

老龄服务机器人外观形态设计的眼动评价

王秋惠^{ab}, 杜锦波^a

(a.天津工业大学 机械工程学院 b.天津工业大学 经济与管理学院, 天津 300387)

摘要: **目的** 在人口老龄化进程加快, 老年人智能产品市场发展迅速的背景下, 探索老年用户对服务机器人外观形态的情感偏好。**方法** 眼动评价是研究老年人视觉、情感认知的主要方法, 以65岁为基本年龄的老年用户为对象, 选取市场上现有的真人型、仿动物型、拟人型、拟物型4类老龄服务机器人的正面图片作为刺激材料, 15名健康老年人作为被试者, 以眼动追踪为主、主观问卷及心电为辅, 3种测量手段相结合的方式进行实验, 深入探讨被试者面对不同服务机器人外观形态设计要素时的生理及心理特征。**结论** 结合3种测量数据可知, 老年用户对服务机器人头部形态的关注度更高, 黑色更贴合老年人视觉的感官偏好, 且真人型服务机器人外观形态更受欢迎。

关键词: 服务机器人; 眼动评价; 心率变异性; 情感偏好; 老龄用户需求

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)06-0090-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.06.012

Appearance Design Preference of Aging Service Robot Based on Eye Movement Technology

WANG Qiu-hui^{ab}, DU Jin-bo^a

(a.College of Mechanical Engineering, Tiangong University b.College of Economics and Management, Tiangong University, Tianjin 300387, China)

ABSTRACT: Under the background of the accelerating of aging population and the rapid development of intelligent product market for the elderly, this paper explores the emotional preference of elderly users for the appearance of service robots. Eye movement evaluation is the main method to study the vision and emotional cognition of the elderly. The 65 years old (the basic age) elderly users were selected as the research objects. The positive pictures of four kinds of service robots for the elderly in the market, including human, animal-like, anthropomorphic and object-shaped, were selected as stimulus materials. 15 healthy elderly people participated in the experiment with eye tracking as the main method and the subjective questionnaire and ECG as the auxiliary methods to explore their physiological and psychological characteristics when being confronted with the different service robots with different appearance design elements. Based on the three kinds of measurement data, they show that the elderly users pay more attention to the head shape of the service robot, the black color is more suitable for the elderly people's visual and sensory preferences, and the appearance shape of the human service robot is more popular. The results of this study can provide a theoretical and practical basis for the appearance design of future elderly service robots.

KEY WORDS: service robot; eye movement evaluation; heart rate variability; emotional preference; demand of elderly users

随着人口老龄化进程的不断加快, 老年人产品市场发展迅速, 并逐渐向智能化设计方向过渡^[1]。由于

子女疲于工作, 生活节奏较快, 老年人无人陪伴, 与子女缺乏交流, 所以老年人容易出现情感空缺、生活

收稿日期: 2021-11-03

基金项目: 教育部人文社会科学规划基金 (19YJAZH093)

作者简介: 王秋惠 (1969—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为工业设计。

自理能力下降等问题^[2-3]。情感体验类的智能产品市场发展快速,尤其是具有陪伴、服务等功能的智能机器人产品发展得最快^[4-5]。如今,市面上的老龄服务机器人种类繁多,用户对其功能的外延需求也随之增大,单纯的功能性服务已经无法满足老年人的生活需求,因此,了解老年人对服务机器人的设计期望非常重要。

1 理论基础

许多国内外研究表明,机器人外观形态强烈地影响着用户与机器人的互动^[6]。在 KWAN M L^[7]等的研究中表明,机器人外观偏好能体现用户对机器人能力的具体期望;黑格尔^[8]等研究发现,机器人越像人,用户赋予机器人的人性品质就越多;在 KRISTIN S^[9]等的一项研究中发现,机器人的外观形态是影响用户对机器人可信度的最初感知要素。外观是表达产品设计思想、传播精神和文化的重要载体^[10]。在设计过程中,要充分考虑老年人对服务机器人外观形态的期望,给老年人提供功能性服务的同时,提升用户满意度。为了合理地将老年人情感需求外显化,需要有效地进行机器人外观形态分析,并提取相关信息。

从研究内容上看,已有的研究主要通过分析市面上现有服务机器人的外观形态、功能、交互等主观设计因素,来探索老龄服务机器人设计理念,并进行设计优化,而以量化方式来判断影响老年用户的主客观生理变化的研究则相对较少。且在研究方法上,多采用调查问卷、访谈、量表等方法来获取老年人的主观评价^[11-12],但运用客观生理测量方式来获取老年用户对设计要素偏好的生理评价研究较少。眼动追踪和心电测量作为人机交互过程中用户情感的生理评价方法,可获取老年用户的生理评价,为老龄服务机器人外观形态偏好的情感量化提供了新思路^[13]。

王震亚^[14]等基于眼动追踪技术,从用户角度出发对汽车造型特征提取进行了分析;苏建宇^[15]等通过眼动追踪对产品造型设计要素进行重新排序,并建立评价模型;闫龙华^[16]等基于眼动信息生理测量对苗族服饰纹样进行分析,以获取美感等因素;张树成^[17]等运用心率检测对微表情识别提出了新的算法;ZANCHETTIN A M^[18]通过心率等生理信号分析机器人外观及操作,使机器人能够像人类一样移动和运动,以提高社会接受度。

研究借助眼动、心电测量结合问卷调查、访谈等方法,对市面上现有的 4 类老龄服务机器人(真人型、仿动物型、拟人型、拟物型)外观形态进行分析,主要用于探索老年人对不同种类服务机器人外观形态的情感偏好、对服务机器人不同部位的认知偏好和对同一款服务机器人不同颜色的视觉偏好,并以此为基础得到以老年人为中心的形态偏好与未来设计方向。

2 研究方法

2.1 被试者与测试人员

本实验招募以 65 岁为基准的老年人,年龄为 61~75 岁,6 名男性,9 名女性,共 15 人。被试者身体状况良好,语言表达能力清晰,无视力问题。被试者在测试人员的指导下,认真了解本次实验的要求,均自愿签署知情同意书。实验人员 4 名(均为本课题研究人员),1 人负责说明实验及实验前色盲检测,1 人负责指引与穿戴设备,1 人负责相关软件操作,1 人负责实验后问卷调查及简单访谈。

2.2 实验设备

1) 眼动追踪系统。实验使用北京津发科技股份有限公司的眼动传感器 Gaze 采集被试眼动数据。采样率为 120 Hz,采用五点校准法。此传感器可应用到各类研究场合,确保无干扰地进行数据采集。

2) 脉搏传感器。心率数据采集使用北京津发科技股份有限公司的脉搏传感器 PPG。此次实验采集数据样本为心率变异率,PPG 可同时采集到 8 种时域、5 种频域的数据,研究将对收集到的数据进行筛查,并选择部分数据进行分析。

3) 数据分析软件。数据分析使用北京津发科技股份有限公司的 BioLAB 软件进行实验测试和数据处理。BioLAB 可记录各生理、心理(脑电、肌电、心电、皮电、呼吸等)与行为指标的原始数据。采集眼动(如 Tobii, FaceLAB 等)、EEG/ERP 脑电事件相关电位系统的数据。并且结合作业人员的行为视频数据(动作、姿势、运动、位置、力量、角度等)进行客观地观察和分析,了解所测数据内外变化之间的因果关系,整理得到实验需要的眼动信息。

4) 主观评价量表。采用 Likert 7 级量表,对上述 8 款老龄服务机器人外观形态的喜好程度进行评分。由-3~3 划分为 7 个等级,-3 分代表极不喜欢、-2 分代表较为不喜欢、-1 分代表不喜欢、0 分代表中性感觉、1 分代表喜欢、2 分代表较为喜欢、3 分代表特别喜欢。这 7 个等级的划分反应了被试者对 8 款刺激材料认知的心理变化,为分析老龄服务机器人外观形态设计偏好提供了主观数据。

2.3 实验准备

1) 刺激材料。为探究老年用户对不同机器人外观形态的情感偏好,实验搜集市场上现有的老龄服务机器人产品,分别为真人型、仿动物型、拟人型和拟物型 4 类,每一类随机选取 2 个世界知名品牌服务机器人的正面图片(DPI:300)。利用 Photoshop 2018 去掉其颜色,统一图片尺寸、背景颜色及坐标轴,形成 8 张刺激材料,见图 1。将 8 张图片彻底打乱顺序重新排列(8*8 水平处理),生成 8 组刺激材料。把 8 张



图 1 刺激材料
Fig.1 Stimulus material

图片逐一利用 photoshop 2018 将其颜色修改成冷色、暖色、白色及黑色，每个机器人图片都被彻底打乱色彩进行排序，形成 32 组刺激材料。提取 8 张图片的冷暖色，生成 16 组刺激材料。实验刺激材料共生成 56 张。

2) 设备调试。准备一台 Windows7 系统的笔记本电脑，把眼动传感器 Gaze 粘贴在电脑屏幕下方，打开 ErgoLAB 软件，连接眼动传感器，并根据指令校准眼动传感器，方便眼动数据的准确采集。将刺激材料导入 ErgoLAB 软件中，设置实验需要的内容。由实验人员进行检验测试。根据测试人员的反馈，完成全部 56 组刺激材料的测试。为避免时间过长而导致被试者注意力分散、身体与视力呈现疲劳状态，因此减少重复、多余的刺激材料，最终保留 4 张 8*8 水平处理的刺激材料、8 张色彩排序刺激材料、16 张刺激材料，共 28 张。测试人员对保留的刺激材料，设定单张播放时长分别为 5 s、7 s、10 s，再次进行测试。通过多次对比，最终，实验选择每张刺激材料播放时长为 7 s。

3) 问卷访谈。通过问卷调查与访谈问题，研究老年人对 4 类服务机器人的主观评价，主要涉及类型、具体机器人、色彩、部位等几大部分的偏好与期望。问题一，老年用户最喜欢哪个机器人；问题二，老年用户最喜欢机器人哪个部位；问题三，老年用户更喜欢机器人的哪种配色。

2.4 实验过程

首先，向被试者介绍实验流程及注意事项，其自愿签署知情同意书。由测试人员帮助被试者佩戴心率测量仪器（摘除老年女性耳饰，确保心率稳定采集）。其次，提示被试者坐于刺激图像显示屏前 60 cm，保持坐姿挺拔，眼睛水平直视屏幕的基准线，在测试人员的引导下通过 5 点法对被试者视线进行追踪校准，在校准完成之后，在设备上记录被试者的基本信息。如校准不精确，可再次进行校对。前期准备工作结束，开始正式实验。实验过程中，首先播放指导语，随后依次随机播放筛选出的 28 张刺激材料，每张图片刺激

时长为 7 s，每位被试者完成测试的平均时间为 6 min。每一位被试者完成实验后，由测试人员对其进行简短的访谈，以完成调查问卷的填写。

2.5 数据采集与处理

实验获取 15 名被试的实时眼动、心电记录数据，以及每名被试对老龄服务机器人外观形态设计偏好主观评分表。启动 BioLAB 软件，手动剔除眼动与心电数据的不稳定样本，从 ErgoLAB 软件导出需要的生理数据。眼动数据总体包括了第 1 次注视时长、总注视时长、总注视次数、平均注视时长、第 2 次注视时长等眼动指标。为了筛选出能充分反应老年用户认知过程中的指标，对所得数据进行分析，结果显示，平均注视时间与用户偏好存在显著相关性。

心电数据可获取心率变异性（Heart Rate Variability, HRV）的 R-R 间期的均值（MEAN）、R-R 间期的标准差（SDNN）、相邻 R-R 间期差值的均方根（rMSSD）、相邻 R-R 间期差值的标准差（SDSD）等 8 种时域数据，以及低频段功率（LF）、高频段功率（HF）、低频高频均衡比（LF/HF）等 5 种频域数据。实验选取 HRV 时域指标与频域指标，对测试过程中老年人心电信号的变化进行分析。

3 结果

3.1 眼动数据

对得到的 28 组眼动数据划分为 3 组数据分别进行验证，以此探索老年人对不同种类服务机器人外观形态的情感偏好、对服务机器人不同部位的认知偏好，以及对同一款服务机器人不同颜色的视觉偏好，见表 1。

表 1 眼动注视时长数据分析
Tab.1 Data analysis of eye movement fixation duration

数据分类		眼动注视时长分析				
	因素	平均值	标准差	F 值	t 值	Sig.
外观类型	拟人	0.415	0.007	23.271	2.722	0.005**
	拟物	0.450	0.001			
	真人	0.670	0.002			
	仿动物	0.600	0.707			
部分	冷—头部	3.386	1.414	2.809	2.425	0.017*
	冷—躯干	1.326	1.606			
	暖—头部	3.190	1.402			
	暖—躯干	1.478	1.420			
配色	黑	1.386	0.376	2.809	0.048*	0.048*
	白	0.766	0.417			
	冷	1.153	0.486			
	暖	0.846	0.437			

第 1 组,探索老年人对不同种类服务机器人外观形态的情感偏好。4 种老龄服务机器人的注视时长平均值及标准差如表 1,配对单因素方差进行分析。结果显示:在 8*8 机器人排版数据分析中,老年用户的注视时长从大到小排序为真人型>仿动物型>拟物型>拟人型,且具备显著性差异 ($F=23.271, P<0.05$)。这表明老年人对真人型服务机器人的偏好程度高于其他种类的服务机器人。

第 2 组,探索老年用户对 8 款服务机器人不同部位的认知偏好。配对样本 T 检验的结果显示:老年人在测试中,对暖色处理的机器人头部的注视时长明显高于对躯干的注视,且具备显著性差异 ($t(16)=2.425, P<0.05$)。对冷色处理的机器人头部的注视时长同样高于躯干,且同样具备显著性差异 ($t(16)=2.722, P<0.05$)。这表明机器人配色处于暖色或者冷色的情况下,老年用户对机器人头部设计的认知偏好同样重要。

第 3 组,探究老年用户对同一款服务机器人不同颜色的视觉偏好。配对单因素方差分析结果显示:老年人对 8 款服务机器人冷、暖、黑、白 4 种配色的平均注视时长中,冷色最为突出,其次为黑色、白色、暖色,具备显著性差异 ($F=4.994, P<0.05$)。这说明老年人对老龄服务机器人色彩的搭配更倾向于冷色调。

为进一步了解老年人对服务机器人外观形态的认知,对得到的眼动数据进行了多维度的分析,以研究具体的颜色和部位是否影响老年人对机器人外观形态设计的偏好、老年男女(性别差异)对不同兴趣区的关注度是否不同。颜色与部位眼动数据多因素方差分析见表 2,不同兴趣区老年男女对比分析见表 3。

根据表 2 可以得出单独的颜色和与部位都对老年人有显著性的影响 ($P<0.05$),与表 1 得到的结果相同,然而对比多因素方差分析结果,两者之间没有显著性影响。表 3 结果显示,不同兴趣区老年男女的对比分析显著性不强,因此,性别差异对研究没有影响。

表 2 颜色与部位眼动数据多因素方差分析

Tab.2 Multivariate analysis of eye movement data for color and position

效果	因子分类	数值	F 值	Sig.
因子 1-部分	头部、躯干	0.288	5.622	0.032*
因子 2-颜色	黑、白、冷、暖	0.696	9.178	0.002**
因子 1*因子 2	相互结合	0.133	1.001	0.394

表 3 不同兴趣区老年男女对比分析

Tab.3 Comparative analysis of elderly men and women in different interest areas

部分	性别	眼动注视时长				
		个数	平均数	标准差	t 值	Sig.
头	男	7	3.402	0.627	-0.220	0.829
	女	8	3.512	1.175		
躯干	男	7	0.390	0.275	-0.323	0.752
	女	8	0.431	0.219		

3.2 心率数据

HRV 是指连续窦性心跳 R-R 间期的微小涨落,是评价自主神经性活动定量指标。对得到的数据进行整理,选择 MEAN、SDNN、rMSSD 三项时域指标、LF/HF 一项频域指标,结合老年用户看到 8 种服务机器人时的心率状态,将每位被试者各时段 R-R 间期数据代入公式中,计算得出 MEAN、SDNN、rMSSD 的平均值,得出均值曲线变化图,LF/HF 同上所述,得出均值曲线变化图,见图 2。

根据图 2 可知,老年人在观察真人型服务机器人时,MEAN、SDNN、rMSSD、LF/HF 四项指标趋势都呈上升趋势,且数值较高。对得到的各项 HRV 指标进行单因素方差分析,见表 4。在 MEAN、rMSSD、LF/HF 三项指标的均值中,真人型的数据均为最大值,具备显著性差异 ($P<0.05$),说明老年用户在 4 类服务机器人中,更对真人型服务机器人更加偏好。

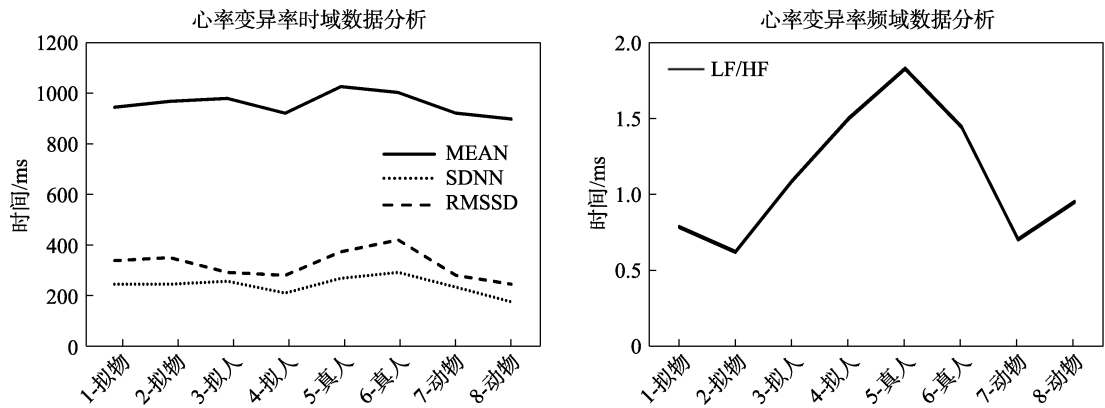


图 2 心率变化分析
Fig.2 Analysis of heart rate change

表 4 心率变异性数据分析
Tab.4 Data analysis of heart rate variability

	MEAN	SDNN	rMSSD	LF/HF
拟人	955.255	234.155	342.960	0.720
拟物	945.965	225.510	283.600	1.295
真人	1013.595	277.745	389.885	1.640
仿动物	901.500	236.977	253.760	0.840
F 值	7.107	2.421	16.596	7.091
Sig.	0.044*	0.206	0.010**	0.044*

3.3 主观数据

统计调查问卷数据,对 3 个问题的得分进行整合统计,得到平均值与标准差。结果表明:老年用户更喜欢真人型机器人 ($F=19.158$, $P<0.05$);老年用户对机器人头部的注意力更加集中 ($t(15)=2.104$, $P<0.05$);老年用户对外观为黑色的服务机器人关注度更高 ($F=2.809$, $P<0.05$)。

4 讨论

主要从眼动追踪指标、心电指标与主观评价 3 个方面,分析老年用户对老龄服务机器人外观形态设计的偏好认知。

从眼动追踪指标来看,可分析得出老年用户在面对不同类型的服务机器人外观时,关注点主要集中于真人型服务机器人,其次是仿动物型,对拟人型和拟物型这 2 类外观偏向于机械形态的服务机器人,老年用户的关注度较低。相关研究表明,机器人中的类人外观提高了老年用户对机器人能力的期望,且数据表明,老年用户更关注机器人头部的的设计,相对于躯干来说,头部表情丰富,更容易引起老年人的视觉注意与心理共鸣。从外观配色的数据分析来看,老年用户对颜色的区分具有显著性,说明配色会引起老年用户的注意,机器人配色与头部设计同样重要。配合表 2、3 的多重对比数据来看,整体的数据走向与表 1 的数据成正比,这表明,老年男女用户的性别差异,对机器人外观形态的偏好无本质上的区分,在设计中可忽略不计。由此可见,老年用户对服务机器人的配色和头部关注度相对较高,因此,在设计中,可考虑整体形态的类人设计,并注重颜色搭配和头部细节。

从心电指标上来看,老年用户在观察真人型服务机器人时,指标在时域和频域上有明显的起伏。从时域数据分析来看,MEAN、SDNN、rMSSD 的走势变化基本一致。从频域数据分析来看,LF 与 HF 会受到交叉神经与副交叉神经的支配,交叉神经兴奋会引发心脏收缩、心跳加快等现象产生,LF/HF 的曲线波动会根据老年用户的兴奋程度而增大,LF/HF 的波动程度越大,说明老年用户对真人型服务机器人的关注度越高。

从主观指标来看,李科特 7 级量表可以分析被试者经视觉观察刺激材料所得到的评分结果。老年人对真人型、具有人头部形态、配色为黑色的机器人偏好程度较高,且与得到的眼动数据结果一致。主观指标与眼动指标相关性分析结果表明,不同种类的服务机器人外观形态的情感偏好 ($R>0.958^*$, $P<0.05$) 与不同部位的认知偏好 ($R>1.000^{**}$, $P<0.01$) 具备较强相关性,但同一款服务机器人不同颜色的视觉偏好不具备相关性。此结果表明被试者的主观评价与眼动生理信息有关,并在一定程度上取决于老年用户的视觉注意机制。此外,眼动指标和心电指标数据不具备相关性,通过结果对比不能得出心率变化与眼动数据的具体关系。综合来看,情感偏好可通过主观指标量化,结合眼动平均注视时长数据分析,为老龄服务机器人外观形态设计偏好研究提供有效的生理及心理测量方法。

5 结语

以老年用户为中心,通过眼动追踪、心电测试及主观问卷调查方法,分析老龄服务机器人外观形态设计的情感偏好。结果表明,老年用户对不同类型服务机器人的视觉认知、情感认知具有显著性差异,黑色可作为未来老龄服务机器人的参考配色,老年用户对服务机器人头部的关注比较集中。研究结果具有一定的现实意义,为老龄服务机器人设计提供了理论和实践依据。

参考文献:

- [1] 申浩. 人口老龄化背景下我国城市社区养老服务研究[J]. 中国集体经济, 2018, 35(12): 3-4.
SHEN Hao. Research on Urban Community Elderly Service in China under the Background of Population Aging[J]. China Collective Economy, 2018, 35(12): 3-4.
- [2] 毕翼飞, 王年文, 朱亦吴. 基于感性工学的老年陪护机器人造型设计[J]. 包装工程, 2018, 39(02): 160-165.
BI Yi-fei, WANG Nian-wen, ZHU Yi-wu. Form Design of Accompany Robot for the Elderly Based on Kansei Engineering[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(2): 160-165.
- [3] 刘宗明, 葛碧慧. 基于 QFD 的老年家用陪护机器人设计[J]. 图学学报, 2018, 39(4): 695-699.
LIU Zong-ming, GE Bi-hui. Design of Elderly Household Companion Rpbob Based on QFD[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(4): 695-699.
- [4] KHOSLA R, NGUYEN K, CHU M T. Human Robot Engagement and Acceptability in Residential Aged Care[J]. International Journal of Human-computer Interaction, 2017, 33(46): 510-522.
- [5] 王年文, 王剑. 面向感性需求的家庭服务机器人造型设计研究[J]. 机械设计, 2018, 35(11): 115-120.
WANG Nian-wen, WANG Jian. Modeling Design of

- Family Service Robot Oriented to Perceptual Demand[J]. *Journal of Machine Design*, 2018, 35(11): 115-120.
- [6] PHILLIPS E, ULLMAN D, DEGRAAF M M A, et al. What Does a Robot Look Like? A Multi-Site Examination of User Expectations About Robot Appearance[J]. *Proceedings of the Human Factors & Ergonomics Society Annual Meeting*, 2017, 61(1): 1215-1219.
- [7] KWAN M L. Can a Robot Be Perceived as a Developing Creature?[J]. *Human Communication Research*, 2005, 31(4): 538-563.
- [8] HEGEL F, SÖREN K, KIRCHER T, et al. Understanding Social Robots: a User Study on Anthropomorphism[C]//Roman: 2008-The 17 th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. IEEE, 2008.
- [9] KRISTIN S, TRACY S, RYAN Y, et al. Classification of Robot Form: Factors Predicting Perceived Trustworthiness[J]. *Proceedings of the Human Factors & Ergonomics Society Annual meeting*, 2012, 56(1): 1548-1552.
- [10] SIAL S B, SIAL M B, AYAZ Y, et al. Interaction of Robot with Humans by Communicating Simulated Emotional States through Expressive Movements[J]. *Intelligent Service Robotics*, 2016, 9(3): 231-255.
- [11] 王秋惠, 牛志通, 刘力蒙. 基于 TRIZ-GA 老龄服务机器人人因系统功能配置与设计优化[J]. *包装工程*, 2020, 41(24): 62-69.
- WANG Qiu-hui, NIU Zhi-tong, LIU Li-meng. Function design and optimization of Service Robot for the Elderly based on TRIZ-GA[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(24): 62-69.
- [12] 郭伏, 吕伟, 王天博, 等. 基于表面肌电和心电的手工搬运作业疲劳分析[J]. *人类工效学*, 2018, 24(1): 1-6.
- GUO Fu, LYU Wei, WANG Tian-bo, et al. Analysis of Manual Materials Handling Fatigue Based on sEMG and ECG[J]. *Chinese Journal of Ergonomics*, 2018, 24(1): 1-6.
- [13] 郭伏, 李明明, 胡名彩, 等. 基于眼动和脑电技术的机器人情绪行为对用户交互情感的影响研究[J]. *人类工效学*, 2018, 24(2): 1-7.
- GUO Fu, LI Ming-ming, HU Ming-cai, et al. The Effect of Robotic Behaviors on Users' Interactive Emotions Based on Eye-tracking and EEG[J]. *Chinese Journal of Ergonomics*, 2018, 24(2): 1-7.
- [14] 王震亚, 李海旺. 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, LI Hai-wang. Automotive Styling Feature Extraction and Cognition Based on the Eye Tracking Technology[J]. *Packaging Engineering*, 2016, 37(20): 54-58.
- [15] 苏建宁, 邱凯, 张书涛, 等. 基于眼动数据的产品造型设计要素评价方法研究[J]. *机械设计*, 2017, 34(10): 124-128.
- SU Jian-ning, QIU Kai, ZHANG Shu-tao, et al. Evaluation Method Study of Product Modeling Design Elements Based on Eye Movement Data[J]. *Journal of Machine Design*, 2017, 34(10): 124-128.
- [16] 闫龙华, 林丽, 肖华亮, 等. 基于心理与生理测量的苗族服饰纹样美感研究[J]. *图学学报*, 2017, 38(5): 683-688.
- YAN Long-hua, LIN Li, XIAO Hua-liang, et al. Study on the Aesthetic Sense of the Miao Clothing Patterns Based on Psychological and Physiological Measurement[J]. *Packaging Engineering*, 2017, 38(5): 683-688.
- [17] 张树诚, 王笑梅. 基于 EVM 的心率检测在微表情识别中的应用[J]. *计算机仿真*, 2019, 36(3): 453-457.
- ZHANG Shu-cheng, WANG Xiao-mei. Application of Heart Rate Detection Based on EVM in Micro-Expression Recognition[J]. *Computer Simulation*, 2019, 36(3): 453-457.
- [18] ZANCHETTIN A M, BASCETTA L, ROCCO P. Acceptability of Robotic Manipulators in Shared Working Environments through Human-Like Redundancy Resolution[J]. *Applied Ergonomics*, 2013, 44(6): 982-989.