

基于眼动实验的学龄前儿童机器人设计

刘春丽¹, 王爱红²

(1. 潍坊学院, 潍坊 261061; 2. 景德镇陶瓷大学, 景德镇 333403)

摘要: **目的** 探索学龄前儿童对产品的感性需求, 帮助设计师准确了解用户隐性意图, 提高产品与用户的情感匹配度。**方法** 首先, 运用眼动实验获取目标用户观看样本时的眼动数据, 用 BeGaze3.6 软件对数据进行客观分析, 将目标用户感性需求可视化, 确定符合被试者意象认知的样本; 其次, 以认知心理学和仿生学为基础提取样本的感性意象特征和造型关键要素, 构建意象认知样本与设计要素之间的映射模型, 将结果运用于学龄前儿童机器人的设计实践; 最后, 以该实验方案及其他同类产品为样本, 采集被试者观察样本时的眼动数据作为感性评价指标。**结论** 学龄前儿童对外形可爱、具有普遍印象的动物形象认知度最高, 感性评价实验数据也显示基于该实验样本的设计方案与被试者的情感匹配度最高, 为设计师从事学龄前儿童产品设计提供参考。

关键词: 产品设计; 眼动实验; 仿生; 学龄前儿童; 智能机器人

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)24-0210-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.24.034

Design of Preschooler Robot based on Eye Movement Test

LIU Chun-li¹, WANG Ai-hong²

(1. Weifang University, Weifang 261061, China; 2. Jingdezhen Ceramic Institute, Jingdezhen 333403, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the perceptual needs of preschoolers for products, helping designers to accurately understand the hidden intentions of users and improve the emotional matching between products and users. Firstly, the eye movement test was conducted to obtain the eye movement data of target users when they looked at the samples. BeGaze3.6 software was used to objectively analyze the data, visualize the perceptual needs of target users and determine the image cognition samples of the subjects. Then, based on cognitive psychology and bionics, the perceptual image features and key elements of the model were extracted, and the mapping model between image cognition samples and design elements was constructed. The results were applied to the design practice of preschoolers' robots. Finally, with the proposed test scheme and other similar products as samples, the eye movement data when the subjects observed the samples were collected as the perceptual evaluation index. The results show that, the preschoolers has the highest recognition of the animal image with cute appearance and universal impression, and the experimental data of perceptual evaluation also show that, the design scheme based on the experimental sample has the highest emotional matching with the subjects, which provides a reference for designers to design products for preschoolers.

KEY WORDS: product design; eye movement test; bionic; preschooler; intelligent robot

根据我国人口年龄划分, 1~3 岁为幼儿期, 4~6 岁为学龄前。儿童在幼儿阶段不具备独立消费能力, 其消费需求一般由监护人满足; 学龄前儿童发展的特点是生理发育快于心理和智力发育, 虽然尚未具备独

立购物的能力, 但是独立购买意识开始萌芽^[1-3]。因此, 针对学龄前儿童产品的设计既要关注消费者的需求, 同时也要深入分析儿童的心理、生理以及视知觉特征等。

收稿日期: 2019-10-10

基金项目: 潍坊市科学技术发展计划项目 (2019GX004); 潍坊学院 2018 年优青计划

作者简介: 刘春丽 (1985—), 女, 山东人, 潍坊学院讲师, 主要研究方向为新产品开发。

1 构建儿童产品研发设计流程

目前,产品设计研究通常采用量化主观评价等质化方法^[4]构建产品创新理论模型。陈满儒等^[5]运用感性工学获取消费者的情感诉求推演智能手表造型设计,田正清等^[6]结合 Kano 模型与感性工学探讨了自行车造型的感性需求。这些方法受个体因素影响较高,尤其是对于学龄前儿童来说很难保证结果的客观性。

随着认知科学的发展,眼动追踪技术有效解决了传统研究方式的弊端。研究表明,至少有 80% 的外界信息经视觉进入人的中枢神经系统,眼球的运动正是大脑处理信息过程的外在表现。眼动追踪技术利用眼动仪追踪被试者的眼球运动情况,挖掘用户在观察实验样本时的生理情感,并将其外显化,通过对数据的定量分析,洞察被试者的潜在认知过程,增强了研究的生态学效度^[7-8]。在产品设计领域,欧细凡等^[9]用上海市市花白玉兰为形态仿生对象,运用眼动追踪技术得出眼动生理数据,进行了小型道路清扫车的造型设计。史庆春等^[10]对抛光机各特征要素的意象尺度进行了眼动实验测试,为大型机械产品造型优化提供参考;王震亚等^[11]以眼动追踪技术为基础建立了汽车造型特征提取模型,帮助设计师理解用户认知;吴辛迪等^[12]以眼动技术为手段提取了侗族鼓楼的文化 DAN 并运用在了首饰的设计中。基于眼动实验探索学龄前儿童的感性需求,开展儿童产品设计的研究目前较少。为了了解学龄前儿童的认知特性,提高产品与用户的情感匹配度,本文提出基于眼动技术的产品研发设计流程,见图 1。运用眼动仪测量儿童观察不同实验样本时的眼动数据,发现儿童视觉认知规律,运用

仿生学原理分析样本与产品之间的内在关联,将结果用于学龄前儿童智能机器人的外观设计实践中,在一定程度上可以提高学龄前儿童产品的成功率。

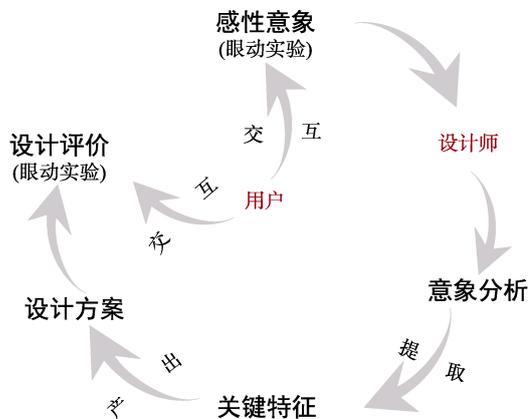


图 1 基于眼动技术的产品设计流程
Fig.1 Product design process based on eye movement technology

2 眼动追踪实验过程

2.1 实验设计

采用 KJ 研究法,结合儿童机器人的功能需求,选取被试者可以根据以往经验进行联想,引起情感共鸣的生物原形,如熊猫、大象、企鹅等儿童在动物园、书本或者动画片中常见的动物作为样本,形成初步样本库,见图 2;以形态分析法为依据,采用小组讨论法,以设计师为主体进行小组讨论,确定选择不同年龄、不同品种的企鹅为变量制作任务性实验样本,以 A—J 编号,见图 3。

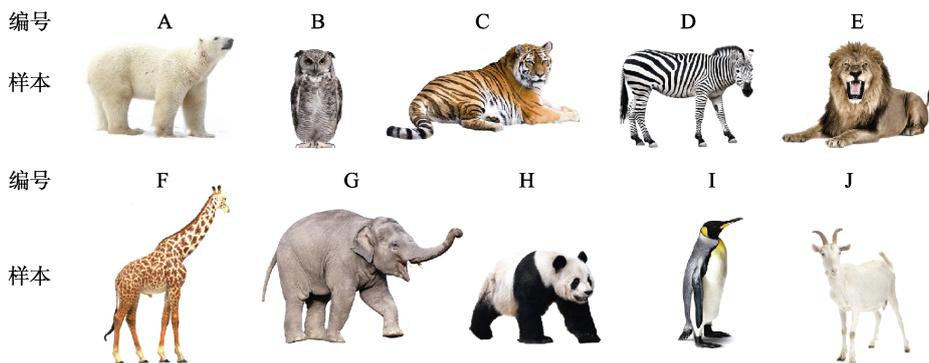


图 2 初步样本库
Fig.2 Preliminary sample library

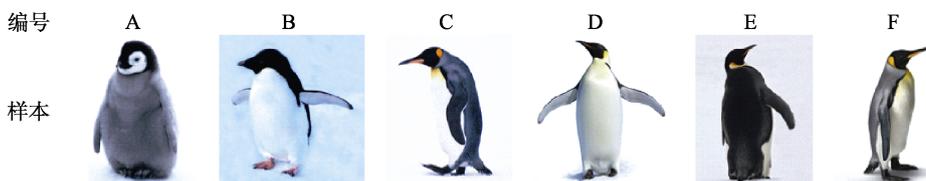


图 3 任务性实验样本
Fig.3 Task-based experiment samples

为保证实验结果的准确性,将实验样本以拉丁方设计形式排列,并且画出 AOI, AOI 编号与样本编号一致,即 A1, A2, B1, B2 等,见图 4。要求被试者选出最适合作为智能机器人外形的企鹅形象。

实验采用 SMI REDn Scientific 遥测眼动追踪系统(采样率为 30 Hz)。选取潍坊某机关幼儿园 20 名

学龄前儿童为被试者,其中男女各 10 人,所有被试者裸眼视力均在 1.0 及以上,无色弱、色盲等症状。并且根据“意象——曾经感知过的客观事物在脑海中的印象”^[13]这一概念,所选被试者均曾经拥有过智能机器人类别的产品,对机器人功能有一定认知及知识储备,以提高实验的可靠性。



图 4 样本拉丁方设计排列
Fig.4 Sample Latin square design arrangement

2.2 实验过程

实验前向被试者说明实验要求,明确实验任务。被试者依次进入实验室,以保证每一位被试者都是首次见到实验样本,提高实验准确率。实验步骤见图 5。

2.3 实验结果分析

1) 实验由 BeGaze3.6 软件同步记录并分析实验数据。为了更明确说明实验数据,将实验指标含义进行了解释,见表 1。

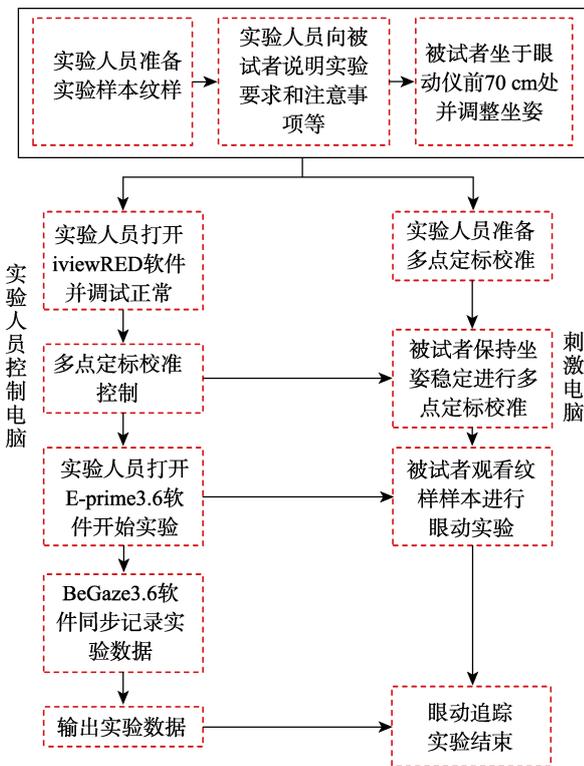


图 5 眼动实验流程图
Fig.5 Flow chart of eye movement test

表 1 眼动追踪实验指标

Tab.1 Experimental indexes of eye movement tracking	
指标	含义
首次注视时间	视线落在 AOI 区域第一个注视点的时间。
注视时长	视线落在 AOI 区域内所有注视时间的总和。
注视点个数	视线落在 AOI 区域的注视点数量。
平均注视时间	视线停留在 AOI 区域的注视时长除以注视点个数。

2) 注视点移动轨迹

注视点移动轨迹是指被试在实验过程中观看实验样本的眼球运动顺序。图 6 为一位被试者的眼动轨迹图,样本上的红色圆圈越大代表被试者的注视时间越长,圆圈的数量代表注视点的个数。移动轨迹图虽然能展示注视点的大概趋势,但难以做出具体判断,因此要导出 AOI 区域具体实验数据。表 2 所示为 20 位被试者在观看所有样本时的平均实验数据。

综合数据显示,样本 B 的首次注视时间最短、注视时长最长、注视点个数最多。为了更清晰地分析实验结果,用雷达图展示实验数据(由于平均注视时间与注视点个数成反比,注视点个数越多,平均注视时间越短,故在雷达图中不再分析平均注视时间),见图 7。

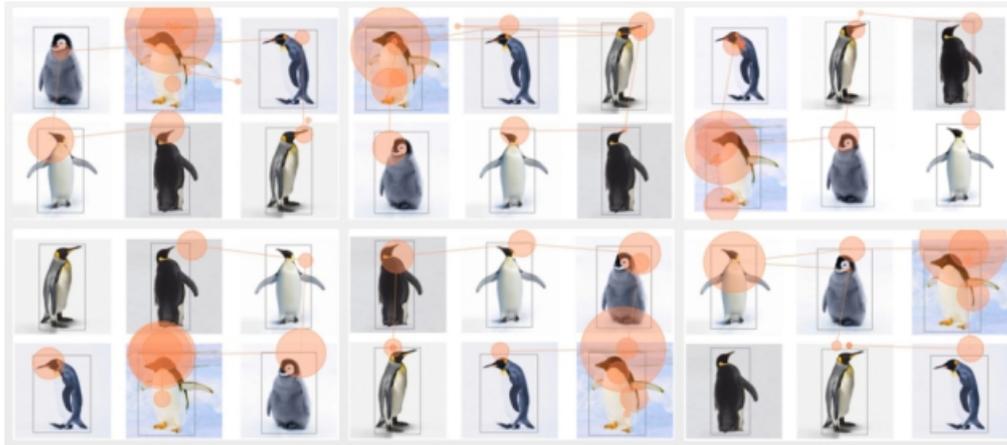


图 6 注视点移动轨迹
Fig.6 Fixation point movement track

表 2 AOI 区域眼动追踪数据
Tab.2 AOI regional eye tracking data

样本编号	首次注视时间/ms	注视时长/ms	注视点个数	平均注视时间/ms	注视时间占比/%	样本编号	首次注视时间/ms	注视时长/ms	注视点个数	平均注视时间/ms	注视时间占比
A1	6 685.2	499.9	1	499.9	5.0	A4	4 874.7	1 499.8	1	1 499.8	15.1
B1	219.2	3 799.6	4	933.3	38	B4	2 374.8	4 499.8	3	1 488.9	45.5
C1	7 251.8	433.3	1	433.3	4.3	C4	8.4	966.6	1	966.6	9.8
D1	5 285.2	1 366.5	1	808.5	13.7	D4	6 407.8	433.4	1	6 407.8	4.4
E1	4 252	999.8	1	999.8	10	E4	1 141.7	2 099.8	2	1 049.9	21.2
F1	7 751.6	533.4	1	533.4	5.3	F4	7 647.8	633.3	1	633.3	6.5
A2	5 658.5	1 033	1	1 033	10.80	A5	5 662.5	1 866.3	2	916.4	18.9
B2	658.8	5 066	6	822.1	52.8	B5	29.6	3 766.4	3	1 244.4	38
C2	25.4	766.9	2	383.5	8	C5	3 196	1 799.8	3	566.6	18.2
D2	6 891.9	866.3	1	866.3	9	D5	7 562.1	800.2	1	800.2	8.1
E2	7 791.6	166.6	1	166.6	1.7	E5	8 395.4	1 000	1	1 000	10.2
F2	8 024.7	1 167	2	583.5	12.2	F5	9 461.9	600	1	600	6.1
A3	5 848	933.2	1	933.2	9.6	A6	442.7	933.1	2	466.6	9.7
B3	748.4	5 066.2	4	1 241.6	52.2	B6	109.5	5 199.4	4	1 026.6	54.2
C3	15	1 500.8	2	750.4	15.50	C6	4 708.9	1 266.8	2	600	13.2
D3	7 447.8	766.4	2	366.6	7.9	D6	642.7	1 866.5	1	1 866.5	19.4
E3	7 647.8	633.3	1	633.3	6.5	E6	7 688.6	188	1	188	1.7
F3	6 847.9	566.5	1	566.5	5.8	F6	8 199.7	1 167	2	583.5	12.2

雷达图中黄色折线代表首次注视时间，距离中心点越近，说明首次注视时间越短，首次注视时间最短的是样本 B；红色折线代表注视时长，距离中心点越远说明注视时长越长，注视时长最长的是样本 B；蓝色折线代表注视点个数，距离中心点越远说明注视点个数越多，注视点个数最多的是样本 B，其结果与表 2 一致，验证了数据的准确性。

综合 Godijn 等^[14]的研究，本文提出“竞争—整合”模型，见图 8，人的眼球运动包括刺激材料决定的信息选择和个体期望控制的信息选择两个部分，是“注

意—期待”的“竞争—整合”关系，被试者的眼动与注意和认知过程有着必然的联系，即被试者眼睛所察觉的信息正是被试者认知过程中“想看到”什么或者“看到了”什么^[15]。眼动数据显示样本 B 注视点最多，注视时间最长——高频注视有助于对信息进行深加工，刺激大脑做出决策，说明样本 B 符合被试者的意象认知，即样本 B 是被试者“想看到”的信息^[16-17]，与被试者的情感匹配度最高。

基于以上实验结果，选择样本 B 的企鹅为原形和意象认知对象，进行学龄前儿童智能机器人的设计实践。

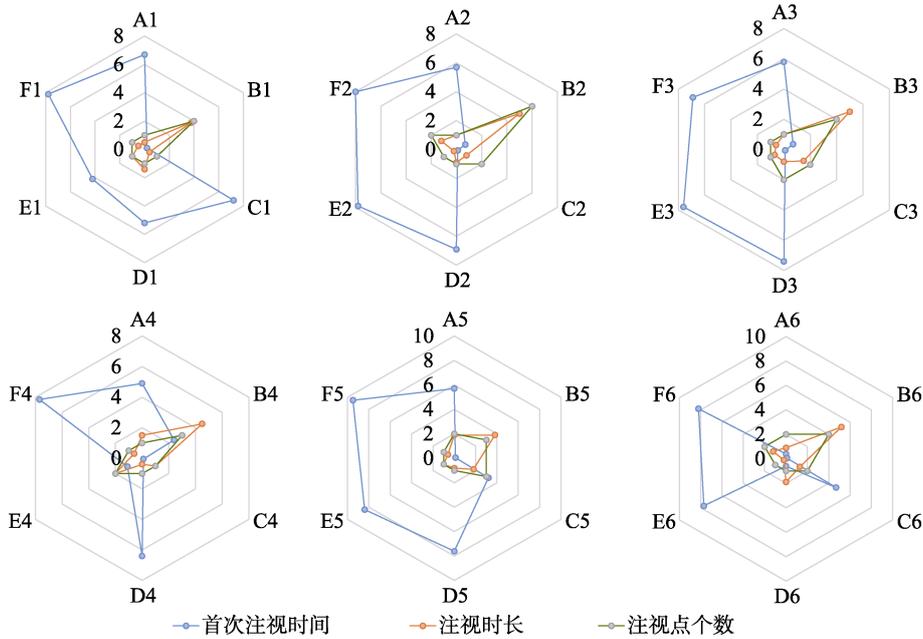


图7 AOI区域实验数据雷达图
Fig.7 AOI regional test data radar chart

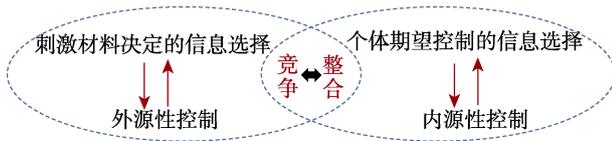


图8 “竞争—整合”模型
Fig.8 "Competition-Integration" model

3 设计实例

3.1 意象认知分析

基于意象认知样本进行的设计实践,实际上就是基于意象认知样本的产品仿生设计,因而仿生产品的意象同时包括产品本身的功能意象以及仿生对象的外形意象^[18]。为避免用户认知混乱,在设计中应保持这两个意象基本一致。企鹅身形圆润、可爱,头部与身体颜色区别明显,较为突出的形态特征是长长的嘴巴、舞动的翅膀和比较短而且平脚掌。其身形特征、意象表达以及可用于机器人设计部位的认知模型见表3。

表3 企鹅—机器人意象认知模型
Tab.3 Penguin-robot image cognitive model

外形特征	意象表达	应用部位
嘴巴	开合	电源开关
眼睛	心灵窗户、传达情绪	模式切换
身体	胸腔、共鸣腔	音箱、电子元件等
翅膀	高低、舞动	音量、音乐切换等
脚掌	稳固、坚实	支撑结构

3.2 关键特征提取

产品仿生并非是对仿生对象的单纯模仿,而是在把握仿生对象“神态”的前提下,通过简化和抽象提炼其本质特征。根据儿童机器人基本特征、功能需求及目标用户心理需求等,将企鹅样本进行矢量化处理,使其造型特征更加明确,图9为样本B的原形图与处理后的矢量图。

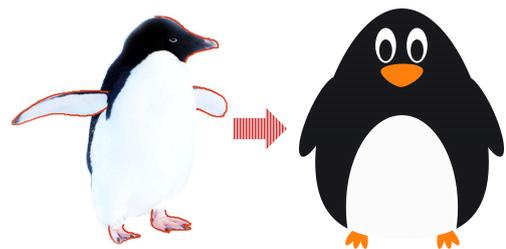


图9 企鹅原形与矢量图
Fig.9 Prototype penguin and vector diagram

3.3 仿生对象特征在加湿器设计中的应用

意象仿生是在满足目标用户感性需求的基础上,权衡产品设计中功能与形式关系的一种设计方法,因而仿生设计可以用情感化设计的3个层次模型——本能层次、行为层次、反思层次进行表达^[19](图10)。

本能层次的设计关注产品的外形、色彩、材质等感官层面,是消费者面对产品的第一印象,在这个层面上,企鹅形象憨态可掬,采用ABS塑料作为外壳,安全环保;行为层次的设计关注产品功能、可用性



图 10 仿生设计情感化层次模型

Fig.10 Bionic design emotional hierarchy model

易用性等，内置童话故事、启蒙英语、国学经典等海量知识满足儿童对智能机器人功能的基本需求；反思层次的设计关注产品对于消费者的情感需求，由于仿生对象自身的自然属性，使仿生设计也或多或少的映射自然，使产品形态更具亲和力，满足儿童更高层次上的心理需求。

3.4 设计方案

设计实例见图 11，机器人整体形态为圆润的流线造型，无明显棱角，符合儿童产品安全第一的设计原则；电源开关为倒角三角形，对整体的圆润形态起到中和的作用，让产品造型更加丰富和谐；身体作为音箱，体现“胸腔—共鸣”的感性意象；音量键与曲目选择键进行了功能整合，设置在企鹅左右翅膀上，增强使用的合理性。



图 11 企鹅意象的儿童机器人设计方案

Fig.11 Children's robot design scheme of penguin imagery

另外，根据研究表明年龄越小对色谱上接近红色一段的色彩越喜欢^[20]，而且学龄前儿童对色彩的认知依然建立在对具体事物的认识上—如红色的太阳、绿色的草地等。因而该产品在色彩上选用代表欢乐、信任、活力的纯色—橙色，既符合儿童对色彩的心理认知，又能使其在众多黑白色同类产品中脱颖而出。

3.5 设计方案感性评价

感性评价要根据评价目的选择评价人员^[21]，评价人员选择模型见图 12。根据模型选择设计师和目标用户各 10 名作为被试者进行眼动实验感性评价。在“淘宝网”输入“儿童智能机器人”，将搜索到的产品以销量排序，选取前 5 位与本实验所设计产品作为实验样本，见图 13。

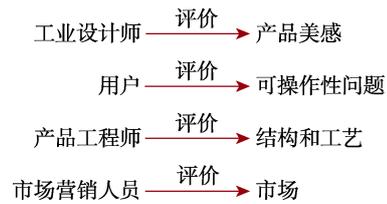


图 12 产品评价人员选择模型

Fig.12 Product evaluator selection model



图 13 感性评价样本

Fig.13 Perceptual evaluation sample

感性评价实验眼动轨迹见图 14，显示样本 A1 即本实验所设计方案的注视点个数明显多于其他样本，根据“竞争—整合”模型，注视点个数越多，注视时长越长说明该样本正是被试者“想看到”的，符合被试者意象认知和情感需求的。

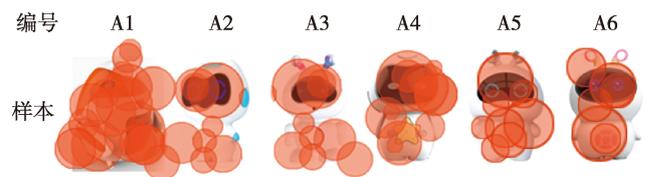


图 14 感性评价实验眼动轨迹图

Fig.14 Eye movement trajectory of perceptual evaluation test

4 结语

为探索学龄前儿童对产品的感性需求，构建了基于眼动实验的产品研发设计流程，通过对眼动数据的可视化分析，获取用户意象认知样本。用外观仿生设计手法分析意象认知样本，提取关键特征进行学龄前儿童智能机器人设计实践，并对其外观进行感性评价，验证了方法的可行性。

1) 提出“竞争—整合”模型，结合眼动数据确定产品意象认知对象，发现学龄前儿童对样本的选择更倾向于可爱的和具有普遍认知的形象，说明学龄前儿童心理认知和生理反应具有对应的耦合关系；

2) 建立“意象认知样本和产品功能意象”模型，设计中保证两个意象基本一致可以提高产品与用户的情感匹配度；

3) 提出“产品评价人员选择模型”，借助眼动实验进行外观感性评价，在一定程度上提高了评价结果的客观性和准确性。

通过眼动数据分析目标用户的感性需求是产品设计领域的新热点，但是单纯依靠眼动数据研究目标用户隐性意图尚有局限，后续的研究中将更多结合脑

电、皮电等多模态的生物数据, 拓展研究深度, 以求更真实的还原用户认知。

参考文献:

- [1] 吴剑斌, 陈香, 张凌浩. 儿童产品造型语义模糊评价[J]. 机械设计, 2018, 35(2): 124-128.
WU Jian-bin, CHEN Xiang, ZHANG Ling-Hao. Fuzzy Evaluation of Children Product Modeling Semantics[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(2): 124-128.
- [2] 罗碧娟. 基于模块化设计方法的儿童产品设计研究[J]. 机械设计, 2014, 31(7): 121-123.
LUO Bi-juan. Research on Children' S Product Design Based on Modular Design Method[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(2): 124-128.
- [3] 邓卫斌, 祝红星. 基于层次分析法的儿童智能手表设计评价研究[J]. 包装工程, 2018, 39(8): 121-125.
DENG Wei-bin, ZHU Hong-xing. Design Evaluation of Children's Smart Watches Based on AHP[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(8): 121-125.
- [4] 王新亭, 邓玮丹. 基于眼部追踪技术的产品意象草图认知差异研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2019, 31(2): 107-114.
WANG Xin-ting, DENG Wei-dan. Study on Cognitive Differences of Product Image Sketch Based on Eye Tracking Technology[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2019, 31(2): 107-114.
- [5] 陈满儒. 基于感性工学和形状文法的智能手表造型设计研究[J]. 机械设计与制造工程, 2016, 45(11): 82-85.
CHEN Man-ru. Modeling Design of Smart Watches Based on Kansei Engineering and Shape Grammar[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2016, 45(11): 82-85.
- [6] 田正清. 基于感性工学与 Kano 模型的自行车造型需求研究[J]. 机械设计, 2017, 34(5): 113-118.
TIAN Zheng-qing. Study of Bicycle Modeling Requirement Based on Kansei Engineering and Kano Model[J]. Machine Design, 2017, 34(5): 113-118.
- [7] PARK H. Using Eye Movement Data to Infer Human Behavioral Intentions[J]. Computers in Human Behavior, 2016(63): 796-804.
- [8] ANDRIENKO G. Visual Analytics Methodology for Eye Movement Studies[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2012, 18(12): 2889-2898.
- [9] 欧细凡. 基于眼动追踪技术的产品形态仿生设计研究[J]. 包装工程, 2018, 39(22): 144-150.
OU Xi-fan. Product Form Bionic Design Based on Eye-tracking Technology[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(22): 144-150.
- [10] 史庆春. 基于眼动追踪技术的抛光机造型设计与色彩优选[J]. 机械设计, 2016, 33(8): 105-108.
SHI Qing-chun. Modeling Design and Color Selection of Polishing Machine Based on Eye Tracking Technology[J]. Journal of Machine Design, 2016, 33(8): 105-108.
- [11] 王震亚. 基于眼动追踪技术的汽车造型特征提取与认知研究[J]. 包装工程, 2016, 37(20): 54-58.
WANG Zhen-ya. Research on Extraction and Cognition of Automobile Modeling Features Based on Eye-tracking Technology[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(20): 54-58.
- [12] 吴辛迪. 基于眼动技术的侗族鼓楼文化中造型 DNA 识别研究与创新应用[J]. 图学学报, 2018, 39(4): 616-622.
WU Xin-di. Identification and Innovative Application of Modeling DNA in Dong Drum Tower Culture Based on Eye Movement Technology[J]. Journal of Graphics, 2018(4): 616-622.
- [13] 李洁. 人形机器人造型意象与用户情感认知研究[J]. 机械设计, 2019, 36(5): 134-138.
LI Jie. Research on Image Modeling Design and User Emotional Cognition of Humanoid Robot[J]. Journal of Machine Design, 2019, 36(5): 134-138.
- [14] RICHARD G. The Relationship Between Exogenous and Endogenous Saccades and Attention[J]. Minds Eye, 2003(1): 3-26.
- [15] 李雄. 产品意象造型设计应用研究进展[J]. 包装工程, 2019, 40(8): 1-9.
LI Xiong. Review of Product Image Form Design and Its Application[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(8): 1-9.
- [16] 马先仙. 儿童陪伴机器人的形态感性研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2018.
MA Xian-xian. The Kansei Study on Form of Children Accompany Robot[D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2018.
- [17] 肖旺群. 基于眼动实验的工业机器人造型设计要素感性意象空间研究[J]. 机械设计, 2017, 34(7): 128-132.
XIAO Wang-qun. Research on Perceptual Image Space of Industrial Robot Modeling Design Based on Eye Movement Experiment[J]. Journal of Machine Design, 2017, 34(7): 128-132.
- [18] 苏建宁, 刘怡麟, 师容. 面向跨文化融合的产品意象造型设计方法[J]. 包装工程, 2019, 40(8), 10-15.
SU Jian-ning, LIU Yi-lin, SHI Rong, et al. Product Image Modeling Design Method for Cross-cultural Fusion[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(8): 10-15.
- [19] NORMAN D A. Emotional Design: Why We Love(or Hate) Everyday Things[M]. Beijing: China Citic Press, 2015.
- [20] 侯雨彤, 黄心渊. 基于色彩认知心理的儿童数字绘本研究[J]. 科技与出版, 2017(4): 73-76.
HOU Yu-tong, HUANG Xin-yuan. Research on Children's Digital Picture Book based on Color Cognitive Psychology[J]. Science Technology & Publication 2017(4): 73-76.
- [21] 曾栋. 基于可用性的产品外观设计评价系统研究[J]. 包装工程, 2008, 39(1): 137-139.
ZENG Dong. Research on Product Appearance Evaluation System Based on Usability [J]. Packaging Engineering, 2008, 39(1): 137-139.