

基于因子聚类分析的儿童陪伴机器人用户细分

吴莹莹, 肖旺群

(安徽工业大学, 马鞍山 243032)

摘要: **目的** 为解决目前儿童陪伴机器人设计中用户市场针对性不强、用户满意度低等问题。**方法** 首先分析了儿童陪伴机器人的交互系统模型, 采用限定式 KJ 法设计了具有二十六个变量指标的儿童陪伴机器人行业用户满意度量表。其次提出在学龄儿童的用户细分中使用因子与聚类分析的复合模型方法, 具体的操作为利用因子分析的方法对高维数据变量进行降维, 根据因子分析得分及 K 均值聚类算法对数据进行分析, 以细分出四个用户市场。**结果** 根据聚类分析样本数量区分重要性, 得出了产品目标用户群之间的优先级; 根据四种用户群态度, 制定了相应的策略性建议。**结论** 提出了基于因子与聚类分析方法的用户细分方法, 将有助于明确儿童陪伴机器人的市场定位; 同时有助于改善儿童陪伴机器人用户的交互体验。

关键词: 市场细分; 因子聚类分析; 儿童陪伴机器人; 交互设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)14-0216-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.14.033

User Segmentation of Children Partner Robots Based on Factor and Clustering Analysis

WU Ying-ying, XIAO Wang-qun

(Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032, China)

ABSTRACT: The work aims to figure out the problems of weak pertinence of user market and low user satisfaction in the current design of children partner robots. Initially, the limited KJ method was employed to design a user satisfaction questionnaire in the industry of children partner robots with 26 variables by analyzing the interaction system model of children partner robots. Subsequently, the method of using the compound model of factor and clustering analysis in the user segmentation of school-age children was proposed. The specific operation was to reduce the dimension of high-dimensional data variables through factor analysis. According to factor analysis score and K-means clustering algorithm, the data were analyzed to subdivide four user markets. According to the number of cluster analysis samples, the priority among product's target user groups was distinguished. Corresponding strategic suggestions were made by referring to the attitude of 4 user groups. A user segmentation method based on factor and clustering analysis is proposed, which will be helpful to clarify the market location of children partner robots and to improve the interaction experience of users.

KEY WORDS: market segmentation; factor and clustering analysis; children partner robots; interaction design

传统产品依据人口统计学维度进行用户群的划分, 虽然能够准确获得分类数据, 但对于用户需求的考虑相对较少。为更好地根据用户需求特征获得用户划分结果, 在用户研究领域衍生出多维度用户特征研究方法^[1]。比如在心理变量方面 William 提出以生活

方式来细分用户, 代表是 Activity, Interests, Opinion (AIO) 细分和价值观念、生活方式细分。另外, 许多学者认为行为变量 (利益诉求、态度、认知偏好、使用环境等) 是构建细分市场的最佳起点, 代表是 Recency, Frequency, Monetary (RFM) 分析, 用户价

收稿日期: 2020-04-20

基金项目: 2018 年度教育部人文社会科学研究项目 (18YJCZH197)

作者简介: 吴莹莹 (1995—), 女, 江苏人, 安徽工业大学硕士生, 主攻感性设计。

通信作者: 肖旺群 (1978—), 男, 安徽人, 博士, 安徽工业大学副教授, 主要从事感性设计、产品形象系统设计方面的研究。

值矩阵分析和 Haley 提出的利益细分。所谓态度决定行为，用户态度也是用户细分最直观的重要依据。目前国内智能玩具市场同质化现象严重，导致儿童使用过程中的交互体验性较差^[2]。在此基础上，本文提出在儿童陪伴机器人的用户细分中，以用户群对产品交互功能的满意度为指标，利用因子分析^[3]与 K 均值聚类算法细分目标用户群，为定位新市场提供建议。

1 儿童陪伴机器人的交互系统模型

儿童陪伴机器人的交互系统是人机信息交流循环互动的全过程，通过这个过程最终形成了儿童的主观感受即用户体验。包括硬件、软件界面、儿童的认知心理都会直接影响到交互过程的质量。

基于人机交互框架模型和 Norman 模型建立的针对中国儿童 7~12 岁儿童与陪伴机器人之间交互方式的模型见图 1。

提取四个对交互功能有主要关系的因素，分别为“符合与实物的交互”、“符合与界面的交互”、“符合儿童特征的交互”、“符合与他人的交互”。

“符合与实物的交互”是指产品在硬件上能满足用户的信息交流需求。目前市场上的儿童陪伴机器人大部分都具有视听、早教、语音等类似功能，外观造型同质化，头部和机身为两个主要结构，见图 2，头部形状较为圆润，机身偏向梯形，整体缺少细节修饰，以黑白灰色调为主，给人一种冷漠感。为了改善实物交互的体验，要求在机器人形态设计上既要满足智能产品外观造型的亲切感，又要满足人机尺寸、安全性等隐性要素^[4]。研究主要根据工业设计的外形、颜色、材料、尺寸等要素，参照儿童产品设计的相关标准，

排除界面设计的交互内容，确定了“安全性”、“牢固耐用性”、“外观造型友好”、“尺寸符合人体工学”四个指标。

在“符合与界面的交互”中，参考“Nielsen 的 10 条准则”中对 3~12 岁的三十五名儿童界面使用过程的观察，总结出了儿童用户行为特点。首先是界面的可视性，儿童喜欢色彩丰富鲜艳的界面和与其生活有联系的图片、声音、动画多种媒体方式结合^[5]。其次是对信息的接受能力，儿童对于复杂的层级较难理解，认识文字较少，更倾向于读图，产品界面中的文字要大而清晰。儿童对广告缺乏判断能力，几乎不搜索，也极少输入文字，却喜欢探索界面^[6]。由此确立十个界面交互指标：界面连贯一致性、界面形象化、内容拓展性、信息与真实生活相符、多通道反馈、减少操作出错率、限制无关信息、控制权及自主权、简易操作性、减少架构层级。

除了需要考虑满足儿童产品硬件及界面设计原则之外，还需要了解儿童自身特点，即“符合儿童自身的交互”。7~12 岁的学龄儿童属于皮亚杰提出的“运算阶段”，其具体特征见表 1。儿童开始逻辑思维，通过游戏和课堂来学习^[7]，社会交流能力有所增强，开始展开对语言的读写，对自己的能力有一定认识，并能接受一定程度的自我约束。由此提取故事场景学习、分阶段分级别教学、儿童能动性、语言交互性、游戏学习性、性别差异性、素质培养、个性化定制服务、奖励与鼓励性九个指标。

针对本课题儿童用户的特殊性，“符合与他人的交互”主要指在使用过程中与家长、同伴和软件中虚拟主人公的社会性交互。这一重要因素能帮助儿童陪伴机器人在产品开发时更加重视儿童与其他人的交流，有利于儿童个性和情感的发展。因此家长陪伴、家长监督、社会性联系、同伴交流、虚拟主人公作为

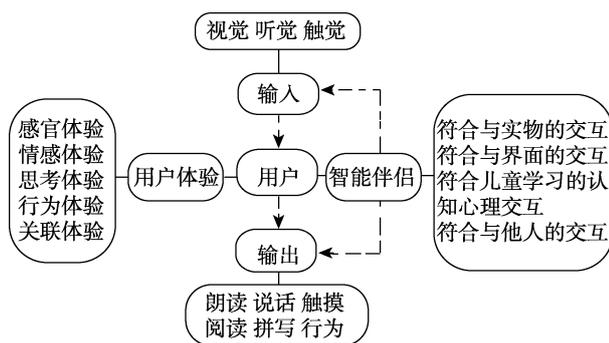


图 1 儿童与智能陪伴机之间交互方式的模型
Fig.1 The model diagram of interaction between children and intelligent partners



图 2 小白、小忆、小 8、360 儿童陪伴机器人对比
Fig.2 The comparison of children partner robots Xiao Bai, Xiao Yi, Xiao 8 and 360

表 1 7~12 岁的儿童特征与表现
Tab.1 Characteristics and performance of children aged 7-12 years old

特征	表现
生理特点	身体肌肉成型，运动技能持续提高
认知特点	能够主动且恰当地使用逻辑运算解决问题，能考虑多种观点；记忆编码、存储和提取的能力提高，控制策略有所发展
心理特点	从社会角度比较评估自己的能力、行为和观点，接受社会约定的价值观；发展出自尊，强调社会尊重；存在性别隔离，回避异性
语言特点	语言的应用能力提高，开始察言观色、适应场合与习俗；元语言意识提高；可以进行适当的读写练习
行为特点	把和自己相似的、分享玩具、一起玩游戏的人当成朋友，在小学阶段长期系统地学习，有集体意识，增加了同伴交流的活动

五个社会性指标被提取。

基于儿童陪伴机的用户交互体验满意度,从以上四个因素总结出二十八个交互系统功能指标,见表2。

2 基于因子与聚类分析的用户细分方法

因子分析是一种通过降维简化变量结构的多元统计方法。一般模型是:设某一总体标准化的观测向量为 $X=(X_1, X_2, \dots, X_p)'$, 测评变量用几个较少的公共因子表示, 即 $X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + \varepsilon_i$ 。

X_i 是原始变量 ($i=1, 2, \dots, P$), F_j 是公共因子 ($j=1, 2, \dots, m$), a_{ij} 是因子载荷, 第 i 个变量 X_i 与第 j 个公共因子 F_j 之间的相关系数, 即因子载荷。 ε_i 是与 X_i 对应的特殊因子。因子分析模型用矩阵表示: $X=AF+E$, 其中 $F=(F_1, F_2, \dots, F_m)'$ 是 p 个观测指标的公共因子, 且 $m \leq p$; A 为因子载荷矩阵。设公共因子为 F_1, F_2, \dots, F_m , 则在 F_1, F_2, \dots, F_m 上载荷较大的变量各自聚为一类。开始的 p 个变量由 m 个公共因子取代, 变量的结构得到降维。继而计算出各样本在各因子上的取值, 得到了一组原处理样本, 变量为各个公共因子的新数据, 变量取值为因子得分。公共因子反映了样本的性质, 这样利用因子得分对样本进行聚类, 可以得出若干细分市场。

3 儿童智能陪伴机器人的用户分群

3.1 基于用户满意度的限定式 KJ 实验

该阶段以便利抽样方式邀请二十四组亲子参与实验, 儿童年龄平均分布 7~12 岁, 学历小学在读, 使用儿童智能陪伴机一年以上, 选出六个年级每个年级各四组, 其中男童由父、母亲陪伴各一组, 女童同样由父、母亲陪伴各一组。为减轻后期实验中被试的负担, 采取小组讨论法, 对二十八个有功能描述文字短语的 7×10 cm 卡片进行编号, 分别编为 1~28 号, 制作实验样本。实验人员采取限定式 KJ 法向被试确认功能总系统是“产品交互功能系统”。第一步请被试对二十八个功能卡片依据亲和度进行分组, 对每组重新命名, 每一组卡片数量可以不等, 同组内容重合的卡片要求合并, 二十四组被试同时进行, 时间为 15 min。合并后得到六个子系统, 分别是“产品硬件性能”、“儿童感知特点”、“界面自身信息设置”、“界面互动与操作”、“其他利益相关者”、“其他”, 作为二阶用户功能需求。第二步要求被试将各组之间内容重合或亲和度较高的短语进行进一步合并, 确认各组包含的功能短语, 时间为 15 min。最后得出二十六个产品交互功能指标的层级, 见表 3。

表 2 28 个交互系统功能指标

Tab.2 28 function indicators of the interaction system

符合与实物的交互	符合与界面的交互	符合儿童特征的交互	符合与他人交互
1 安全性	5 界面连贯一致性	15 故事场景学习	24 家长陪伴
2 牢固耐用性	6 界面形象化	16 分阶段分级别教学	25 家长监督
3 外观造型友好	7 内容拓展性	17 儿童能动性	26 社会性联系
4 尺寸符合人体工学	8 信息与真实生活相符	18 语言交互性	27 同伴交流
	9 多通道反馈	19 游戏学习性	28 虚拟主人公
	10 减少操作出错率	20 性别差异性	
	11 限制无关信息	21 素质培养	
	12 控制权及自主权	22 个性化定制服务	
	13 简易操作性	23 奖励与鼓励性	
	14 减少架构层级		

表 3 儿童智能陪伴机交互功能指标层级表

Tab.3 The interaction function index hierarchy of children partner robots

产品硬件性能	儿童感知特点	界面自身信息设置	界面互动与操作	其他利益相关者	其它
1 使用安全性	3 外观造型友好	5 界面信息连贯一致性	10 减少操作出错率	20 素质培养	25 同伴交流
2 材料牢固耐用性	4 尺寸符合人体工学	6 界面形象化	11 限制无关信息	22 奖励与鼓励	26 虚拟主人公
	15 分阶段分级别教学	7 内容拓展性	12 控制权及自主权	23 家长陪伴监督	
	16 儿童能动性	8 信息与真实生活相符	13 简易操作性	24 社会性联系	
	18 游戏学习性	9 多通道反馈信息	17 语言交互性		
	19 性别差异性	14 故事场景学习			
	21 个性化定制服务				

针对二十六项短语功能指标制成 5 点 Likert 量表问卷, 1~5 点依次代表“完全不能体现交互功能”、“比较不能体现交互功能”、“一般”、“比较能体现交互功能”和“非常能体现交互功能”。请被试对二十六项短语的相关度进行评价, 将问卷数据输入 SPSS22.0 中进行频次统计, 取“3”为临界点, 将“1”和“2”的频次累加, “4”和“5”的频次累加, 最后的统计即对“不能体现交互功能”、“一般”、“能体现交互功能”的选择频次统计。对结果进行非参数拟合度检验见表 4, 二十六条短语在 3 点频次统计上没有显著性偏差, 即 $P \geq 0.05$, 拟合度较高, 说明指标对交互功能系统具有描述的相关性, 可作为大批量问卷指标。

3.2 实验数据分析

针对二十六个功能指标, 依据用户对于产品拥有某项交互功能的态度进行探究, 将满意度等级划分为: “十分满意、满意、难说、不满意、十分不满意”, 分别表示五种态度层级。2018 年 5 月, 研究以江苏

省无锡市雪浪中心小学的学生及家长作为测评对象, 投放预测问卷共八十份, 回收七十一份有效问卷。在问卷信度分析中, 由于 α 系数值 (Cronbach's alpha) 最低要求应 ≥ 0.8 , 而实际 α 系数值为 0.91, 说明问卷可信。使用 Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) 检验选取的指标数据是否适合进行因子分析, 根据学者 Kaiser 给出的 KMO 标准^[8]: 若 $0.7 < KMO < 0.8$ 则为一般适合; $0.6 < KMO < 0.7$ 为不太适合, 通过统计分析问卷数据发现 $KMO=0.816$, 满足进行因子分析的要求, 说明问卷具有可行性。正式问卷共投放二百四十份, 回收有效问卷二百二十二份, $KMO=0.896$, α 值为 0.91。研究采用主成分法, 以特征值大于 0.59 的标准, 利用 SPSS 软件从原始数组中共提取十四个因子, 得到因子碎石图见图 3。

从图 3 可见第十四个因子之后曲线普遍较低, 说明提取十四个因子比较合适, 以特征值由高到低排列的旋转后的因子负荷分析见表 5, 解释总方差为 81.568%。

通过应用十四个公因子作为变量对样本进行 K 均值聚类算法, 样本被聚为四类, 结果见表 6。尽量避免样本单一成群的分群状况, 设以 K 平均数集群, 设定分群数量为 4, 计算出每个样本至该集群中心 (平均数) 的距离, 将样本分派到距离最近的集群, 得到原有集群和新集群的中心^[9]。

观察各因子相对每个聚类中心的最高特征值, 最终确定四个代表性用户聚类群见表 7。

3.3 结果

根据聚类分析的结果, 可将聚成的四类看成四个用户细分市场, 按照样本数量来区分重要性, 产品目标用户群之间的优先级排列如下: 第四类 > 第二类 > 第一类 > 第三类。第四类细分用户, 样本数量占比最多, 对亲和因子、监督因子与角色因子评价都都很高, 代表家长作为监护人的态度, 可见多数家庭对于儿童陪伴机器人的角色亲和度较为关注。第二类用户说明家庭教育已开始关注同伴交流和对儿童的性别意识

表 4 功能短语频次非参数拟合度检验结果

Tab.4 The test results of nonparametric fitting degree for frequency of functional phrases

问卷功能短语	不能	一般	能	渐近显著性 (P 值)
1 使用安全性	0	0	24	0.564
2 材料牢固耐用性	2	1	21	1
3 外观造型友好	10	3	10	0.564
4 尺寸符合人体工学	7	4	12	1
5 界面信息连贯一致性	8	2	14	1
6 界面形象化	7	7	10	0.564
7 内容拓展性	12	3	7	1
8 信息与真实生活相符	6	5	13	1
9 多通道反馈信息	8	6	9	1
10 减少操作出错率	1	0	23	1
11 限制无关信息	4	3	16	1
12 控制权及自主权	1	3	20	1
13 简易操作性	2	1	20	1
14 故事场景学习	16	3	4	1
15 分阶段, 分级别教学	16	3	4	1
16 儿童能动性	16	3	4	1
17 语言交互性	8	4	12	1
18 游戏学习性	14	3	7	1
19 性别差异性	17	4	2	1
20 素质培养	9	6	9	0.564
21 个性化定制服务	7	4	12	1
22 奖励与鼓励	14	1	9	1
23 家长陪伴监督	18	2	3	1
24 社会性联系	12	4	7	1
25 同伴交流	12	8	4	1
26 虚拟主人公	18	3	2	1

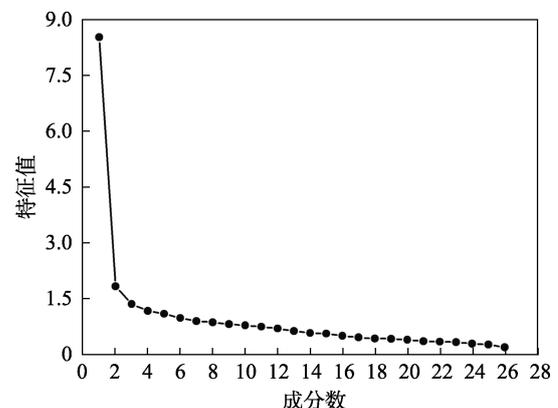


图 3 因子碎石图
Fig.3 The stone map

表5 旋转后的因子负荷表
Tab.5 The table of factor load after rotation

因子	因子包含的变量	旋转后因子载荷	特征值	累积方差贡献率/%
因子 1: 认知因子	15 分阶段、分级别教学	0.792	8.525	32.789
	7 内容拓展性	0.709		
	17 语言交互性	0.556		
	13 简易操作性	0.709		
因子 2: 亲和因子	9 多通道反馈信息	0.678	1.844	39.880
	3 外观造型友好	0.527		
	11 限制无关信息	0.466		
因子 3: 信息因子	5 界面信息连贯一致	0.828	1.374	45.167
	8 信息与真实生活相符	0.668		
因子 4: 硬件因子	2 材料牢固耐用性	0.762	1.186	49.730
	4 尺寸符合人体工学	0.713		
因子 5: 操控因子	12 控制权及自主权	0.803	1.111	54.002
	10 减少操作出错率	0.575		
	1 使用安全性	0.439		
因子 6: 情境因子	14 故事场景学习	0.809	0.999	57.842
	16 儿童能动性	0.620		
因子 7: 个性因子	6 界面形象化	0.670	0.917	61.371
	21 个性化定制服务	0.597		
因子 8: 方法因子	22 奖励与鼓励	0.789	0.883	64.769
	18 游戏学习性	0.450		
因子 9: 同伴因子	25 同伴交流	0.761	0.836	67.985
因子 10: 角色因子	26 虚拟主人公交流	0.917	0.801	71.067
因子 11: 社会因子	24 社会性联系	0.823	0.766	74.012
因子 12: 性别因子	19 性别差异性	0.913	0.719	76.778
因子 13: 素质因子	20 素质培养	0.846	0.650	79.277
因子 14: 监督因子	23 家长陪伴监督	0.947	0.596	81.568

表6 最终聚类中心
Tab.6 The final clustering centers

因子	聚类中心 1	特征	聚类中心 2	特征	聚类中心 3	特征	聚类中心 4	特征
认知因子	0.135	高	-0.018	低	-0.092	低	-0.029	低
亲和因子	0.032	低	-0.270	低	-0.910	低	0.534	高
信息因子	-0.186	低	0.020	低	-0.110	低	0.141	高
硬件因子	0.416	高	0.213	低	-1.048	低	0.057	低
操控因子	-0.723	低	0.217	低	-0.259	低	0.390	高
情境因子	0.119	低	0.574	高	-0.354	低	-0.291	低
个性因子	-0.630	低	0.401	高	0.013	低	0.105	低
方法因子	0.405	高	-0.306	低	-0.370	低	0.115	低
同伴因子	-0.727	低	0.615	高	-0.461	低	0.221	低
角色因子	-0.240	低	-0.630	低	0.361	低	0.395	高
社会因子	-0.152	低	-0.110	低	0.037	低	0.144	高
性别因子	-0.386	低	0.409	高	0.358	低	-0.187	低
素质因子	-0.254	低	-0.154	低	0.560	高	0.014	低
监督因子	-0.191	低	-0.531	低	0.046	低	0.434	高

表 7 各聚类的案例个数
Tab.7 The number of cases in each clustering

类别	有效	缺失	聚类 1	聚类 2	聚类 3	聚类 4
案例个数	222	0	49	54	35	84

的培养, 儿童陪伴机器人的性别差异化设计尚有较大改进空间, 情境因子和个性因子评价比较高, 代表这部分用户对个性化订制服务的需求较大。第一类用户对硬件性能与交互学习的方法尤为关注。第三类用户表现为对素质因子有极高共识, 样本占比最少, 可以通过更新扩展教育平台来提高服务质量, 提升产品在消费者心中的形象。

4 结语

研究基于二十六项交互功能满意度指标设计了儿童陪伴机器人用户态度量表, 利用因子聚类分析方法对高维数据变量降维聚类, 实现了对四个用户市场的细分, 进一步优化了用户体验。研究提出了基于因子聚类分析的儿童陪伴机器人用户细分方法, 对于庞大的用户市场信息进行整合重构, 有助于提高设计师与管理层的决策效率。在实际设计过程中, 用户细分是多维度的综合评估, 设计的可行性、生产成本; 用户基数的年龄、地域分布等其它限制因素对儿童陪伴机器人交互功能的影响仍需详细评估。

参考文献:

- [1] 李洪海, 刘新. 基于用户自我表达的族群细分研究[J]. 包装工程, 2017, 38(10): 136-139.
LI Hong-hai, LIU Xin. User Tribe Classification Method Based on User Self-Expression[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(10): 136-139.
- [2] 张澜, 孙芳, 王丹力, 等. 面向儿童的实物交互工具及其在讲故事中的应用[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2017, 29(3): 557-564.
ZHANG Lan, SUN Fang, WANG Dan-li, et al. A Tangi-

ble Interaction Tool for Children and its Application in Storytelling[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2017, 29(3): 557-564.

- [3] TANG X, DAI Y, SUN P, et al. Interaction-Based Feature Selection Using Factorial Design[J]. Neurocomputing, 2018, 281(15): 47-54.
- [4] HENKEMANS O A B, BIERMAN B P B, JANSSEN J, et al. Design and Evaluation of a Personal Robot Playing a Self-management Education Game with Children with Diabetes Type 1[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2017(106): 63-76.
- [5] CANO S, ALGHAZZAWI D M, ARTEAGA J M, et al. Applying the Information Search Process Model to Analyze Aspects in the Design of Serious Games for Children with Hearing Impairment[J]. Universal Access in the Information Society, 2017(10): 1-13.
- [6] 王馨, 王峰. 反思层面的儿童教育类 APP 情感化设计研究[J]. 装饰, 2018(7): 95-97.
WANG Xin, WANG Feng. Research on the Emotional Design of APP for Children's Education Based on the Reflection Level[J]. Zhuangshi, 2018(7): 95-97.
- [7] GENNARI R, MELONIO A, RACCANELLO D, et al. Children's Emotions and Quality of Products in Participatory Game Design[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2017(101): 45-61.
- [8] 单军军, 马丽莎, 吕健, 等. 基于多维可拓感性工学的木制民居创新设计[J]. 包装工程, 2018, 39(10): 263-269.
SHAN Jun-jun, MA Li-sha, LYU Jian, et al. Innovative Design of Wooden Residence Based on Multidimensional Extension Kansei Engineering[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(10): 263-269.
- [9] 周志光, 汤成, 刘玉华, 等. 降维空间视觉认知增强的多维时变数据可视分析方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018, 30(7): 1194-1204.
ZHOU Zhi-guang, TANG Cheng, LIU Yu-hua, et al. Visual Analytics for Multidimensional Time-Varying Data via Dimension Reduced Visual Perception[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2018, 30(7): 1194-1204.