

基于交互式遗传算法的炊具手柄设计

杨凯, 吴凤林, 李娟莉
(太原理工大学, 太原 030024)

摘要: **目的** 通过调查,在对比传统炊具设计方法的基础上,发现现有炊具手柄设计方法的不足,采用交互式遗传算法对现有炊具手柄设计方法进行优化。**方法** 运用交互式遗传算法,将人的情感、偏好等隐性目标决策问题纳入设计系统,将用户共识满意度作为适应度函数,对评价机制进行改进,降低主观评价所带来的误差,获取最佳设计方案。**结论** 从应用层次验证了交互式遗传算法在优化炊具手柄设计方案中的可行性和实用性,输出用户共识满意度高的方案,更高效、更准确地提出符合用户偏好的设计方案。

关键词: 交互式遗传算法; 炊具手柄设计; 共识满意度; 适应度函数; 用户偏好

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2015)12-0095-04

The Design of Cooker Handle Based on Interactive Genetic Algorithm

YANG Kai, WU Feng-lin, LI Juan-li
(Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

ABSTRACT: Through investigation, based on the comparison of traditional cooker design, it puts forward a kind of optimization method for cooker handle design using Interactive Genetic Algorithm. Using interactive genetic algorithm in the original cookware handle design methods, it fits the user's factors such as emotion, preferences into the system. Furthermore, the evaluation mechanism is improved, the subjective evaluation errors are reduced greatly and the optimum design project is obtained with the users' satisfaction as fitness function. The feasibility and practicality of optimum cooker handle design using Interactive Genetic Algorithm is also proved. The method provides the satisfying project for users and a better help to meet the demands of character-seekers design.

KEY WORDS: interactive Genetic Algorithm; design of cooker handle; the integration of the users' satisfaction and satisfying; fitness function; user preferences

早在 1933 年,Herig 致力于手和工具的研究,他将手的动作大致分为 4 类^[1]。日常用品与人接触最为密切,它们是日常生活的重要辅助工具,脱离了基础工具,人将寸步难行^[2]。工具的手柄对用户操作的影响是十分直观的,其对工具的功能性及舒适性都有着直接影响,是反映工具人机交互的重要因素,因此手柄

设计的优劣与用户的安全、健康以及工作效率息息相关。炊具作为生活用品,其使用人群最为广泛,因此对它们的手柄进行设计时,只有形态上的考虑是不足以满足用户需求的,更应该从提高它们功能性与质量的因素入手,对其功能性进行深入研究。这就要求设计师从物和物的关系上深入观察,旨在物与物之间建

收稿日期: 2015-01-25

基金项目: 山西省软科学研究项目(2014041003-2)

作者简介: 杨凯(1989—),男,山西运城人,太原理工大学硕士生,主攻产品造型设计及人机工程。

通讯作者: 吴凤林(1957—),男,山西大同人,硕士,太原理工大学教授,主要研究方向为工业设计与人机工程、机械 CAD/CAE 以及机械传动。

立联系的同时,实现人们情感的延续^[3]。

1 炊具手柄设计调查

现代手工工具在设计中大都运用了 Konz 和 Johnson 提出的“以工具的弯曲代替手腕的弯曲”这一人机工程学原理^[4]。通过这个原理设计出的工具,不但可以使作业的效率大幅度提高,还能有效地缓解手部肌肉由于长时间工作所带来的损伤^[5]。现代人机工程学方面的理论和应用在国内的研究较为滞后,通过查阅现有的文献发现,在手柄设计方面并未进行深入分析与研究。国外的专家对于这方面的研究则有很大的进展,例如,Johnson 和 Storti 在 1990 年就提到手掌在做剧烈的弯曲动作时,会使手腕内部的正中神经受到严重的压迫。于是得到的结论是:在前臂与手掌进行转动时,最好让手腕维持直线状态。

市场上现有的炊具手柄在设计时,也针对功能与色彩等方面的设计进行了不同程度的考虑,例如 V 形防烫设计(见图 1a,图 1 摘自百度)、可折叠式手柄(见图 1b)和可拆卸式手柄(见图 1c)。这些现有的设计遵循了固定的传统炊具手柄设计方法^[6],主要体现在:(1)炊具产品的具体功能;(2)炊具手柄的材料选择;(3)炊具手柄的结构形式;(4)炊具手柄的人机因素;(5)炊具手柄的色彩及表面处理。

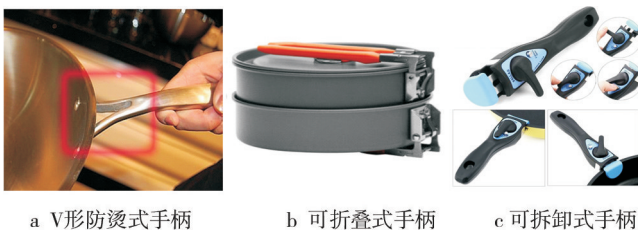


图1 不同形状的炊具手柄设计
Fig.1 Different shapes design of cooker handle

传统的设计方法虽然考虑了人机因素,使得手柄的舒适度有所提高,并且更加省力,但是并未将人的情感、偏好等隐式性目标决策问题纳入考虑范围。而炊具作为日常生活的必需品,其隐式性能指标在设计中起着至关重要的作用。

2 遗传算法

遗传算法(Genetic Algorithm,简称GA)是基于进化理论,并采用遗传结合、遗传变异及自然选择等设

计方法的优化技术^[7],最先于1975年由美国Michigan大学 John H Holland 提出。GA 的基本思想可以归结为两点:将物种进化的两个方面,即遗传和变异的理论应用于对系统的求解问题上;经过反复迭代求解后才可以得到针对问题最优的解决方案,因为在遗传中只有最适应环境的物种才能保留下来。在GA中,初始群体代表着问题的可能潜在解,它们按照一定的规则生成并经过基因编码。从初始群体出发,挑选出适应度强的个体进行交叉(或称交配、交换)和变异,以期发现适应度更佳的个体,如此迭代演化,从而获得最优个体。最后,经过解码,该最优个体编码就对应问题的最优解或近似最优解。

面对自动化程度越来越快的提高,学者们发现传统的遗传算法在系统优化过程中,只可以解决显式函数所表示的问题。随着越来越多的用户难以介入其中,在遇到像数据挖掘和知识发现这样的隐式性能指标(性能指标难以用明确的函数表示)优化问题时,传统的遗传算法并不能很好地进行优化。

3 交互式遗传算法

针对传统遗传算法自身存在的不足,交互式遗传算法(Interactive Genetic Algorithm,IGA)便被学者们提出,以此来扩大传统遗传算法的应用范围,即把人的主观评价作为进化个体适应度来进行优化^[8]。交互式遗传算法的流程见图2。从图2可以看出,IGA与GA最主要的区别是:在IGA中,进化个体的适应度是由

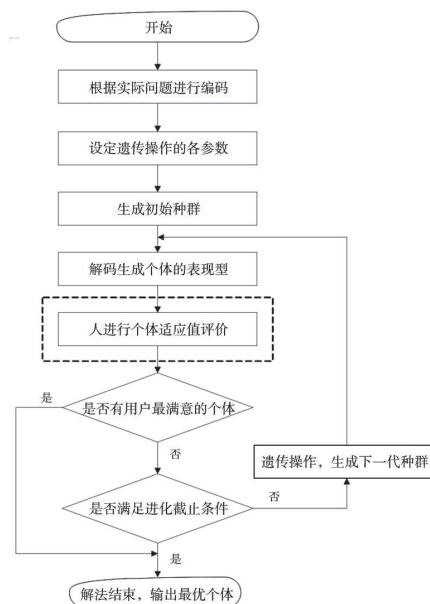


图2 交互式遗传算法的流程
Fig.2 Flow of Interactive Genetic Algorithm

人给出的^[9],这样就可以将人的偏爱、直觉、情感、心理因素等作为系统优化中的重要隐性因素嵌入到目标系统中。

4 交互式遗传算法辅助炊具手柄设计

4.1 染色体编码

编码在交互式遗传算法中起着非常关键的作用。染色体编码决定了个体染色体的排列形式,同时也会对交叉算子等遗传算子的运算方法产生影响。

对于炊具手柄的设计可以分成以下几个部分:(1)样式(纺锤型、圆柱状、板状、U型);(2)装配方式(一体成型、螺丝固定、焊接、铆接、可拆卸式、旋和式、嵌入式);(3)颜色(银白色、棕黄色、黑色、橙色、蓝色、红色、灰色、彩色);(4)材质(木质、胶木、陶瓷、铝、铁、不锈钢、硅胶、竹)。

这里将按以上方案对其进行编码,这样的编码方式实际上是对炊具手柄的特征进行提取,将其不同特征通过不同的2进制编码反映出来。其中,样式有4种选择,编码用2位;装配方式有7种选择,编码用3位;颜色8种,编码用3位;材质8种,编码用3位。这样个体编码共有11位,设计方案有1792个。染色体个体编码示意图图3。



图3 个体编码示意

Fig.3 Schematic diagram of individual coding

4.2 适应度函数建立

遗传操作中的适应度函数作为评价遗传进化染色体优劣程度的依据,采用了 Ohsa K 提出的群体共同评分模型^[10],适应度函数通过计算所得到的值越大,解的可靠度越高。交互式遗传算法的最终目标是使用户获得其在产品造型上特定需求的满足,因此使用用户对设计作品的“满意度”和“共识度”作为评价遗传染色体优劣水平的指标。该模型将评估用户的喜好分为3种:评价为3分表示用户对此方案呈“满意”态度,2分表示用户的态度为“普通”,1分则表示“不满意”。用户的满意度评分分值通过对各个用户的评分累加得出。假设有n位用户评估,那么满意度评分的

区间就是[n, 3n]。如果出现满意度评分相等的情况,那么就计算共识度标准,然后共同对适应度函数进行确定。用户评分情况见表1,虽然方案B和方案C的共同评分值都为10,但是方案C中评价的一致性程度较高,没有出现“不满意”的评价情况,因此,方案C更好地反映了用户的实际需要。

表1 用户评分情况

Tab.1 The score of the user

手柄设计方案	用户个人评分	群体共同评分
A	1 1 3 3	8
B	1 3 2 3	9
C	2 2 3 2	9

设用户评价分值为数列 $\{F_i\} (i=1, 2, \dots, n)$,令 $F_{\max}=\{F_j; F_j \geq F_i, i=1, 2, \dots, n\}$, $F_{\min}=\{F_k; F_k \leq F_i, i=1, 2, \dots, n\}$,则 F_i 经[0,1]标准化后的值为:

$$S(F_i) = \frac{(F_i - F_{\min})}{(F_{\max} - F_{\min})} \quad (1)$$

其中: F_i 为各个用户评价分的值; F_{\max} 为评分值数列中的最大值; F_{\min} 为评分值数列中的最小值; i, n 均为正整数,且 $1 \leq i \leq n$ 。

设共识度为 T ,采用标准差方式进行计算:

$$T = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}}{n} \quad (2)$$

其中: \bar{F} 为所有用户评价结果的平均值; i, n 均为正整数,且 $1 \leq i \leq n$ 。

满意度公式:

$$\bar{S}(F_i) = \sum_{i=1}^n \frac{S(F_i)}{n} \quad (3)$$

其中: $\bar{S}(F_i)$ 为满意度平均值; F_i 为各个用户评价分的值; $S(F_i)$ 为各个用户的满意度; i, n 均为正整数,且 $1 \leq i \leq n$ 。

假设 u 和 v 分别为共识度 T 和满意度 $\bar{S}(F_i)$,所占适应值比例($u+v=1$),则作为适应度函数的共识满意度:

$$F_{\text{fitness}} = u\bar{S}(F_i) + vT \quad (4)$$

4.3 算法流程

基于以上分析,在进行炊具手柄设计时对交互式遗传算法的运用流程如下。步骤1对各个方案的所有参数进行设定,将种群初始化。步骤2各个染色体的适应度值由用户与设计进行交互得到。用户可以通过评分修改染色体的适应值,为下一代的遗传选

择。步骤3根据步骤2中得到的适应度值产生新的种群。步骤4对新种群中的基因采用交叉、变异的操作。步骤5通过几轮反复考核和淘汰,在得到用户满意的结果时结束,否则转回,继续进行步骤2。

5 实例分析

选择3个现有的炊具手柄设计方案,对交互式遗传算法在炊具手柄设计中的应用作出实例说明。步骤1对现有的3种手柄设计进行染色体编码,建立个体基因,并将个体基因与表现形式一一对应。个体基因编码见表2。

表2 个体基因编码
Tab.2 Individual gene coding

方案	样式	装配方式	颜色	材质
A	板状	嵌入式	橙色	胶木
	10	110	011	001
B	纺锤型	可拆卸式	红色	胶木
	00	100	101	001
C	U型	螺丝固定	橙色	不锈钢
	11	001	011	101

最终编码:方案A为10110011001;方案B为001001001;方案C为11001011101。

步骤2为了使方案评估数据具有可信度,笔者选用的评估群体中包括了2名产品设计师和6名普通用户,让评估群体成员对各个染色体进行评价打分。根据公式(2)(3)(4)分别计算出每个方案中染色体的用户共识度 T , 用户满意度 $\bar{S} (F_i)$, 以及共识满意度 F_{times} , 即适应值。根据得到的值选择优良的基因,然后产生下一代方案。评分及计算结果见表3。

步骤3通过计算得到每个方案的适应度值后,根据各染色体的适应度生成新种群里的个体。步骤4将各个方案中适应度高的染色体进行交叉变异,得到新的方案,即方案D,见图4。步骤5最终得到的新个体的编码为00100011001,即纺锤型、可拆卸式、橙色、胶木材质的手柄。

6 结语

在传统的炊具手柄设计方法中使用交互式遗传算法,将用户的共识满意度作为评价函数,以此对评价机制进行优化,从而输出满足用户偏好需求的设计

表3 评分及计算结果

Tab.3 Scores and results

	值	共识度	满意度	共识满意度	
样式	10	3,2,3,1,1,2,1,1,1	0.707	0.375	0.475
	00	1,2,2,1,1,3,2,2	0.766	0.375	0.492
	11	1,1,1,1,1,3,1,1	0.766	0.125	0.263
装配方式	110	1,1,1,2,1,2,2,1	0.829	0.375	0.511
	100	3,3,3,3,2,3,3,3	0.883	0.875	0.878
	001	2,1,1,2,1,2,2,1	0.823	0.500	0.647
颜色	011	3,3,3,3,2,2,3,2	0.829	0.625	0.686
	101	3,2,3,1,1,2,2,2	0.750	0.500	0.575
	011	3,3,3,3,2,2,3,2	0.829	0.625	0.686
材质	001	3,2,3,2,3,3,3,3	0.847	0.750	0.779
	001	3,2,3,2,3,3,3,3	0.847	0.750	0.779
	101	3,2,3,2,2,3,2,3	0.823	0.500	0.597

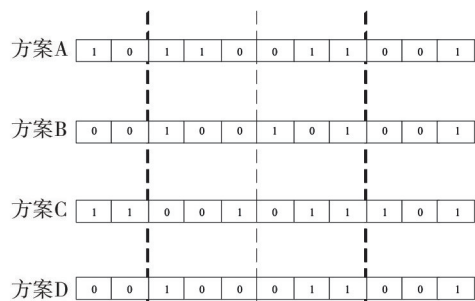


图4 获得新方案

Fig.4 Get new program

作品。这里采用的案例中,为更方便地说明算法应用,对个体数量进行了缩减。若遇到个体数量较大或进化时间过长的情况时,用户在评价过程中会出现疲劳及心理压力增大的反应,从而影响到所有个体的评估,因此,在未来的研究中一方面要注意设计质量的提高,另一方面还要将收敛问题纳入考虑范围。同时,还需将炊具种类进行细分,以便使手柄的设计方案更具有针对性。

参考文献:

[1] 王金瑾.基于手行为的饮用器皿设计探析[J].包装工程, 2014,35(4):68—71.
WANG Jin-jin.Analysis of Drinking Vessel Design Based on Hand Gesture[J].Packaging Engineering, 2014,35(4):68—71.
[2] 毛韞琳,张宇红.“行为记忆”在日常产品设计中的应用研究[J].包装工程,2014,35(4):57—60.
MAO Yun-lin, ZHANG Yu-hong.The Application of "Behavioral Memory" in Daily Product Design[J].Packaging Engi-

(下接第103页)

- Interaction and Function[D].Netherlands: Eindhoven University of Technology, 2011.
- [4] 傅婕, 赵江洪, 谭浩. 基于潜意识和行为习惯的交互设计启示性[J]. 包装工程, 2013, 34(2): 50—52.
FU Jie, ZHAO Jiang-hong, TAN Hao. Affordance in Interaction Design Based on Unconscious and Behavior[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(2): 50—52.
- [5] 李永锋, 朱丽萍. 可供性及其在设计中的应用探析[J]. 装饰, 2013(1): 120—121.
LI Yong-feng, ZHU Li-ping. Analysis of Affordance and Its Application in Design[J]. Zhuangshi, 2013(1): 120—121.
- [6] LYNDELL B, DAMIAN F, ANNETTE R, et al. But I Can't Pass That Far! The Influence of Motor Skill on Decision Making[J]. Psychology of Sport and Exercise, 2012(13): 152—161.
- [7] 莫格里齐·比尔. 关键设计报告——改变过去影响未来的交互设计法则[M]. 北京: 中信出版社, 2011.
MOGGRIDGE B. The Key Design Report: Change the Past Affect the Future of Interaction Design Rules[M]. Beijing: CITIC Publishing House, 2011.
- [8] 孙晓帆, 李世国. 交互式产品原型设计研究[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 134—136.
SUN Xiao-fan, LI Shi-guo. Study on Interactive Product Prototyping[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 134—136.
- [9] VAN C L, FRENS J W, OVERBEEKE C J, et al. Physical Interaction in a Dematerialized World[J]. International Journal of Design, 2013, 7(1): 2—18.
- [10] 郝凝辉, 鲁晓波. 实体交互界面设计的方法思辨[J]. 装饰, 2014(2): 34—37.
HAO Ning-hui, LU Xiao-bo. Critical Thinking on Tangible User Interface Design[J]. Zhuangshi, 2014(2): 34—37.

(上转第 98 页)

- neering, 2014, 35(4): 57—60.
- [3] 王玉珊, 李世国. 情感记忆在交互设计中的价值与应用[J]. 包装工程, 2011, 32(2): 56—59.
WANG Yu-shan, LI Shi-guo. The Value and Using of Emotional Memory in the Interactive Design[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(2): 56—59.
- [4] 张千里, 王小轩. 电动工具的可用性研究[J]. 上海工程技术大学学报, 2010, 24(4): 301—304.
ZHANG Qian-li, WANG Xiao-xuan. Study on Usability of Electric Tool[J]. Journal of Shanghai University of Engineering Science, 2010, 24(4): 301—304.
- [5] 骆建松. 基于 SEMG 技术的吸尘器手柄角度设计研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2013.
LUO Jian-song. Research on the Design of Vacuum Cleaner Handler Angle Based on SEMG Technique[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2013.
- [6] 鲍玉龙, 罗高生. 浅析炊具手柄设计方法[J]. 科教文汇, 2009, 9(3): 267.
BAO Yu-long, LUO Gao-sheng. Analysis of Cookware Handle Design Method[J]. The Science Education Article Collects, 2009, 3(1): 267.
- [7] 马永杰, 云文霞. 遗传算法研究进展[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(4): 1201—1210.
MA Yong-jie, YUN Wen-xia. Research Progress of Genetic Algorithm[J]. Application Rehash of Computers, 2012, 29(4): 1201—1210.
- [8] 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.
SUN Yan, WANG Wan-liang, ZHAO Yan-wei, et al. Evaluation Mode of Interactive Genetic Algorithm Facing User Image in the Product Development[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012, 18(2): 276—281.
- [9] 成果, 李继云. 基于交互式遗传算法的服装风格偏好模型研究[J]. 计算机应用与软件, 2011, 28(2): 229—238.
CHENG Guo, LI Ji-yun. Research on Clothing Style Preference Model Based on Interactive Genetic Algorithm[J]. Computer Applications and Software, 2011, 28(2): 229—238.
- [10] 李杰. 交互式遗传算法在分形艺术设计中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(35): 66—68.
LI Jie. Application of Interactive Genetic Algorithm in Fractal Artistic Design[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(35): 66—68.