

DOI:10.13196/j.cims.2015.04.001

# 设计意图驱动的产品形态设计方法

杨延璞, 刘 琼

(长安大学 工程机械学院, 陕西 西安 710064)

**摘 要:**为减小用户和设计师对产品形态方案的认知差异,将产品形态设计中的设计意图分为设计需求意图、设计编码意图和设计解码意图,建立了设计意图模型,构建了以满足用户需求意图、体现设计师设计编码意图及减小用户解码与设计师编码之间差异为目标的设计意图模型求解算法,探讨了设计意图驱动的产品形态设计过程,研究了基于交互式遗传算法的设计意图求解方法。以家用轿车前脸形态设计为例,分别进行了设计需求意图获取与映射、设计编码意图表达以及交互遗传解码研究,验证了所提方法的有效性。

**关键词:**设计意图;产品形态设计;设计需求;设计编码;设计解码;交互式遗传算法

**中图分类号:**TB472 **文献标识码:**A

## Product form design method driven by design intent

YANG Yan-pu, LIU Qiong

(School of Construction Machinery, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:**To reduce the cognition difference of product form between users and designers, the design intent in product form design process was divided into design need intent, design encoding intent and design decoding intent, and the design intent model was constructed. A solution algorithm was proposed aiming to meet users' need intent and demonstrate designers' design encoding intent, and reduce decoding and encoding divergence between users and designers. The process of product form design driven by design intent was discussed. Interactive Genetic Algorithms (IGA) was applied to seek an intelligent solution of design intent. The family car face design was taken as an example to verify the effectiveness of the proposed method by researching design need intent acquisition and mapping, design encoding intent expression and design evolution and decoding based on IGA were researched respectively.

**Key words:** design intent; product form design; design need; design encoding; design decoding; interactive genetic algorithm

## 0 引言

产品形态是产品的物质载体,传达着产品的物质功能与精神功能,是用户与设计师沟通的重要媒介。产品形态设计活动始于设计师的表意传达,终于用户的感受与理解,其核心在于表达与沟通<sup>[1]</sup>。该过程是面向用户需求满足的创意思考的发展过

程,也是产品信息的进化过程,不仅包括设计师对产品形态信息的编码,还包括用户通过认知过程进行的解码。用户需求信息、设计师编码过程与用户解码过程共同构成产品形态设计意图。随着感性消费与用户体验的发展,如何准确获取用户设计需求意图、捕捉设计师的设计编码意图、减小用户解码意图与设计师编码意图之间的差异,成为产品形态设计

收稿日期:2014-07-04;修订日期:2014-09-30。Received 04 July 2014; accepted 30 Sep. 2014.

基金项目:陕西省自然科学基金资助项目(2011JQ8013);中央高校基本科研业务费资助项目(2014G1251032)。Foundation items: Project supported by the Natural Science Foundation of Shanxi Province, China(No. 2011JQ8013), and the Fundamental Research Funds for the Central Universities, China(No. 2014G1251032).

成功的关键<sup>[2]</sup>。

在产品形态设计中,目前对用户设计需求意图的研究集中在用户感性需求的获取与处理,针对设计编码意图和解码意图分别集中在产品形态方案的生成与评价。在设计需求意图研究方面,常用语义差异(Semantic Differential, SD)法<sup>[3-4]</sup>分析并获取用户的意象感知,以聚类方法实现对感性需求的降维处理<sup>[5-7]</sup>。对于设计编码意图,文献[8]提出自适应机制跟踪并捕捉设计师的形态设计意图;文献[9]将遗传算法和形状文法结合,通过交互式操作产品形态特征辅助设计编码意图表达;文献[10]构建了产品基因调控网络模型,用以发现产品形态要素之间的关系并辅助设计师进行设计编码。对设计解码意图的研究主要体现为用户对设计编码方案进行评价,常用模糊综合评价法<sup>[11]</sup>、灰关联分析法<sup>[12]</sup>、交互式遗传算法<sup>[13]</sup>、层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)和逼近理想解的排序(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)方法<sup>[14]</sup>等。然而,如何同时将设计需求意图、设计编码意图与设计解码意图融入产品形态设计过程,辅助设计师把握设计需求意图,减小用户解码和设计师编码之间的差异,还有待于进一步研究。

本文通过分析产品形态设计过程的设计意图,分别对设计需求意图、设计编码意图和设计解码意图进行建模,构建了以满足用户需求意图、体现设计师设计编码意图及减小用户解码与设计编码之间差异为目标的设计意图模型求解算法,提出了设计意图驱动的产品形态设计过程,基于交互式遗传算法研究了设计意图模型的求解方法。最后,以家用轿车前脸的形态设计为例验证了方法的有效性。

## 1 设计意图

### 1.1 设计意图分类

设计意图(Design Intent, DI)指设计过程中设计者所有心智活动和活动的结果,既包括设计的目标,又包括对将要得到结果的考虑<sup>[15]</sup>。产品形态设计主要涉及产品的感性特质<sup>[16]</sup>,其“设计的目标”是满足用户的感性需求,“对将要得到结果的考虑”是设计师创造性思维过程的体现。据此,可将产品形态设计中的意图分为设计需求意图、设计编码意图和设计解码意图。

#### (1)设计需求意图

设计需求意图是用户感性认知的反映,是产品形态设计的目的,属于目的意图。用户感知意象的形成过程,是从形态元素到形成子意象、再形成总意象的过程<sup>[17]</sup>。因此,用户的设计需求意图既包括感性需求,又包括反映该感性需求的形态元素。感性需求是形态元素的语义描述,形态元素是用户感性需求的外显化表达。

#### (2)设计编码意图

设计编码意图是设计师心理活动的直接体现,是设计师综合运用各方面知识进行创造性设计活动的综合意图体现,是产品形态设计的直接意图,属于过程意图。设计编码意图包括规划意图、策略意图和执行意图。其中,规划意图为产品形态设计过程制定合适的开发顺序;策略意图为产品形态设计过程的每个阶段制定详细的行动计划;执行意图确定产品形态设计过程的执行方法、步骤与内容等信息。

#### (3)设计解码意图

设计解码意图是由用户参与,对产品形态设计结果进行解码并按照一定标准作出决策,从而促使产品形态设计的进一步决策或优化,属于过程意图。设计解码意图包括评价意图和决策意图。

产品形态设计过程的设计意图层次关系如图 1 所示。

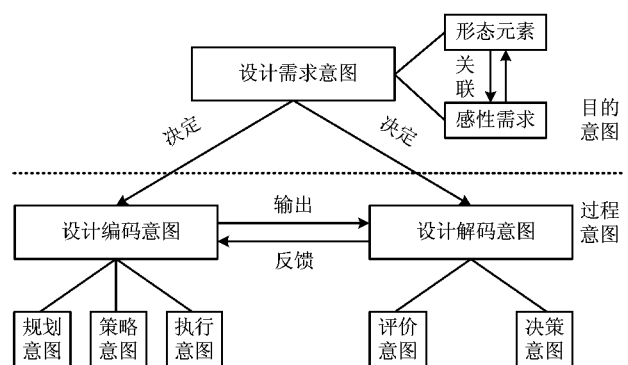


图1 设计意图层次关系图

### 1.2 设计意图建模

令设计意图为  $DI$ ,设计需求意图为  $DI_N$ ,设计编码意图为  $DI_E$ ,设计解码意图为  $DI_D$ ,三者共同构成设计意图,表示为

$$DI = \langle DI_N, DI_E, DI_D \rangle. \quad (1)$$

#### (1)设计需求意图建模

对于设计需求意图  $DI_N$ ,设感性需求集合为  $KN = \{KN_1, KN_2, \dots, KN_m\}$ ,产品形态元素集合

为  $PF = \{PF_1, PF_2, \dots, PF_n\}$ , 满足  $KN_i \cap KN_j = \emptyset, PF_i \cap PF_j = \emptyset$ , 则有

$$DI_N = \langle KN, PF, f(PF, KN) \rangle;$$

$$f(PF, KN) = N(F(KN) \cap G(PF)) / N(G(PF)) \geq \delta_{\min}. \quad (2)$$

式中:  $F(KN)$  为用户需求  $KN$  映射的形态元素集合;  $G(PF)$  为形态元素  $PF$  的语义特征集合;  $N(a)$  为集合  $a$  的元素个数;  $\delta_{\min}$  为满足  $KN$  所需的形态元素  $PF$  的比例最小值, 且  $\delta_{\min} \geq 0$ ;  $f(PF, KN) = 1$  表示  $PF$  能够满足  $KN$ ,  $f(PF, KN) = 0$  表示  $PF$  不能满足  $KN$ , 将大于等于  $\delta_{\min}$  小于等于 1 的值做进一步细分, 可判定  $PF$  满足  $KN$  的强弱程度。

### (2) 设计编码意图建模

设计编码意图  $DI_E$  主要反映设计师在设计过程中的规划、策略和执行方法, 通过综合设计需求意图与产品约束, 最终以产品形态方案的形式表达出来。设目标产品形态元素集合为  $TPF = \{TPF_1, TPF_2, \dots, TPF_p\}$ , 则其设计过程的设计编码意图可表示为

$$DI_E = TPF \pm \alpha A(TPF_i) \pm \beta A(PF_j). \quad (3)$$

式中:  $1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq n$ ;  $A$  为转换矩阵, 代表形态推理规则(具体使用方法见文献[18]);  $\alpha > 0, \beta \geq 0$ , 且  $\alpha, \beta \in N^*$ , 表示转换矩阵的应用次数。

### (3) 设计解码意图建模

设计解码意图  $DI_D$  包括评价意图和决策意图, 主要由用户根据评价指标对产品设计方案作出评价, 实现对方案的选择决策和指导后续方案的改进。假设经设计编码意图建模得到的目标产品造型方案集合为  $PE = \{PE_1, PE_2, \dots, PE_q\}$ , 则设计解码意图可表示为

$$DI_D = \langle f_{EV}(PE), f_{DM}(PE) \rangle. \quad (4)$$

式中:  $f_{EV}$  为评价函数,  $f_{DM}$  为决策函数。

## 1.3 设计意图模型求解

设计意图的实现过程是用户与设计师共同参与产品形态设计的过程, 其目的是将设计需求意图作为约束空间, 将设计编码意图作为设计可调参数, 将设计解码意图作为设计求解目标, 使最终设计方案尽可能逼近用户需求。其中有三个关键因素:

(1) 目标函数 目标函数构建以满足用户需求意图、体现设计师设计编码意图及减小用户解码与设计师编码之间的差异为目标。对于任一产品形态编码方案, 目标意象值设定为  $\theta$ , 用户意象评价值为  $C$ , 设计师意象评价值为  $D$ , 构建目标函数

$$\min F(x) = \min \left[ \eta_1 \sum_{i=1}^K |w_i(C_i - \theta)| + \eta_2 \sum_{i=1}^K |w_i(D_i - \theta)| \right] + \min \sum_{i=1}^K |C_i - D_i|;$$

$$\max f(x) = \max \left( \eta_1 \sum_{i=1}^K w_i C_i + \eta_2 \sum_{i=1}^K w_i D_i \right). \quad (5)$$

式中:  $\eta_1$  和  $\eta_2$  为用户和设计师对设计意图模型产生产品形态方案意象评价的权重, 一般而言,  $\eta_1 > \eta_2$ ,  $\eta_1 + \eta_2 = 1$ ;  $K$  为意象评价指标的数目;  $C_i$  和  $D_i$  为用户和设计师对第  $i$  个意象指标的评价值;  $w_i$  为各个意象指标的权重, 且  $w_1 + w_2 + \dots + w_K = 1$ 。

式(5)可进一步表示为

$$\max \{f(x) - F(x)\}. \quad (6)$$

(2) 设计变量 设计意图模型求解过程有形态元素变量和意象评价变量两个设计变量。形态元素变量是设计编码意图模型的输入, 意象评价变量是设计解码意图模型的输入, 对这两个变量的求解结果可直接纳入后续详细设计。

(3) 约束空间 针对设计变量, 约束空间也分为形态元素约束和意象评价约束两类。建立约束空间如下:

$$PF = \{PF_1, PF_2, \dots, PF_n\};$$

$$TPF = \{TPF_1, TPF_2, \dots, TPF_p\};$$

$$x = \{x_1, x_2, \dots, x_d\} \in S \subseteq R^d;$$

$$x_i \in [a_i, b_i], i = 1, 2, \dots, d. \quad (7)$$

式中:  $PF$  和  $TPF$  为产品形态元素约束;  $x$  为  $d$  维决策变量, 表示意象评价指标的数目;  $[a_i, b_i]$  为意象指标  $x_i$  的取值范围。

## 2 设计意图驱动的产品形态设计过程

产品形态设计过程是设计师利用自身知识、经验、创意实现用户某种特定需求的过程, 用户需求是问题的来源和设计的起点<sup>[19]</sup>。产品形态设计是总设计意图, 分意图为设计需求意图、设计编码意图和设计解码意图, 各个分意图又可分解并衍生为下一级子意图。随着产品形态设计过程的进行, 各级子意图逐步分解成意图单元, 直至设计过程完成。意图单元为不可再分的设计意图, 具有直接描述产品形态设计各分意图的特征、属性和指标等。设计需求意图映射为设计需求获取过程, 设计编码意图映射为设计师的创意设计过程, 设计解码意图映射为用户对产品形态方案的感知过程, 并以此驱动产品形态设计过程, 如图 2 所示。

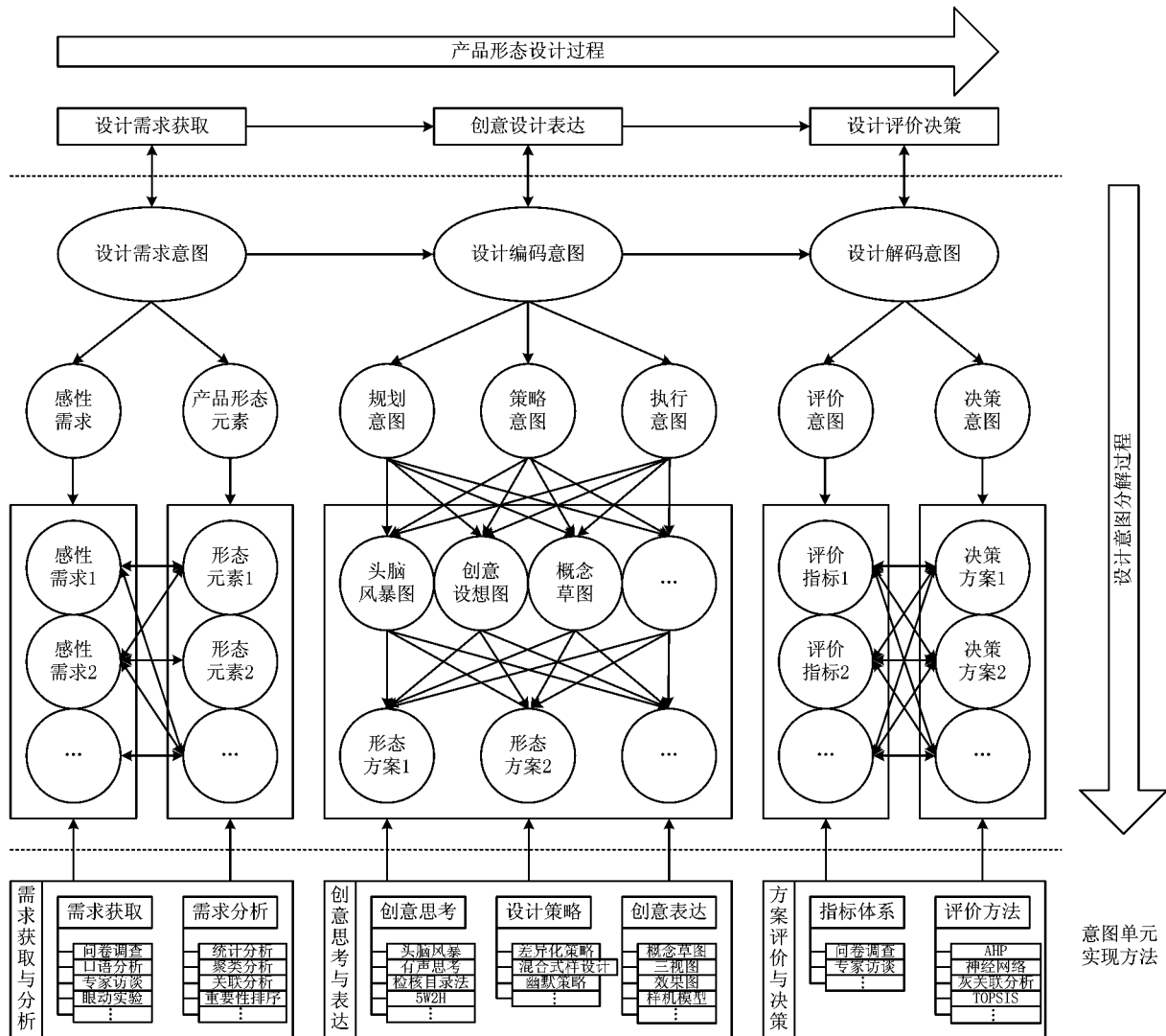


图2 设计意图驱动的产品形态设计过程

### (1) 设计需求获取

设计需求获取过程可映射为设计需求意图分解过程。感性需求与产品形态元素为二级子意图，可进一步分解为感性需求意图单元、形态元素意图单元及其之间的相互关系。感性需求意图单元可通过问卷调查、口语分析、专家访谈等方法获取，并借助统计、聚类等方法进行降维处理。感性需求意图单元与形态元素意图单元之间的关联关系可由灰关联分析、数量化一类理论等方法建立，获取能够表达感性需求的形态元素特征集，为设计师设计编码提供参考。

### (2) 创意设计表达

创意设计表达过程可映射为设计编码意图分解过程。规划意图、策略意图与执行意图构成二级子

意图，三者创意思考过程、设计策略选择与设计表达过程中同时作用，以头脑风暴图、创意设想图、概念草图等形式将创意思维可视化，最终形成产品形态方案。该过程由设计师融合目标产品形态元素与设计需求获取得到的参考形态元素及感性需求约束，结合个人创意、灵感、经验等进行设计表达，其呈现形式为概念草图、三视图、效果图和样机模型等。

### (3) 设计评价决策

设计评价决策过程可映射为设计解码意图分解过程，集中体现用户对产品形态方案的感知，通过用户参与评价和决策选择方案。评价意图分解为评价指标意图单元，由问卷调查、专家访谈等方法建立；决策意图分解为决策方案意图单元，体现用户决策的方式与决策结果。



### 3 产品形态交互遗传操作

设计意图分解得到的产品形态元素,是设计意图视觉化的表现形式之一,构成了产品形态自动求解的基本单元。用户和设计师对求解结果的理解,在一定程度上能够反映他们之间的认知差异,通过产品形态的交互遗传操作,可以让用户与设计师共同参与寻优过程,以保证最终解方案与用户和设计师的相容性。

由于交互式遗传算法追求满意解而非最优解,而满意解具有不唯一性<sup>[13]</sup>,为了降低用户与设计师交互操作的疲劳度,本文认为进化过程出现满足要求的满意解时即结束进化操作。算法流程如图 3 所示。首先根据用户需求意图输入产品形态元素单元,根据目标意象分别进行自动初始化方案和设计师选择产品形态元素初始化方案;然后综合用户评价和设计师评价获得个体适应度值,判断是否满足进化终止条件,满足则输出产品形态方案,否则将最优个体保存至下一代,其他个体进行选择、交叉、变异操作。

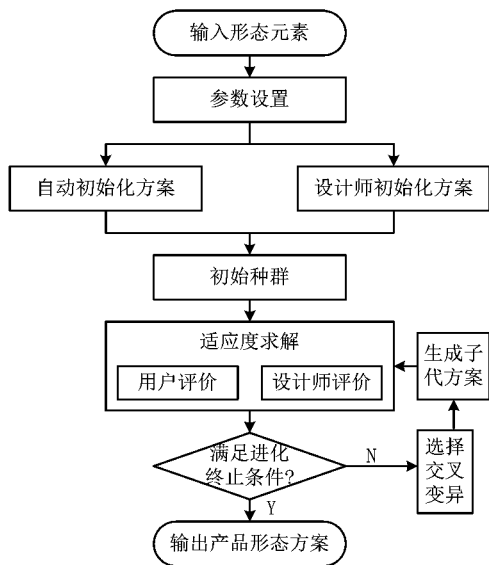


图3 交互式遗传算法求解流程

#### (1) 编码方式

初始形态元素采用二进制编码,染色体由初始形态元素映射的产品形态部件构成。如果初始形态元素集合为  $PF = \{PF_1, PF_2, \dots, PF_n\}$ , 则染色体可表示为  $\{PF_i, PF_j, PF_k, \dots\}$ 。其中  $PF_i, PF_j$  和  $PF_k$  分别对应相应的产品形态部件。

#### (2) 适应度求解

根据式(5)~式(6),可构建编码方案的个体适

#### 应度函数

$$Fit(x) = \frac{\eta_1}{U_C} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{U_C} w_i C_{ij}(x) + \frac{\eta_2}{U_D} \sum_{i=1}^K \sum_{k=1}^{U_D} w_i D_{ik}(x) - \left[ \frac{\eta_1}{U_C} \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^{U_C} |w_i (C_{ij}(x) - \theta)| + \frac{\eta_2}{U_D} \sum_{i=1}^K \sum_{k=1}^{U_D} |w_i (D_{ik}(x) - \theta)| + \sum_{i=1}^K \left| \frac{1}{U_C} \sum_{j=1}^{U_C} C_{ij}(x) - \frac{1}{U_D} \sum_{k=1}^{U_D} D_{ik}(x) \right| \right]. \quad (8)$$

式中:  $U_C$  和  $U_D$  分别为参与评价的用户和设计师的数目;  $C_{ij}(x)$  为第  $j$  个用户对第  $i$  个意象指标的评价值;  $D_{ik}(x)$  为第  $k$  个设计师对第  $i$  个意象指标的评价值,且  $C_{ij}(x), D_{ik}(x) \in [a_i, b_i]$ ;  $\theta = \alpha \times b_i$ ,  $\alpha$  为用户满意度因子,一般取 0.8~1.0。

#### (3) 算法终止条件

在进化代数约束下,规定当满足如下条件时即终止交互遗传操作:种群中出现的个体综合评价价值超过目标满意度值,且满意度个体的数量达到预设值。

### 4 实例验证

以汽车形态设计为例,对上述方法进行应用验证。研究表明,影响汽车形态意象的关键特征为车灯、侧面轮廓线与进风格栅<sup>[20]</sup>。因此,本研究选定车灯与进风格栅作为研究对象,其中车灯包括车大灯和雾灯,进风格栅包括上进风格栅和下进风格栅。

#### (1) 设计需求获取

从网站、书刊、杂志、论文等媒介搜集关于家用轿车前脸的感性词汇,去除相近、相似、不合理的冗余描述,以 Likert 七级量表建立网络问卷,调查用户对家用轿车前脸形态的感性需求,经聚类分析和设计师聚焦,获取用户期望的意象形容词为时尚、动感。为了将用户感性需求外显化,同时避免同类产品可能引起的思维定势,首先挑选 128 幅除目标产品外的参考产品前脸,包括摩托车、火车、船只、飞行器及其他相关交通工具类产品,由两名设计师经初步分析与相似产品剔除,最终确定 46 个产品样本作为参考样本。对用户期望意象构建 Likert 七级量表(时尚(3)—落伍(-3)、动感(3)—静态(-3)),随机选取 23 名用户对参考样本打分,最后选出得分较高的 16 款产品作为参考。因为参考产品前脸与汽车车灯和进风栅格特征线难以直接对应,所以由设计师将参考产品的前脸特征线向汽车车灯和进风格栅特征线转换,得到车大灯、上格栅、下格栅、雾灯形

态线数量均为 16,如图 4 所示。

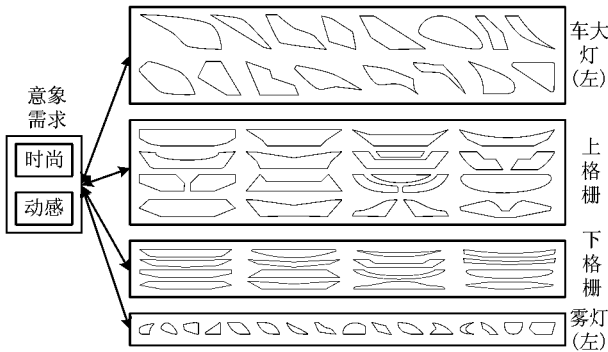


图4 意象需求与形态元素

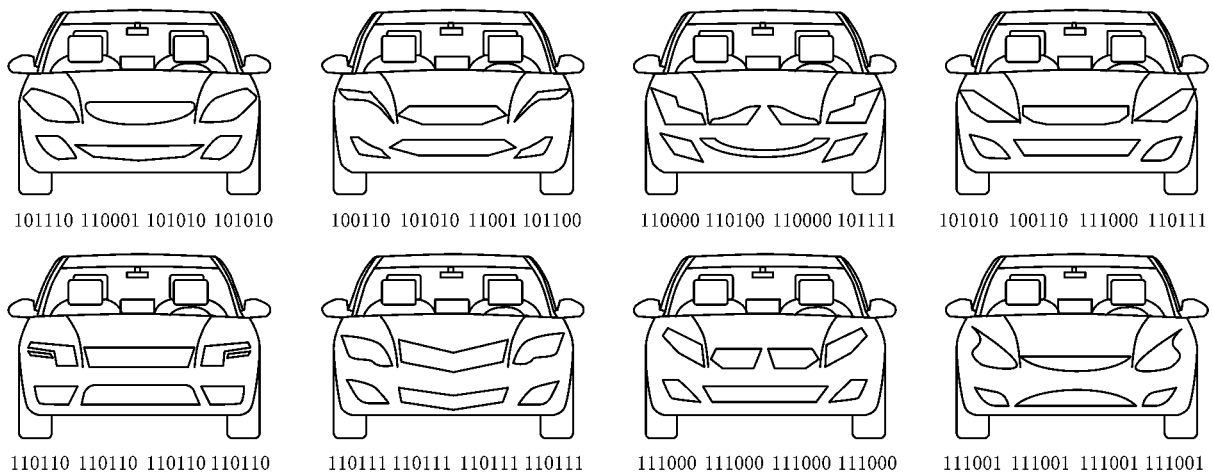


图5 初始设计方案与二进制编码

(3)设计解码

8名用户和2名设计师共同参与交互设计解码。个体方案评分采用5分制,即 $a_i=1, b_i=5$ 。设定时尚与动感的权重均为0.5,用户与设计师的评价权重分别为0.8和0.2。遗传操作采用轮盘赌方式选择,交叉方式为离散重组,种群规模为8,交叉概率为0.8,变异概率为0.15,最大进化代数为20,期望得到三个满意个体。相关参数如表1所示。在矢量图形软件CorelDRAW X4中应用VBA语言进行二次开发,构建交互操作引擎如图6所示。

表1 遗传操作相关参数设置

种群规模		编码方式	评价者数量		交叉概率	变异概率	满意因子	进化代数	满意个体数量
自动初始化	设计师初始化		用户	设计师					
4	4	二进制	8	2	0.8	0.15	0.9	20	3

(4)结果分析

经过9代进化操作,得到第2,6和8代三个个

(2)设计编码表达

为体现设计编码意图,由两名设计师根据形态元素集,同时结合自己对设计需求的理解,再分别对汽车前脸的四种部件创意设计两款方案。将设计师所设计的车灯与进气格栅纳入形态元素集,经排列组合可产生 $20^4$ 种汽车前脸方案。对形态元素集中的各元素采用六位二进制编码(编码顺序为车大灯、上格栅、下格栅、雾灯),初始方案种群由算法自动生成4款,设计师通过个人选择生成4款,得到初始方案样本8款。初始设计方案与二进制编码形式如图5所示。

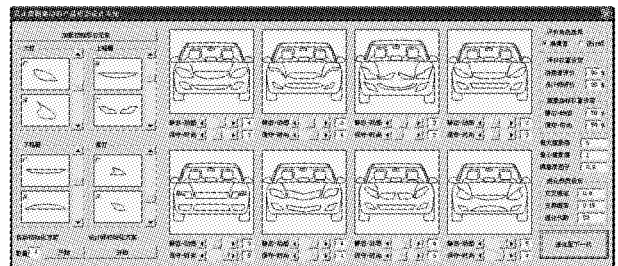


图6 交互操作界面

体满足目标(满意度值大于 $\theta$ ),进化过程终止。各代最优个体如图7所示,各代对应的适应度值、综合评价价值及用户与设计师认知的差异度变化曲线如图8所示。对结果进行分析可知,交互进化解码过程具有以下特征:

(1)进化过程是收敛的 数据表明,在交互进化解码过程中方案评价价值可能下降(如图8b),但适应度值均呈增大趋势(如图8a),表明算法有较好的全局收敛性。

(2)方案整体满意度在提升 图8b所示为个体

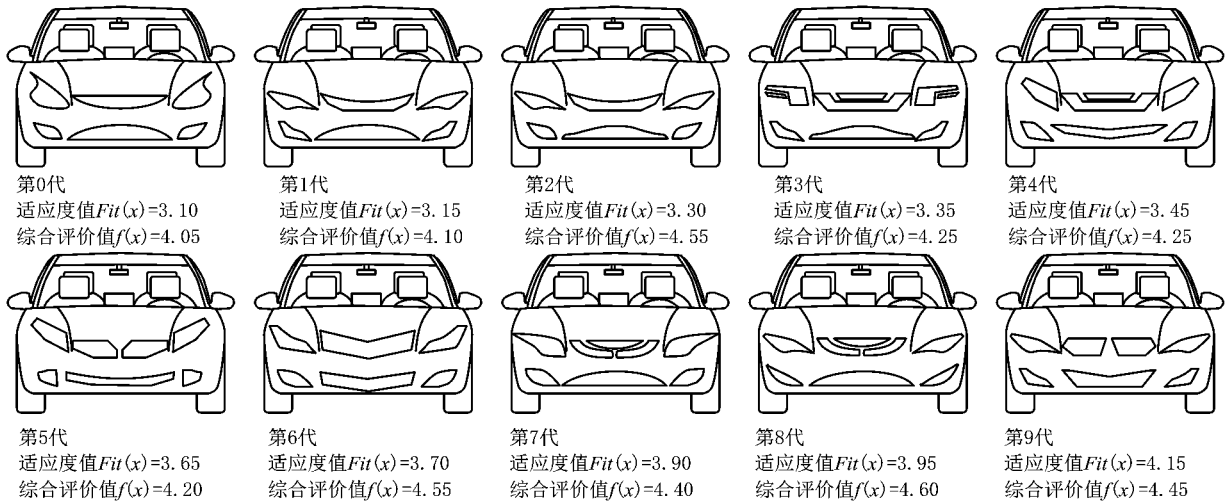


图7 各代最优个体

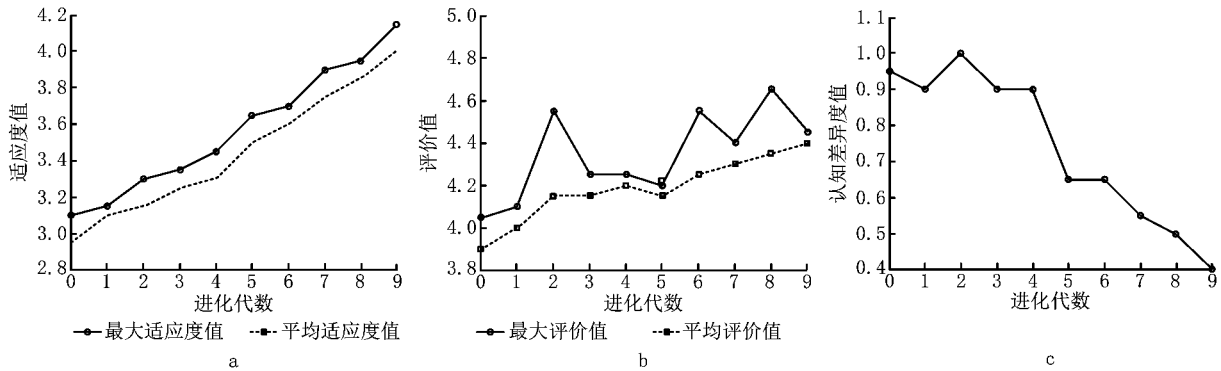


图8 进化过程中的适应度值、评价价值与认知差异度值

最大评价价值呈波动的现象,原因是被试者对进化新个体的评价价值受主观性与疲劳程度的影响,并非一直增加。而平均评价价值逐渐增大,且逐渐接近目标满意度值,表明被试者对方案的整体满意度在提升。

(3)能够在一定程度上减小用户和设计师的认知差异度 图8c所示为用户与设计师的认知差异度逐渐缩小,但这种差异不可能完全消除,且存在波动。

综上所述,交互进化解码过程能够在一定程度上缩小用户和设计师的认知差异,生成满足用户和设计师需求的方案。第2,6和8代方案作为满意解,可供设计师进一步细化设计。

### 5 结束语

本文将产品形态设计过程的设计意图分为设计需求意图、设计编码意图与设计解码意图,构建了设计意图模型,提出以满足用户需求意图、体现设计师设计编码意图及减小用户解码与设计师编码之间差异为目标的设计意图模型求解算法,建立了设计意

图驱动的产品形态设计过程,探讨了基于交互式遗传算法的设计意图求解流程。通过家用轿车前脸的形态设计实验,验证了本文方法有助于设计师把握用户需求,减小用户与设计师之间对产品形态设计方案的认知差异。然而,本文的研究还存在不足之处,例如用户需求具有模糊性,无法准确建立向产品形态元素的映射关系,尚需通过大量实验进一步将用户需求具体化。下一步研究将考虑采用客观方式建立用户需求向设计需求意图的映射机制,使设计编码意图表达更为准确有效。

### 参考文献:

[1] YANG Tsai-Lin, HO Ming-Chyuan, LUH Ding-Bang. Gestalt-oriented approach to form creation[J]. Journal of Design, 2011, 16(4): 19-34 (in Chinese). [杨彩玲,何明泉,陆定邦.层次完形导向之造形创作模式[J].设计学报,2011,16(4):19-34.]

[2] LEE Ya-Chieh, HO Ming-Chyuan. A study on the weighting of indicators for image design[J]. Journal of Design, 2011, 16(1): 41-64 (in Chinese). [李亚杰,何明泉.商品意象设计指标

- 权重之研究[J]. 设计学报, 2011, 16(1): 41-64. ]
- [3] OSGOOD C E, SUCI C J, TANNENBAUM P H. The measurement of meaning[M]. Urbana, Ill., USA: University of Illinois Press, 1957.
- [4] HUANG Y, CHEN C H, KHOO L P. Products classification in emotional design using a basic-emotion based semantic differential method[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2012, 42(6): 569-580.
- [5] KYUNG MEE C, CHANG GRIM J. A systematic approach to the Kansei factors of tactile sense regarding the surface roughness[J]. Applied Ergonomics, 2007, 38(1): 53-63.
- [6] ZHOU Meiyu, GONG Lina, LIU Fei. application of cluster model in kansei design[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(7): 248-252 (in Chinese). [周美玉, 龚丽娜, 刘飞. 聚类模型在感性设计中的应用[J]. 机械工程学报, 2008, 44(7): 248-252. ]
- [7] HUANG Y, CHEN C H, KHOO L P. Kansei clustering for emotional design using a combined design structure matrix[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2012, 42(5): 416-427.
- [8] ZHANG Wenli, ZUO Hongfu, ROLLER D. Adaptive interactive evolutionary computation -based intent-oriented modeling [J]. China Mechanical Engineering, 2006, 17(4): 350-353 (in Chinese). [张文莉, 左洪福, ROLLER D. 基于自适应交互进化的设计意图驱动造型 [J]. 中国机械工程, 2006, 17(4): 350-353. ]
- [9] LEE H C, HERAWAN T, NORAZIAH A. Evolutionary grammars based design framework for product innovation[J]. Procedia Technology, 2012, 1(1): 132-136.
- [10] LIU Xiaojian, SUN Yan, WU Jianfeng, et al. Product's gene regulatory network model and its aiding to design process[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(7): 1463-1471 (in Chinese). [刘肖健, 孙艳, 吴剑锋, 等. 产品基因调控网络模型及其对设计过程的辅助[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(7): 1463-1471. ]
- [11] HSIAO S W, KO Y C. A study on bicycle appearance preference by using FCE and FAHP[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2013, 43(4): 264-273.
- [12] ZHAI L Y, KHOO L P, ZHONG Z W. Design concept evaluation in product development using rough sets and grey relation analysis[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(3): 7072-7079.
- [13] SUN Yan, WANG Wanliang, ZHAO Yanwei, et al. User image oriented interactive genetic algorithm evaluation mode in product development[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012, 18(2): 276-281 (in Chinese). [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. ]
- [14] LIN M C, WANG C C, CHEN M S, et al. Using AHP and TOPSIS approaches in customer-driven product design process[J]. Computers in Industry, 2008, 59(1): 17-31.
- [15] SUN Zhaoyang, LIU Jihong. Representation of design intents in design thinking process model[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(8): 182-189 (in Chinese). [孙兆洋, 刘继红. 设计思考过程模型中设计意图的表达[J]. 机械工程学报, 2009, 45(8): 182-189. ]
- [16] JIAO J X, ZHANG Y Y, HELANDER M. A Kansei mining system for affective design[J]. Expert Systems with Applications, 2006, 30(4): 658-673.
- [17] ZHANG Yanhe, YANG Ying, LUO Shijian, et al. Mental construction of user perception image in product design[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(2): 178-184 (in Chinese). [张艳河, 杨颖, 罗仕鉴, 等. 产品设计中用户感知意象的思维结构[J]. 机械工程学报, 2010, 46(2): 178-184. ]
- [18] YANG Yanpu, CHEN Dengkai, YU Suihuai, et al. Pan-ethnic-product form design based on shape grammar[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2013, 19(9): 2107-2115 (in Chinese). [杨延璞, 陈登凯, 余隋怀, 等. 基于形状文法的泛族群产品形态设计[J]. 计算机集成制造系统, 2013, 19(9): 2107-2115. ]
- [19] JIANG Shaofei, CHEN Shuai, LU Congda, et al. Integration of capturing design intent and parametric design [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2011, 17(4): 726-731 (in Chinese). [姜少飞, 陈帅, 鲁聪达, 等. 设计意图捕捉与参数化设计集成研究[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(4): 726-731. ]
- [20] HAN Ting, SUN Shouqian, PAN Yunhe. Product form preference prediction system based on consumer's cognition model[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2009, 43(4): 606-611 (in Chinese). [韩挺, 孙守迁, 潘云鹤. 基于消费者认知的产品形态偏好预测系统[J]. 上海交通大学学报, 2009, 43(4): 606-611. ]

### 作者简介:

杨延璞(1984—),男,河南南阳人,讲师,博士,研究方向:产品创新设计、知识管理等, E-mail: thomasyang2005@126.com;  
刘琼(1976—),女,陕西西安人,讲师,博士,研究方向:智能机器与系统。