

# 基于朴素贝叶斯法的产品造型设计可用性评价研究\*

苏建宁,刘婷婷,王鹏

(兰州理工大学 设计艺术学院,甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 鉴于可用性对用户体验的核心作用,提出一种面向产品造型设计可用性效果的评价新方法。分析代表性样本,提取产品造型设计特征属性;从感知可用性和绩效可用性两方面建立评价指标的类别集合;应用朴素贝叶斯法构建产品造型设计可用性评价模型。通过三键对称型汽车钥匙的实例应用,表明建立的模型具有良好的预测精度,能有效应用于设计中的可用性评价。

**关键词:** 产品设计;可用性;朴素贝叶斯法;设计评价

中图分类号:TB472;TH166 文献标识码:A 文章编号:1001-2354(2016)02-0105-04

DOI:10.13841/j.cnki.jxsj.2016.02.021

## Research on usability evaluation of product form design based on Naive Bayes method

SU Jian-ning, LIU Ting-ting, WANG Peng

(School of Design Art, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050)

**Abstract:** In view of the core role of usability for user experience, a new evaluation method of usability effect facing to product form design was presented. The representative samples were analyzed and the characteristic properties of product form design were extracted; the category set of evaluation criteria was built from both the perception usability and the performance usability; the Naive Bayes method was applied to construct the usability evaluation model for product form design. The evaluation case of the symmetric car key with three keys showed that the model has good predictive precision and can be effectively applied to usability evaluation analysis in design.

**Key words:** product design; usability; Naive Bayes method; design evaluation

当用户体验逐渐成为设计关注的核心,以用户为中心就成为产品开发中的重要思想<sup>[1]</sup>。作为产品设计考虑的核心,可用性对用户体验的优劣起到决定性的作用。目前,国内外学者在产品造型设计领域的可用性研究及成果已逐渐增多,如 Jiyoun Kwahk 等<sup>[2]</sup>以电子产品为例进行研究,提出一套可用性评价体系;金涛等<sup>[3]</sup>利用粗糙集和灰色分析法解决复杂产品界面可用性评估中的模糊问题。文中基于贝叶斯理论,通过朴素贝叶斯法构建产品造型设计的可用性评价模型,从而更好地模拟用户与产品交互体验的过程,为支持计算机辅助设计提供新的评价方法。

## 1 朴素贝叶斯法

贝叶斯理论是英国数学家托马斯·贝叶斯于18世纪中叶提出的一种数学理论,已在感知、学习、记忆及推理等多个研究领域得到广泛应用。如李兰春等<sup>[4]</sup>建立了动态

层次朴素贝叶斯网络分类器模型,用于认知结构的评估。

朴素贝叶斯(Naive Bayes)法是基于贝叶斯定理与特征属性独立假设的分类方法。设事件  $B_1, B_2, \dots, B_n$  为样本空间  $\Omega$  的一个分割,它们之间互不相容,且

$\bigcup_{i=1}^n B_i = \Omega$ , 则对任一事件  $A$ , 在条件  $P(A) > 0$  和  $P(B_i) > 0$

成立时,则有贝叶斯定理:

$$P(B_i|A) = \frac{P(B_i)P(A|B_i)}{P(A)} = \frac{P(B_i)P(A|B_i)}{\sum_{j=1}^n P(B_j)P(A|B_j)} \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

对于给定的训练数据集,首先基于特征属性独立假设学习输入和输出的联合概率分布,进而建立分类模型;然后对于给定的输入,应用贝叶斯定理求出后验概率最大的类别而作为其分类类别<sup>[5]</sup>。朴素贝叶斯法结构简单、分类精度高,是目前学习效率较好的分类器之一。如杨鼎等<sup>[6]</sup>利用朴素贝叶斯分类器对文本进行

\* 收稿日期 2015-11-19; 修订日期 2015-12-20

基金项目 国家自然科学基金资助项目(51465037); 兰州理工大学红柳杰出人才培养计划资助项目(J201406)

快速情感分类。文中应用朴素贝叶斯法建立产品造型设计特征属性与可用性评价指标之间的关联,以指导设计师更好地把握产品可用性的评价效果。

## 2 产品造型设计的可用性

根据 ISO 9241—2011,可用性是指产品在特定环境下为特定用户用于特定用途时所具有的有效性、效率和用户主观满意度<sup>[7]</sup>。其中,有效性指用户完成特定任务和达到特定目标时所具有的正确和完整程度;效率指用户完成任务的正确和完整程度与所用资源(如时间)之间的比率;满意度指用户在使用产品过程中感受到的主观满意和接受程度。而产品造型作为用户感知和使用的直接对象,包含着多种影响可用性表现优劣的关键性因素,如产品形态、用户界面及交互机制等。

可用性的评价指标可分为主观维度和客观维度两大类。主观指标往往是定性的指标,是获取用户的主观体验、评价及感受的指标。Andreas Sonderegger 等<sup>[8]</sup>将用户使用产品执行特定任务的感受作为可用性评价指标,称之为感知可用性。客观的可用性指标通常测量用户的任务完成程度和任务绩效数据,如任务完成时间、出错率等<sup>[9]</sup>,通常称之为绩效可用性。文中从主观和客观两方面对产品造型设计的感知可用性和绩效可用性进行分析评价。

## 3 研究方法和过程

### 3.1 代表性样本获取

代表性样本是提取特征属性的依据。收集过程需要考虑样本的来源和数量,在选择时由专家去除造型明显相近的样本,进而得到代表性样本集:  $\{X_1, X_2, \dots, X_m, \dots, X_M\}$ 。

### 3.2 特征属性提取

特征属性用以区分不同评价等级的代表性样本,能够清晰地描述它们在可用性表现上的异同。

根据样本特征,依据形态分析提炼出产品造型设计的特征属性,并进行降维和聚类处理,得到特征属性参数集:  $\{x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(j)}, \dots, x^{(N)}\}$ 。然后针对样本的具体情况等级划分。

### 3.3 类别集合确定

类别是产品造型设计可用性评价优劣的等级,可表示为:  $\{c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_K\}$ 。具体类别的分级由效果

评价的目的来确定,通常类别越多,需要训练样本的数量越多。产品造型设计可用性评价主要从感知可用性和绩效可用性两大类展开。

(1)感知可用性指用户通过视觉、触觉及听觉等多感官综合在一起对产品造型进行认知,从而感知到的主观方面的可用性分析。通常采用语义差分法(Semantic Different Method, SD)问卷调查<sup>[10]</sup>的形式,得到各产品样本相应感性意象值,再经等距聚类获得感知可用性类别集合。

(2)绩效可用性指用户与产品实施交互时所显现出的任务完成时间、执行过程的出错次数等客观方面的可用性分析。经实际测试和聚类分析可得到绩效可用性类别集合。

### 3.4 评价模型构建

首先依据感知可用性和绩效可用性的类别集合,统计各类出现的频次,得出每个样本属于某一类别的先验概率。然后通过降维和聚类识别出每个样本的各个特征属性的取值,统计每个类别下各属性划分的频次,得到每一类别下各特征属性的条件概率。结合先验概率和条件概率,可得到样本属于某类别的后验概率,从而确定评价等级,据此建立评价模型。

其基本算法如下:

$T = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i), \dots, (x_M, y_M)\}$ , 其中,  $T$  为训练数据集;  $x_i = (x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, \dots, x_i^{(j)}, \dots, x_i^{(N)})$ ;  $x_i^{(j)}$  是第  $i$  个样本的第  $j$  个特征,  $x_i^{(j)} \in \{a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jl}, \dots, a_{js_j}\}$ ,  $a_{jl}$  是第  $j$  个特征可能取的  $l$  个值,  $j=1, 2, \dots, N, l=1, 2, \dots, S_j$ ;  $y_i \in \{c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_K\}$ ,  $c_k$  是类别集合中的第  $k$  个取值,  $k=1, 2, \dots, K$ 。

首先计算先验概率及条件概率:

$$P(Y=c_k) = \frac{\sum_{i=1}^M I(y_i=c_k) + \lambda}{M + K\lambda} \quad (1)$$

$$P(X^{(j)}=a_{jl} | Y=c_k) = \frac{\sum_{i=1}^M I(x_i^{(j)}=a_{jl}, y_i=c_k) + \lambda}{\sum_{i=1}^M I(y_i=c_k) + S_j\lambda} \quad (2)$$

式中:  $I$ ——示性函数;

$\lambda$ ——拉普拉斯平滑,若  $\lambda=0$ ,可能会出现某些特征属性划分频次为 0 的情况,将会影响后验概率的计算结果而使分类产生偏差。因此当假设样本数较大,频次为 0 时修正,而就此给每个类别带来的影响可忽略不计。

然后对于给定的实例  $x = (x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(j)}, \dots, x^{(N)})$ , 计算后验概率:

$$P(Y=c_k|X=x)=P(Y=c_k)\prod_{j=1}^N P(X^{(j)}=x^{(j)}|Y=c_k) \quad (3)$$

以此确定实例  $x$  的评价等级:

$$y=\arg \max_{c_k} P(Y=c_k)\prod_{j=1}^N P(X^{(j)}=x^{(j)}|Y=c_k) \quad (4)$$

### 3.5 验证分析

对于构建的评价模型,需要分析其性能可靠性。因此将一部分样本用来构建模型,另一部分作为测试样本,经实际测试分析,可验证所建立模型的可靠性。

## 4 实例研究

选取三键对称型汽车钥匙为对象进行产品造型设计可用性评价实例研究。

(1)获取代表性样本。经广泛收集并筛选后确定50个汽车钥匙的造型为代表性样本。

(2)提取样本的特征属性。汽车钥匙的造型设计不仅是感知与认知的最初表达,同时也是影响控制与操作的主要因素,对其外轮廓及按键特征提取如图1所示,特征属性如表1所示。

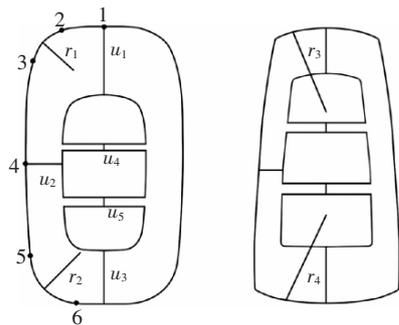


图1 汽车钥匙的关键参数

表1 汽车钥匙特征属性

序号	特征属性	序号	特征属性
1	外轮廓 1~6 个控制点坐标	7	左边距 $u_2$
2	上圆角弧 $r_1$	8	下边距 $u_3$
3	下圆角弧 $r_2$	9	上、中按键之间距离 $u_4$
4	上边弧 $r_3$	10	中、下按键之间距离 $u_5$
5	下边弧 $r_4$	11	按键顺序
6	上边距 $u_1$	12	按键颜色

将特征参数进行离散并降维,然后针对同一类型的参数进行聚类。其中对控制点1~6的坐标值先进行主成分分析,针对第1个主成分进行K-means聚类;对圆角弧( $r_1, r_2$ )、边弧( $r_3, r_4$ )、边距( $u_1, u_2, u_3$ )、按键距离( $u_4, u_5$ )分别进行K-means聚类。这样,将21维的参数降至7维的属性参数,并对特征属性进行等级划分,如表2所示。

表2 特征属性等级划分

特征属性	等级划分	特征属性	等级划分
外轮廓控制点	1,2,3	按键距离	1,2,3
圆角弧	1,2,3	按键顺序	1,2,3,4
边弧	1,2,3	按键颜色	1,2
边距	1,2,3		

(3)明确类别集合。从可用性的角度出发,通过对20位工业设计学生进行汽车钥匙造型意象调查,经聚类从初始的15个意象词汇中选出与中心点最近的4个作为感知可用性评价指标,即个性、运动、简洁和美观,如表3所示。

表3 汽车钥匙感知可用性提取

分类	分类1	分类2	分类3	分类4
意象词汇	个性	动感	简洁	精致
	新颖	流线	轻巧	美观
	前卫	活力		舒适
	时尚	运动		和谐
				协调

对感知可用性评价采用SD法进行问卷调查,经统计分析确定每个产品样本相应的意象评价价值。聚类分为5个类别,等级越高,意象越明显。

针对绩效可用性,考虑到文中实例按键数较少,故采用单任务检测范式,以任务完成时间、出错次数作为评测指标进行测试。在任务完成时间上,邀请30位开车新手或不会开车者为受试者,针对每个样本每人操作1次得到相应数据,经统计分析聚为5个类别,等级越高,所用时间越长;对出错次数,每个样本每人重复操作4次,数据同样聚为5类,等级越高,出错次数越高。

接着,构建评价模型。将收集到的50个车钥匙样本随机排序,前45个作为训练样本,用于构建评价模型,后5个作为验证样本。以美观度为例,建立车钥匙的感知可用性评价模型,通过SD问卷调查分析得到45个样本针对美观度的评判结果,如表4所示。

表4 训练样本针对美观度的效果等级

样本	等级	样本	等级	样本	等级	样本	等级
1	$c_4$	13	$c_4$	25	$c_2$	37	$c_3$
2	$c_2$	14	$c_3$	26	$c_5$	38	$c_5$
3	$c_3$	15	$c_5$	27	$c_4$	39	$c_1$
4	$c_5$	16	$c_3$	28	$c_5$	40	$c_4$
5	$c_5$	17	$c_5$	29	$c_2$	41	$c_4$
6	$c_4$	18	$c_5$	30	$c_2$	42	$c_4$
7	$c_4$	19	$c_1$	31	$c_4$	43	$c_3$
8	$c_2$	20	$c_5$	32	$c_1$	44	$c_4$
9	$c_5$	21	$c_3$	33	$c_1$	45	$c_4$
10	$c_4$	22	$c_3$	34	$c_1$		
11	$c_5$	23	$c_4$	35	$c_5$		
12	$c_1$	24	$c_4$	36	$c_3$		

由表4可知,45个训练样本对美观度  $c_1 \sim c_5$  五个

类别各自出现的频数分别为 6,5,8,14,12。应用表 2 中的 7 个特征属性及其等级划分,每个类别下各特征属性针对美观度出现的各划分频数结果如表 5 所示。

表 5 特征属性针对美观度的各划分出现频数

特征属性	等级划分	各类别下划分出现的频数				
		$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$
外轮廓控制点	1	1	2	6	4	5
	2	0	2	0	2	3
	3	5	1	2	8	4
圆角弧	1	6	4	8	14	9
	2	0	0	0	0	3
	3	0	1	0	0	0
边弧	1	0	0	0	1	0
	2	3	2	1	6	5
	3	3	3	7	7	7
边距	1	0	0	2	4	1
	2	3	4	2	4	6
	3	3	1	4	6	5
按键距离	1	5	3	2	4	4
	2	1	2	6	9	8
	3	0	0	0	1	0
按键顺序	1	2	1	3	7	7
	2	3	3	5	3	3
	3	1	1	0	1	2
	4	0	0	0	3	0
按键颜色	1	3	3	1	6	2
	2	3	2	7	8	10
	3	0	1	0	0	0

由表 5 可知,某些特征属性划分出现频次为 0,因此需先对  $\lambda$  进行修正。然后应用贝叶斯法,训练建立感知可用性中的美观度评价模型。应用相同步骤分别建立个性、运动及简洁的感知可用性评价模型和完成时间及出错次数的绩效可用性评价模型。

最后,用构建好的评价模型对 46~50 号验证样本(图 2)进行类别判定,结果如表 6 所示。



图 2 验证样本

表 6 验证分析结果

评价指标	样本 46		样本 47		样本 48		样本 49		样本 50	
	V	W	V	W	V	W	V	W	V	W
个性度	2	2	3	3	5	5	1	2	3	3
运动度	3	3	4	4	3	3	2	2	2	4
简洁度	3	3	4	4	3	3	2	2	4	2
美观度	3	3	2	2	4	5	1	1	4	4
完成时间	3	3	4	3	2	2	5	5	3	3
出错次数	2	4	4	4	3	3	4	4	5	5

注:V—实际调查和测试值;W—模型预测值。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由表 6 可知,30 个可用性评价结果中有 24 个模型预测值与实际测试值一致,准确度达到 80%,因此建立的评价模型具有一定的可靠性。

## 5 结论

文中提出一种基于朴素贝叶斯法评价产品造型设计可用性的方法。从分析提取产品造型设计特征属性入手,结合感知可用性调查结果和绩效可用性测试结果,应用朴素贝叶斯法建立了特征属性与可用性之间的关联模型,经实例验证该方法具有较好的泛化能力,能够有效应用于产品造型设计中的可用性评价。

### 参考文献

- [1] Rajkumar Roy, Michael Goatman, Kieran Khangura. User-centric design and kansei engineering[J]. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 2009, 1(3): 172-178.
- [2] Jiyoung Kwahk, Sung H Han. A methodology for evaluating the usability of audiovisual consumer electronic products[J]. Applied Ergonomics, 2002, 33(5): 419-431.
- [3] 金涛, 牛亚峰. 一种复杂产品界面可用性定量评估方法的研究与应用[J]. 计算机工程与科学, 2015, 37(4): 819-823.
- [4] 李兰春, 王双成, 杜瑞杰. 认知结构评估的动态贝叶斯网络分类器方法[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(S1): 615-619.
- [5] 李航. 统计学习方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [6] 杨鼎, 阳爱民. 一种基于情感词典和朴素贝叶斯的中文文本情感分类方法[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(10): 3737-3743.
- [7] Morten Hertzum, Torkil Clemmensen. How do usability professionals construe usability[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2012, 70(1): 26-42.
- [8] Andreas Sonderegger, Juergen Sauer. The influence of design aesthetics in usability testing: effects on user performance and perceived usability[J]. Applied Ergonomics, 2010, 41(3): 403-410.
- [9] H Rex Hartson, Terence S Andre, Robert C Williges. Criteria for evaluating usability evaluation methods[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2003, 15(1): 145-181.
- [10] 苏建宁, 王鹏, 张书涛, 等. 产品意象造型设计关键技术研究进展[J]. 机械设计, 2013, 30(1): 97-100.

作者简介 苏建宁(1974—),男,教授,博士,研究方向:工业设计、感性工学、智能设计等。E-mail: sujn@lut.cn