 从而辅助汽车设计师探索具有特定语义的新汽车轮廓。Kowaliw 等^[2]利用 IGA 来激发用户的创造力, 设计新颖的个性化产品。Nutthanon 等^[3]通过 IGA 开发了泰国传统民族图案生成系统, 目的在于帮助没有艺术技能的用户按照自己的风格创建心仪图案。朱昱宁等^[4]为解决配色过程的意象表达不稳定性, 以参考图像作为辅助, 通过交互式遗传算法实现了配色设计原型系统搭建, 实现了人机协同优化色彩设计。总之, 无论是面向设计师还是用户, 基于 IGA 的计算能力与交互能力, 构建交互式进化设计系统, 可以解决工业设计领域诸多隐性目标决策问题。然而, 现有研究并未细致区分系统使用者的差异性, 特别是对普通用户与设计师而言, 其对进化系统的要求是存在差异的, 即当面向普通用户时, 以用户个性化定制为主, 目的在于帮助用户找到符合其偏好的方案, 此时系统需易于操作且需避免用户疲劳; 而面向设计师时, 其目的在于获取多样化、有差异性的设计方案, 以拓展设计师思维, 从而辅助设计师进行后续设计。本文旨在对设计师作为进化系统使用者的情境进行探究。

面向设计师的交互进化过程, 离不开对设计认知的研究, 近年来人的认知问题受到该领域很多学者关注。郝国生^[5]指出人机交互进化过程中存在不确定性认知、选择性认知等规律。周砖^[6]提出了交互式进化设计评价过程中用户存在认知模糊状态, 并通过空间

映射及方案聚类策略予以解决, 取得了较好的效果。孙晓燕^[7]针对交互进化过程的用户偏好不确定性认知特点, 通过可能性偏好网络拟合用户偏好, 提升了算法有效性与可靠性。Yang^[8]通过梯度模糊数表示用户评价的不确定性, 从而降低用户的认知噪声, 提高了收敛速度与进化效率。然而以上研究是从解决进化过程中人的不良认知, 从而提升进化效率的角度切入的, 却没有从设计思维角度, 关注如何辅助设计师通过使用进化系统提升方案创新度。

在设计师操作现有的 IED 系统时, 算法逐渐收敛会导致方案逐渐趋同, 从而限制了设计师的思维。在相似方案的反复刺激下, 设计师会误认为已经得到了满意的方案, 但实际上这是因为算法局部收敛所导致的。这种思维固化现象是人机协同过程中的一种典型现象, 它意味着设计师在意识或无意识中受到先前的经验或视觉刺激的影响, 或者过度依赖和重复使用现有概念和对象的关键属性, 而没有对其适用性进行分析。具体来说, 设计师的关注点容易受到先前计算机生成的方案的影响, 从而无意识地限制了自己对其他新颖方案的关注, 使得创新变得困难^[9]。如果不能有效地解决交互式进化设计过程中的思维固化现象, 将会影响设计师的决策, 并导致生成的方案雷同, 从而降低创新性, 这与设计活动的初衷相悖。本研究的目标是分析 IED 中设计师思维固化现象, 解构其影响机制, 并从不同角度提出改进策略。通过豪斯多夫距离量化生成方案的相似度, 以反映思维固化的程度, 并通过实验验证所提出的策略来缓解思维固化的有效性。创新点主要包括: 从思维固化的问题视角探索交互进化中设计师的不良认知现象; 从人机角度论证交互进化中思维固化存在的原因和影响机制; 基于豪斯多夫算法量化满意方案的差异程度, 进而反映设计师的思维固化程度。

2 IED 中设计师的思维固化及成因分析

典型的产品形态设计流程与 IED 流程存在一定差异, 曾栋^[9]指出在典型产品形态设计中, 设计师首先需理解设计任务, 分析相关案例, 然后确定语义, 再凭借设计师经验提出若干草案, 最后优化草案, 并且各个阶段都需要进行反复评价, 该流程的外在表现为 7 种形式, 见图 1。在 IED 中, 则是计算机设计草

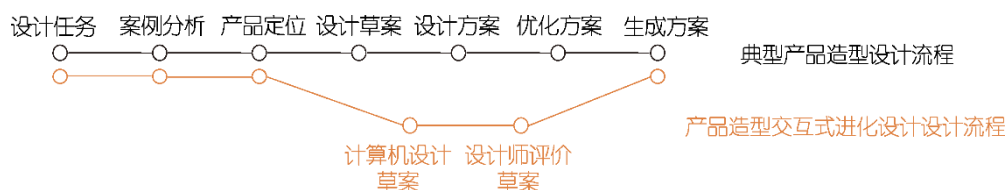


图 1 典型产品造型设计流程与产品造型交互式进化设计流程对比
Fig.1 Comparison of typical product modeling design process and product modeling interactive evolution design process

案,设计师评价草案,计算机模拟用户偏好并反复迭代,以设计师得到相对满意解作为收敛条件,两类流程共同点及差异点见图 1。

两者差异在于典型产品形态设计要求设计师完成设计方案的“设计-优化”过程,思维固化存在于设计师构想方案的过程,是一种设计师不知不觉地限

制他们寻求解决方案空间的现象。而在 IED 中,思维固化存在于设计师评价方案的过程中,受先入为主影响,思维拘泥于某一局部最优方案,而选择性忽略与局部最优方案的相异方案。进一步解构交互式进化设计中的思维固化现象,可从人的角度与计算机的角度深入剖析该过程,见表 1。

表 1 解构交互式进化设计中的思维固化
Tab.1 Thinking fixation in interactive evolutionary design

分析角度	原理	具体表现
人类认知角度	视觉搜索机制	设计师对计算机生成方案进行快速扫视并进行处理,并反复执行这一过程
算法机制角度	遗传操作(选择、交叉与变异)	随着迭代的进行,方案会逐渐收敛,具体外在表现为方案趋同,过早收敛使设计师进入一种方案缺乏的环境中,不利于后续设计创新

2.1 IED 中人的视觉搜索机制

人类存在两类图标视觉搜索行为,一类是自下而上的刺激驱动的视觉搜索机制;另一类是自上而下的目标驱动的线索加工机制^[10]。目前,IED 评价过程是典型自下而上的刺激驱动的视觉搜索行为,由于视觉搜索系统是一个资源有限的信息加工系统,视觉注意往往只能对具有显著特征的刺激信息进行加工处理。在评价过程中,经过大量样本的反复刺激,设计师逐步强化这种自下而上的刺激驱动的视觉搜索机制。以花瓶为例,若设计师偏好于细瓶颈的花瓶,那么在方案评价过程中会快速搜索样本中细瓶颈的个体,而容易忽视最初的设计目标。该方式能使设计师找到相对满意解,但易固化设计师思维,从而阻碍了设计创新。因此,刺激驱动的视觉搜索机制不利于 IED 中探索更多设计可能性。

视觉搜索行为是目标驱动的线索加工机制,这种机制是以自上而下的方式传递信息,大脑确定目标发出指令,眼睛搜索与目标指令相符的方案,这种方式不是以具象的生成方案为主导,而是以抽象的设计目标为主导,Cardoso 等^[11]指出在设计创新领域中,为设计师提供抽象设计目标更易激发设计创新行为。在 IED 评价过程中,通过刻意提醒设计师设计目标,可帮助其采取自上而下的线索加工机制进行方案挑选,目标可以是文字、意象词。通过对设计目标的文化属性、功能属性的界定^[12],以及结合相应信息予以刺激,可以更好地辅助设计师打破思维固化。例如,在评价过程中告知目标是设计一款放置在书桌上的花瓶,并且以典雅作为意象词汇,那么设计师便会以“典雅”作为设计任务的主导向,以书桌作为辅助参考,通过大脑指令,眼睛不断搜索整体上呈现“典雅”的造型,而不是局限于某一造型特征,见图 2。

2.2 IED 算法机制

上文是从人的视觉搜索机制角度分析了 IED 过程中产生思维固化的原因及解决措施。然而,IGA 机

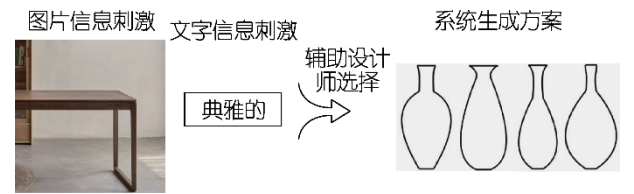


图 2 信息刺激下的方案选择
Fig.2 Scheme selection under information stimulation

制本身会使人产生思维固化,主要包括两个方面:一方面,IGA 机制是随着迭代进行逐步收敛的过程,收敛意味着方案趋同,导致设计中后期系统生成的样本基本相同。这意味着设计师从大量相似样本中找到相对满意解,因此,算法逐渐收敛本身会加剧设计师的思维固化,客观上限制了设计师选择更多其他种类方案的可能性。具体来看,遗传机制包括选择、交叉、变异,“选择”是指通过适应度比例选择前一代优选个体;“交叉”是指对前一代优选个体在交叉点处重新组合产生新个体;“变异”是指在交叉后的新个体染色体中产生新的等位基因,变异率过大则算法对未知空间的搜索能力更强,但收敛速度慢,变异率小则收敛速度快,但易陷于局部收敛。另一方面,在当前 IED 的相关研究中,考虑到样本多,易造成用户疲劳,大部分系统每一代的样本数量都低于 10^[13-14],因此设计师能够搜索到的设计方案的数量非常有限,进一步约束了设计师的思维。

减缓用户疲劳是现有 IGA 研究的重要方向,其目的在于防止用户疲劳后消极对待评价过程,从而降低效率。然而作为设计创新的工具而言,单纯为减缓用户疲劳而牺牲种群数量及低变异率,则有悖于以设计创新为目标的出发点。因此,当以设计创新为基本目标时,可适当弱化因大样本导致的用户疲劳所带来的影响。

针对以上分析,考虑到面向的问题是设计创新,为了减缓设计师在设计评价过程中的思维固化,不拘泥于有限的设计方案,并且在进化过程中能够有更多的种群种类,可适当增大种群变异率及增加种群样本

量。以此方法增加的用户疲劳可通过分时段评价及多人协同评价的方式来弥补。总结得到, 本研究尝试提出解决 IED 中设计师思维固化问题的 3 点策略, 即提供信息刺激、增大种群数量、增大变异概率。

3 思维固化的量化模型

在思维固化的研究中, 固化程度的度量一直缺乏系统的评价方法, 目前通过主观评价设计师在规定时间内设计产物的差异程度来反映设计师思维固化程度, 是较为常见的手段^[15]。因为方案差异程度可以侧面反映设计师创作过程的思维扩散性, 然而这种定性评价方式存在模糊性强、主观性强等问题。不同于典型设计要求设计师输出的方案具有发散性与不确定性, 在产品形态 IED 中, 计算机生成样本是经过一系列形状文法约束下的产物, 样本本身具有规范性, 具备定量评价方案差异度的前置条件, 可通过数学建模方法对方案进行相似性评估。

度量数据集之间的距离, 通常采用欧几里得平方距离, 但不适用于图像、造型与形态的距离度量。本研究在此前基于豪斯多夫距离 (Hausdorff distance) 聚类生成方案研究基础上^[6], 提出一种基于豪斯多夫距离计算 IED 最终方案之间的差异度的方法。主要思路是计算设计方案两两之间的差异度, 最终综合计算所有设计方案的形态差异值, 该值大则说明设计方案之间的差异度大。

设两个点集分别为 A、B, 则 A、B 之间的豪斯多夫距离见式 (1) — (3)。

$$H(X_1, X_2) = \max\{h(X_1, X_2), h(X_2, X_1)\} \quad (1)$$

$$h(X_1, X_2) = \max \min \|X_1 - X_2\| \quad (2)$$

$$h(X_2, X_1) = \max \min \|X_2 - X_1\| \quad (3)$$

式 (2) 中, $h(X_1, X_2)$ 为从 X_1 集合到 X_2 集合的单向豪斯多夫距离, 代表点集 X_1 中的点到点集 X_2 中的点的最小距离的最大值; 式 (3) 中, $h(X_2, X_1)$ 为从 X_2 集合到 X_1 集合的单向豪斯多夫距离, 代表点集 X_2 中的点到点集 X_1 中的点的最小距离的最大值, 式 (1) 为双向豪斯多夫距离, $H(X_1, X_2)$ 指 $h(X_1, X_2)$ 和 $h(X_2, X_1)$ 中最大值。

以上为两个图形之间的差异值, 当涉及较多图形时, 则基于上述算法两两配对依次求差异值并取均值。通过该值可以反映 IED 方案之间的差异程度, 进一步反映出交互过程中的设计师思维固化程度。

4 产品形态交互式进化设计实践

基于 IGA 的产品形态交互式进化设计已在工业设计领域广泛应用。借助计算机图形生成能力、交叉变异操作及设计师的决策能力, 可以提高传统设计效率。本文通过构建中式花瓶外轮廓形态的交互式进化

设计系统, 旨在探究所提策略在解决 IED 中设计师思维固化问题的可行性。

4.1 案例描述

本文使用中式传统花瓶的形态设计作为案例, 原因在于花瓶形态简洁, 造型圆润且连续, 通过少数控制点可以形成一定的感性意象。花瓶主要由瓶口、瓶颈、瓶身、瓶底 4 个部分构成, 现以瓶底的中点为原点, 以花瓶底部所在轴为 x 轴, 以瓶中心轴为 y 轴建立直角坐标系。以贝塞尔曲线拟合花瓶外轮廓, 选取瓶子左侧轮廓线上的 5 个锚点 (A_1, A_3, A_5, A_7, A_9) 与 4 个曲率控制点 (A_2, A_4, A_6, A_8), 组成点集 A, 并通过二次贝塞尔曲线表达特征线 $E_1 \sim E_4$, 分别代表花瓶的 4 个部分, 见图 3。

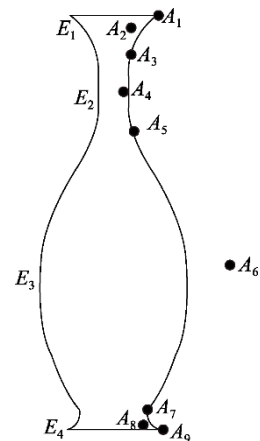


图 3 花瓶特征点与特征线
Fig.3 Vase feature points and feature lines

4.2 染色体编码

花瓶轮廓特征线采用二进制进行编码, 由于花瓶是对称图形, 因此仅对花瓶一侧进行编码。根据前期调研的中式花瓶特征及花瓶生成的美观性, 现制定相应形状文法进行约束, 例如: 控制点 A_2 在 A_1 与 A_3 中间; 瓶颈高度锚点 A_3 数值固定; 瓶颈线 E_2 上下对称, 因此 A_3 、 A_5 横坐标相同。具体各个特征点的横纵坐标数值-二进制码关系图, 如表 2—3 所示, 其中变化较小的特征点坐标值设定两位二进制码, 而变化较大的特征点坐标值设定三位二进制码, 部分控制点坐标为固定值故不编码, 因此综上可得染色体编码共 32 位, 选定瓶口-瓶颈交汇点 A_2 、瓶颈-瓶身交汇点 A_5 、瓶身-瓶底交汇点 A_7 为遗传操作的交叉点, 分别为染色体的第 6、17、25 位。如图 4 所示为某一具体花瓶的编码坐标对应的二进制编码, 以及染色体对应的个体表现型。

4.3 遗传算法参数

遗传算法参数主要包括种群数量、交叉率与变异率, 在相关研究中种群数量一般在 6~20, 变异率一

表 2 花瓶特征点横纵坐标数值-二进制码关系图（三位二进制）
Tab.2 Relationship between horizontal and vertical coordinates of feature points of the vase-binary code (three-digit binary)

锚点编码	控制点横纵坐标	三位二进制编码							
		000	001	010	011	100	101	110	111
A_1	x_1	$(0.04n+0.78)3$							
	y_1	6（不编码）							
A_2	x_2	$(x_1+x_3)/2$ （不编码）							
	y_2	5.9	5.91	5.92	5.93	5.94	5.95	5.96	5.97
A_3	x_3	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
	y_3	5.80（不编码）							
A_4	y_4	$(0.1n+0.2)(y_3-y_5)+y_5$							
A_5	x_5	x_3 （不编码）							
	y_5	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5
A_6	x_6	$3(0.08n+0.2)$							
	y_6	$(0.1n+0.15)(y_5-y_7)+y_7$							
A_7	x_7	x_3 （不编码）							
A_9	x_9	$(0.007n+0.92)3$							
	y_9	0（不编码）							

注：n 代表二进制编码对应的十进制整数。

表 3 花瓶特征点横纵坐标数值-二进制码关系图（两位二进制）
Tab.3 Relationship between horizontal and vertical coordinates of feature points of the vase-binary code (two-digit binary)

		两位二进制编码		000	001	010	011
各锚点及控制点 横纵坐标编码 （两位二进制）	A_4	x_4		1	1.016	1.032	1.048
	A_7	y_7		0	0.25	0.5	0.75
	A_8	x_8	$0.01n \times x_9 + x_9$				
		x_8	$0.2n \times y_7 + 0.2y_7$				

注：n 代表二进制编码对应的十进制整数。

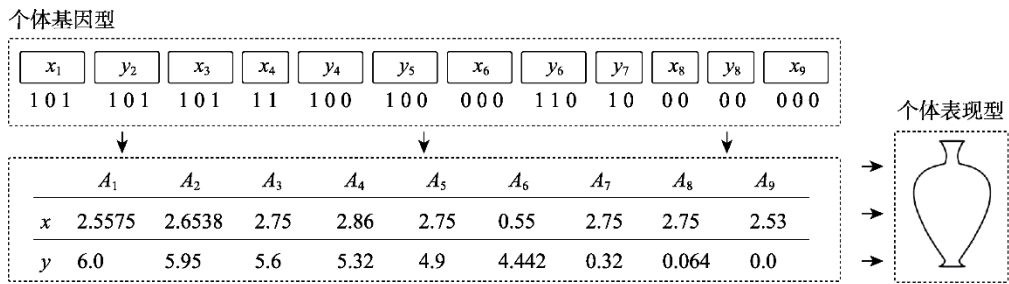


图 4 花瓶个体基因型与表现型对应关系
Fig.4 Corresponding relationship between genotype and phenotype of vase individuals

一般在 0.02~0.1。本文设置两种种群数量（12、24）及两种变异率（0.05、0.2）以进行对比实验，而交叉率设置为固定值 0.7。

4.4 终止条件

此法不同于传统遗传算法旨在获取最优解，面向辅助设计师群体的产品进化设计系统，在于寻找产品形态满意解且非唯一解。因此，认为算法的收敛条件为找到满意解方才终止，设定当设计师挑选出 4 个满

意解时算法停止，若设计师迭代多次仍未获取 4 个满意方案，也作为终止条件之一。

4.5 系统开发

该系统在 MATLAB 软件平台实现，包括方案输出分区、信息刺激分区、上一代最佳样本分区、满意方案分区、遗传参数设置分区。为保证系统运行，通过设计师点击可交互按钮控制系统执行，本研究系统交互界面如图 5 所示，表 4 为界面各个功能分区的介绍。



图 5 中式花瓶设计系统交互界面
Fig.5 Interactive interface of Chinese vase design system

表 4 分区功能介绍
Tab.4 Introduction of partition function

系统界面分区	功能介绍
(A) 方案输出分区	该区域主要有两大功能，首先，当用户点击 (E) 区中的“初始化”按钮时，生成初始个体种群 (种群数量 $n = 24$ 或 $n = 12$ ，是“增大种群数量”策略的具体体现)；其次，用户拖动生成方案下的滑动条赋予其评价值，评价值为从 0 到 10 的整数，分数越高，表示满意度越高
(B) 信息刺激分区	设计师通过随时调取相应信息刺激图片或形容词，进行设计参考，是“信息刺激策略”的具体体现
(C) 上一代最佳样本分区	首先，设计师可以在评估过程中从上一代中识别出评估值最高的样本，便于设计师可以更清楚地了解当前的个体。其次，如果设计师确认样本符合其设计要求，可以点击“替换”按钮，该方案可以存储在“满意方案分区”中，如果没有，则忽略
(D) 满意方案分区	用于存储设计师认为可以接受的方案，方案池最大个数为 4，当存满 4 个满意方案，程序终止。下方“方案差异度”则显示 4 个满意方案的豪斯多夫距离，间接反映设计师思维固化程度
(E) 遗传参数设置分区	设置遗传参数 (交叉率和变异率)，交叉率 (P_c) = 0.7，变异率 (P_{m1}) = 0.05 或 (P_{m2}) = 0.2，是“增大变异概率策略”的具体体现

5 实验验证

5.1 实验展开

本实验旨在验证本文所提“信息刺激策略”“增大样本量策略”及“增大变异概率策略”在缓解 IED 中设计师的思维固化方面的有效性。为此，招募 48

名在校工业设计本科生及研究生为被试者年龄为 18~28。设置对照组、实验组 I、实验组 II、实验组 III，每组被试者 12 人。每组被试者所提供的软件系统均存在差异，系统记录被试者最终方案的 Hausdorff 距离值来反映方案之间的差异度。每个系统的基本情况介绍如下。

对照组，样本量为 12 个，遗传算法采用低变异

率 0.05，不提供信息刺激。

实验组 I，样本量为 12 个，遗传算法采用低变异率 0.05，提供外界刺激（验证信息刺激对缓解思维固化的作用）。

实验组 II，样本量为 24 个，遗传算法采用低变异率 0.05，不提供信息刺激（验证增大种群数量对缓解思维固化的作用）。

实验组 III，样本量为 12 个，遗传算法采用相对较高变异率 0.2，不提供信息刺激（验证增大变异概率对缓解思维固化的作用）。

在实验开始时，由实验工作人员为被试者讲解实验要求、实验目的及注意事项，并且保证每位被试者有 10 min 熟悉软件系统的过程，避免因不熟悉实验操作对实验结果产生影响。

5.2 实验结果

系统依据“生成方案差异计算模型”自动计算最终 4 个方案的差异度，作为检验变量。实验数据通过 SPSS 软件进行处理，采用单因素方差分析（ANOVA），不同实验方式在方案差异度的描述统计量如表 5 所示，不同实验方式在方案差异度的方差分

析摘要表如表 6 所示。在表 6 中，就因变量“方案差异度”而言，整体 F 为 4.97 ($P < 0.05$)，达到显著水平，因此拒绝虚无假设，接受对立假设，表示不同的实验方式在“方案差异度”有显著差异。为进一步探究具体是哪些实验方式之间差异达到显著，进行 LSD 事后检验，通过检验，发现就方案差异度而言，“对照组”显著小于“实验组 I”“实验组 II”与“实验组 III”。因此，可以认为采用本文所提的“信息刺激策略”“增大种群数量策略”及“增大变异概率策略”任一策略，均可以增大最终方案差异度，可以认为所提策略对缓解交互式进化设计过程中的设计师思维固化具有一定作用。

表 5 不同实验方式在方案差异度的描述统计量
Tab.5 Descriptive statistics of different experimental methods in the degree of program difference

检验变量	实验方式	个数	平均数	标准差
方案差异度	对照组	12	11.68	2.17
	实验组 I	12	13.68	2.12
	实验组 II	12	13.77	2.08
	实验组 III	12	14.62	1.19

表 6 不同实验方式在方案差异度的方差分析摘要表

Tab.6 Summary of variance analysis of different experimental methods in the degree of program difference

检验变量		平方和	自由度	均方	F 检验	Sig.	事后检验 LSD 法
方案差异度	组间	55.65	3	18.55	4.97	0.005	实验组 I > 对照组，实验组 II > 对照组，实验组 III > 对照组，实验组 I、实验组 II、实验组 III 之间无显著差异
	组内	164.30	44	3.37			
	总计	219.95	47				

6 结语

本研究针对交互式进化过程中的设计师思维固化问题，从 IED 中人的视觉搜索机制与 IED 算法机制角度，指出思维固化存在的原因及影响，提出“信息刺激策略”“增大样本量策略”及“增大变异概率策略”，实验发现，改进后的交互式进化设计系统可有效避免因思维固化导致的计算机生成方案雷同及算法快速收敛情况。本研究从设计师认知特征角度切入优化了交互式进化设计系统，更好地辅助设计师进行创新设计。在后续研究中，从研究方法角度，可从信息刺激提供的时间节点、提示方式与提示内容，以及在算法设计中刻意规避相似方案的呈现等方面，解决交互进化过程中的思维固化问题；从研究对象角度，有待进一步探讨本文方法在复杂产品设计中的应用，可从形态特征复杂度、设计元素多元性、染色体编码等角度拓宽应用场景，从而提升智能系统的实际应用价值。

参考文献：

[1] CLUZEL F, YANNOU B, DIHLMANN M. Using Evolutionary Design to Interactively Sketch Car Silhouettes and Stimulate Designer's Creativity[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2012, 25(7): 1413- 1424.

[2] KOWALIW T, DORIN A, MCCORMACK J. Promoting Creative Design in Interactive Evolutionary Computation[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2012, 16(4): 523-536.

[3] LEELATHAKUL N, RIMCHAROEN S. Generating Kranok Patterns with an Interactive Evolutionary Algorithm[J]. Applied Soft Computing, 2020, 89: 106121.

[4] 朱昱宁，徐博群，刘肖健. 基于交互式遗传算法的参考图像辅助配色设计[J]. 包装工程，2020，41(2): 181-188.

ZHU Yu-ning, XU Bo-qun, LIU Xiao-jian. Reference Image Aided Color Matching Design Based on Interactive Genetic Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 181-188.

- [5] 郝国生. 交互式遗传算法中用户的认知规律及其应用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2009.
HAO Guo-sheng. User's Cognitive Law in Interactive Genetic Algorithm and Its Application[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2009.
- [6] 周砖, 曾栋, 贺茂恩. 面向隐性目标的产品造型交互式进化设计[J]. 现代制造工程, 2020(2): 64-70.
ZHOU Zhuan, ZENG Dong, HE Mao-en. Interactive Evolutionary Design of Product Shape for Tacit Goals[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2020(2): 64-70.
- [7] 孙晓燕, 朱利霞, 陈杨. 基于可能性条件偏好网络的交互式遗传算法及其应用[J]. 郑州大学学报(工学版), 2017, 38(6): 1-5.
SUN Xiao-yan, ZHU Li-xia, CHEN Yang. Probabilistic Conditional Preference Network Assisted Interactive Genetic Algorithm and Its Application[J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2017, 38(6): 1-5.
- [8] YANG Yan-pu, TIAN Xing. Combining Users' Cognition Noise with Interactive Genetic Algorithms and Trapezoidal Fuzzy Numbers for Product Color Design[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2019, 2019: 1019749.
- [9] 曾栋, 巩敦卫, 李梅子, 等. 产品造型设计中的思维固化策略及应用[J]. 机械工程学报, 2017, 53(15): 58-65.
ZENG Dong, GONG Dun-wei, LI Mei-zi, et al. Thinking Fixation Strategy in Product Form Design and Its Application[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, 53(15): 58-65.
- [10] 王海燕, 黄雅梅, 陈默, 等. 图标视觉搜索行为的ACT-R 认知模型分析[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2016, 28(10): 1740-1749.
WANG Hai-yan, HUANG Ya-mei, CHEN Mo, et al. Analysis of Cognitive Model in Icon Search Behavior Based on ACT-R Model[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2016, 28(10): 1740-1749.
- [11] CARDOSO C, BADKE-SCHAUB P. The Influence of Different Pictorial Representations during Idea Generation[J]. The Journal of Creative Behavior, 2011, 45(2): 130-146.
- [12] 李志榕, 姜紫薇. 基于符号学的茶家具设计方法研究[J]. 家具与室内装饰, 2021(7): 7-11.
LI Zhi-rong, JIANG Zi-wei. Study on the Design Method of Tea Furniture Based on Semiotics[J]. Furniture & Interior Design, 2021(7): 7-11.
- [13] 杨延璞, 雷紫荆, 兰晨昕, 等. 群体共识驱动的文化创意产品交互式配色设计方法研究[J]. 西北工业大学学报, 2021, 39(5): 1097-1104.
YANG Yan-pu, LEI Zi-jing, LAN Chen-xin, et al. Research on Interactive Color Design Method of Cultural Creative Product Driven by Group Consensus[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2021, 39(5): 1097-1104.
- [14] ZENG D, HE M, ZHOU Z, et al. An Interactive Genetic Algorithm with an Alternation Ranking Method and its Application to Product Customization[J]. Human-Centric Computing and Information Sciences, 2021, 11: 1-25.
- [15] MORENO D P, BLESSING L T, YANG M C, et al. Overcoming Design Fixation: Design by Analogy Studies and Nonintuitive Findings[J]. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 2016, 30(2): 185-199.

责任编辑: 陈作