

基于 PAD 情感模型的老龄智能陪伴 机器人面部表情评估研究

吴磊, 孙悦

(华中科技大学, 武汉 430074)

摘要: **目的** 为探索老龄智能陪伴机器人的表情设计特征, 依据 FACES 国际表情数据库等, 提取 7 种基本面部表情类型, 得到老龄智能陪伴机器人表情样本 21 个。**方法** 首先, 基于 PAD 情感模型, 对老龄智能陪伴机器人表情样本进行实验评估。实验自变量为老龄智能陪伴机器人的表情风格和被试年龄, 实验因变量为表情设计的识别率、满意度和 PAD 量表得分。然后, 通过数据统计分析, 得出老龄智能陪伴机器人的表情风格、被试年龄与 PAD 量表得分之间的影响机制, 进而得到影响老年人对智能陪伴机器人表情交互的接受度和情感反应规律。最后, 通过实际设计案例验证研究方法的可行性。**结论** 通过 PAD 情感模型测量数据统计分析, 得到老龄智能陪伴机器人的表情交互设计特征和规律, 为老龄智能陪伴机器人表情交互设计领域提供相关理论支持。

关键词: 老龄智能陪伴机器人; 人机交互; 面部表情; 情感体验; PAD 情感模型

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)06-0053-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.06.008

Facial Expression Measurement of Aging Intelligent Companion Robot Based on PAD Emotion Model

WU Lei, SUN Yue

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

ABSTRACT: To explore the interactive design features of the aging intelligent companion robot, this paper extracts 7 basic facial expression types based on the FACES international expression database and obtains 21 facial expression samples of the aging intelligent companion robot. Firstly, based on the PAD emotion model, the expression samples of the aging intelligent companion robot were tested and evaluated. The independent variables of the experiment were the expression style of the aging intelligent companion robot and the age of the subjects, and the dependent variables of the experiment were the recognition rate, satisfaction and PAD score of the expression design. And through the statistical analysis of data, the influence mechanism between the expression style of the aging intelligent companion robot, the age of the subjects and the PAD emotion model score was obtained, and then the rules of affective acceptance and emotional response of the aging intelligent companion robot's facial expression were obtained. Finally, the feasibility of the research method was verified through actual design cases. Through statistical analysis of PAD emotion model measurement data, it can get the features and rules of facial expression interaction design of aging intelligent companion robot, which provides relevant theoretical support for the field of expression interaction design of intelligent companion robots for the elderly.

KEY WORDS: aging intelligent companion robot; human-robot interaction; facial expressions; emotional experience; PAD emotion model

收稿日期: 2020-12-12

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金资助“基于包容性理论的老龄人群智能移动产品人性化设计研究”(20YJC760105)

作者简介: 吴磊 (1982—), 男, 陕西人, 博士, 华中科技大学副教授, 主要研究方向为用户体验评估、智能产品设计与人机交互。

国务院印发的《“十三五”国家老龄事业发展和养老体系建设规划》指出^[1], 预计到2020年, 全国60岁以上老年人口将增加到2.55亿人, 占总人口的比重将提升到17.8%左右。高龄老年人将增加到2900万人, 独居和空巢老年人将增加到1.18亿人左右, 我国将成为世界上老龄人口最多的国家之一。人工智能、5G、AI、大数据、物联网等新技术和智能产品的蜂拥出现, 使老年人成为了智能科技产品选择性遗忘的盲区^[2]。关注老年群体对新兴科技的需求, 帮助老年人跨越数字技术造成的巨大“数字鸿沟”, 已成为当务之急。

移动互联网环境下的新兴技术快速发展与应用(如大数据、物联网、人工智能等)催生了智能产品的出现^[3-4]。目前, 针对老龄人群的智能产品主要包含健康监测、安全应急、生活陪伴和信息通信等领域, 譬如智能穿戴设备、智能手环、智能血压仪等, 但这些产品大多针对老年人的健康监测和运动等功能化需求, 较少考虑其心理和情感需求。老龄人群退休后, 其社会角色发生了重大改变, 尤其是多数老人和子女分开居住后, 他们在拥有较多空闲时间的同时, 更容易产生孤独感, 渴求参与积极的信息交流等情感化需求^[5-10]。近年来, 智能陪伴机器人可为老年人群提供交流和陪伴, 是缓解老年人孤独感和提高社会融入感的重要情感化智能产品之一^[11-13]。然而目前对于老龄智能陪伴机器人的人机交互, 尤其是表情交互研究较为匮乏。因此, 本文通过研究符合中国老龄人群的智能陪伴机器人表情交互的设计特征, 针对老龄人口的智能陪伴机器人面部表情设计原型进行实验心理学评估, 研究成果将对信息社会下老龄人群的数字信息公平和智慧社会生活融入具有重要的意义。

1 智能陪伴机器人的表情交互研究现状

智能陪伴机器人是模拟人类的视觉、听觉、表情和语言等自然行为的重要人工智能(Artificial Intelligence)载体, 通常也被称为机器智能(Robot Intelligence)。人与机器人交互(Human-Robot Interaction, HRI)包含人类与智能陪伴机器人的信息传递和情感互动的所有通道, 包含实体交互、表情交互和语音交互等多模态交互领域。

在智能机器人表情算法的研究领域: Reyes M (2019年)研究了愤怒表情对人机协作机器人的交互任务的影响机制^[14]; 黄忠(2016年)采用了多种算法, 针对时序特征的类人机器人多姿态表情进行了特征描述和识别研究^[15]; 柯显信(2009年和2013年)阐述了仿人情感交互表情机器人的理论框架和关键技术, 并且分析了日本、欧盟和国内的相关案例研究进展^[16-17]; 李伟池(2013年)采用了支持向量机技术, 研究了助老服务机器人的面部表情识别算法^[18]; Ge SS (2008年)提出了一种交互式系统, 用于重构

人类6种基本面部表情^[19]。

在智能陪伴机器人产品的情感交互度量领域: 吕菲(2020年)分析了国内外文献, 提取了六类最重要的机器人面部表情评估量表(同理心量表、PAD心理量表、机器人焦虑量表、积极—消极自我报告量表、测量个体对机器人感知量表和李克特量表), 并指出了每种量表的使用场景和方式^[20]; 颜洪等人(2020年)研究了人工智能技术下的情感交互设计, 指出了用户情感特征中的面部表情分类和识别方法^[21]; Melinte (2020年)采用了深度卷积神经网络方法, 使机器人能基于人类的表情进行推测^[22]; 何人可(2020年)采用了Emocards法, 研究了家用机器人的人机交互亲密度和用户体验之间的影响机制^[23]; 陈灏龙(2020年)针对机器人语音交互的认知负荷问题, 采用了AHP结合生理信号测试方法进行了评估研究^[24]; 孙凌云(2020年)提出了智能产品应整合机器思维和设计思维, 总结了人本智能产品的发展现状和趋势^[25]; 刘梦非(2020年)针对老年人的生理心理特点, 对隐式人机交互在智慧养老领域的现状进行了综述研究^[26]; 王秋惠(2018年)从人因工程的视角对老龄服务机器人的界面进行了综述研究, 指出了相关理论基础、评价指标和优化方法等, 并提出了相关挑战和展望^[27]; 郭伏(2018年和2019年)采用了眼动结合脑电的研究范式, 探索了机器人情绪行为对用户交互情感的影响机制^[28-29]; 丁满(2018年)基于情景感知技术, 针对无意识行为和家庭智能服务机器人交互设计的关系进行了研究^[30]。

基于文献分析, 可以得出, 在技术层面, 目前集中在面部表情的识别算法和特征描述研究; 在设计层面, 主要研究内容为机器人的亲密度、语音交互、情绪行为等, 而针对老龄智能陪伴机器人表情的评估实证研究目前还较为匮乏。

2 老龄智能陪伴机器人的表情分类与评估方法

情感计算(Affective Computing)理论的快速发展使机器获得理解、洞察和表达人类情感的能力。面部表情是人类情感传递的重要途径, 提供了足够的线索去展示人类情绪。智能陪伴机器人作为具有情感表达和反馈能力的“拟人态智能产品”, 其面部表情是一种非常重要的自然交互形式。因此, 在设计老龄智能陪伴机器人时, 除了整体外观造型的美学和情感化以外, 机器人的面部表情设计就显得尤为重要。老龄智能陪伴机器人如果可以通过展示面部表情与老年人进行交互, 无疑会增强人机交互中的情感化因素, 使老龄智能陪伴机器人的情感表达更加富有情感化和人性化。

在国外, 美国心理学家 Paul Ekman 提出了面部行为编码系统 FACS (Facial Action Coding System)

表 1 人类基本面部表情要素提取
Tab.1 Extraction of basic human facial expressions

基本表情	眼睛	眉毛	嘴巴
高兴	眼睛变大，微微变亮	眉毛略微弯曲，眉宇舒展	嘴巴张开且露出牙齿
愤怒	眼睛愤怒，睁大	眉毛皱起，眉宇有竖纹	嘴唇紧闭或嘴巴张开
厌恶	眼睛变小，压低上眼睑	眉毛压低，眉头皱紧	上唇抬起，嘴角下拉
恐惧	眼睛睁大，上眼睑抬起	眉毛抬起来，皱在一起	嘴巴张开，嘴唇轻微向后拉
惊奇	眼睛圆瞪，上眼睑抬高	眉毛变高变弯，并且抬起	嘴张开幅度较大，下颚下落
悲伤	眼睛内侧的上眼睑抬高	眉毛皱在一起，眉头微皱	嘴巴微张，嘴角两侧下拉
平静	眼睛正常睁开	眉毛正常状态	嘴巴微闭

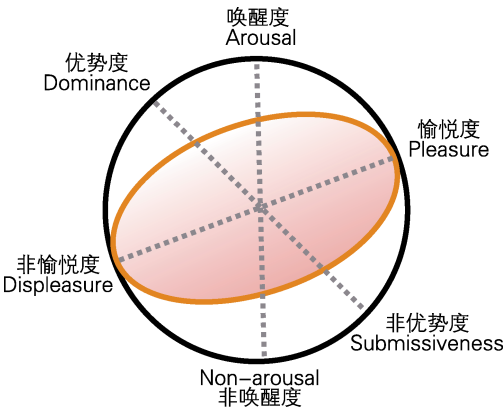


图 1 PAD 情感模型的评估维度
Fig.1 Evaluation dimension of PAD emotion model

和 Ekman 情绪面孔图片库（JACFEE）^[31-32]。Izard 总结归纳出了 10 种人类基本情绪，即喜悦、兴趣、鄙视、悲伤、愤怒、恐惧、害羞、惊奇、内疚和厌恶^[33]。Plutchik 提出了包含 8 种人类基本情绪（悲伤、愤怒、信任、厌恶、惊奇、喜悦、期待和恐惧）的模型^[34]。在国内，刘静（2019 年）通过高速摄像机采集方法，建立了具有心理学效度的中国面孔表情数据库^[35]。许贵芳等人（2015 年）采集了 76 位老人的面孔，得到了 578 幅面孔情绪图片^[36]。龚栩等人（2011 年）对中国面孔表情进行了采样，得到了 7 种情绪类型的面部表情图片，共计 870 张^[37]。日本机器人专家森政弘（1970 年）提出了恐怖谷理论，他认为当机器人的逼真感达到一个特定的临界感后，会突然失去亲和力并会产生令人恐惧和厌恶的情感体验^[38]。

基于 FACES 国际情绪平台数据库^[39]、Ekman 情绪面孔图片库（JACFEE）、蒙特利尔表情图片库（MS-FDE）、国际情感图片系统（IAPS）及中国情绪图片库（CAPS），通过老龄用户访谈和相关专家意见筛选，进行老龄智能陪伴机器人的表情数据库的提取和表情编码组合，遴选出高兴、愤怒、厌恶、恐惧、惊奇、悲伤、平静 7 种最重要的人类基本面部表情，进而提取符合老龄智能陪伴机器人的面部表情交互要素特征。人类基本面部表情要素提取见表 1。

PAD 情感模型（Please-Arousal-Dominance Model）由 Russell 等人提出，包含愉悦度（Pleasure-displeasure，

代表情绪的正负状态）、唤醒度（Arousal-nonarousal，代表生理激活水平）和优势度（Dominance-submissiveness，代表对环境的控制状态）3 个维度。研究表明，采用 PAD 情感模型可以有效测量和解释人的情感状态^[40]，PAD 情感模型的评估维度见图 1。由于 PAD 心理量表符合实验心理学测度要求，并且具有较好的可操作性和生态效度，所以本文采用 PAD 心理量表对老龄智能陪伴机器人的面部表情进行量化评估研究。

3 基于 PAD 情感模型的老龄智能陪伴机器人表情评估实验

基于 PAD 情感模型测量方法，评估老龄智能陪伴机器人的面部表情设计风格对老年人情感体验的影响机制，并将年轻人作为心理测量实验的对照组，通过测量老年人和年轻人之间的情感反应差异，进一步探索老龄智能陪伴机器人的面部表情设计规律。

3.1 实验设计

实验为两因素组间实验。实验研究自变量为：（1）老龄智能陪伴机器人的表情风格，通过归纳和总结市面上的 Pepper、Paro、Buddy 等主流老龄智能陪伴机器人的面部表情，并结合 10 位机器人和心理学专家的访谈，得到数码表情风格、卡通表情风格和拟人表情风格 3 个实验水平，定义为组内变量；（2）被试的年龄自变量分别为老年人（大于 60 岁）和年轻人（20~23 岁）2 个水平，定义为组间变量。

为更深入地理解老龄人群对智能陪伴机器人面部表情风格设计的认知机制，招募年轻被试作为心理测量实验的对照组。其目的是更深入地了解老年人与年轻人在情感反应上的差异性，以期获取更为全面和完整的测试结果。实验因变量为表情设计的识别率、满意度和 PAD 量表得分，因变量的详细解释详见实验任务与流程部分的描述。

3.2 实验被试

共招募被试 70 人，其中老年人 35 人（平均年龄 M=65.06，标准差 SD=7.25），年轻人 35 人（平均年

龄 $M=21.60$, 标准差 $SD=1.50$)。所有被试的视力或矫正后视力正常, 无色盲及色弱, 无精神疾病史, 均为右利手。所有被试均为自愿参加实验。

3.3 实验材料

根据前文研究, 老龄智能陪伴机器人的基本面部表情分为高兴、愤怒、厌恶、恐惧、惊奇、悲伤、平静, 共 7 种类型。考虑到老年人的科技接受度和情感特征, 通过从人类的基本面部表情特征进行归纳和提取, 主要提取眼睛、眉毛和嘴巴等特征, 采用数码化、卡通化和拟人化 3 种表情的表达风格进行设计。为保证实验样本的有效性, 邀请 15 位老人进行实验前测, 通过多轮筛选和讨论修改, 最终制定出本实验的老龄智能陪伴机器人表情刺激材料 21 个(3 种表达风格 $\times$ 7 种表情类型=21 个实验样本)。其中, 数码表情风格编号为 A1~A7, 卡通表情风格编号为 B1~B7, 拟人表情风格为 C1~C7。所有实验材料均采用 PS 软件处理为浅灰色底色, 统一为 474 像素 $\times$ 474 像素的尺寸。实验研究的表情刺激材料见图 2。

3.4 实验任务和流程

本实验有两个主要任务: (1) 被试的表情判别任务, 给被试逐一且随机呈现 21 种表情图片, 让被试判断所呈现表情具体代表的涵义, 让被试从 7 种基本面部表情类型中进行单项选择判断; (2) 被试的

PAD 情感模型评分任务, 让被试根据对表情图片的实际情感感受, 按照 PAD 心理量表, 对每个表情刺激材料的实际感受进行逐一评分。基于 3 种不同的表情设计风格, 共分为 3 个 Block 环节, 每个环节包含 7 个表情刺激材料。最后, 每个 Block 结束后, 让被试对该种风格的整体满意度进行评分(1~5 分, 1 代表“很不满意”, 5 代表“非常满意”)。实验流程见图 3。

为了方便老年人理解, 采用 SAM(Self-Assessment Manikin) 可视化图形评估表^[41-42]。经过多次实验证明, SAM 图形问卷简明易懂, 对老人、儿童等特殊人群具有准确的问卷分析效度。SAM 可视化问卷共包含 3 组 15 张小人图片, 分别代表“不愉悦—愉悦”、“平静—兴奋”和“被控制—主导”3 个维度, 被试只需选择与感受最接近的可视化小人即可。SAM 问卷具体的评估维度: (1) 不愉悦—愉悦, 此维度代表看到该面部表情图片后被激发的愉悦程度, 从最左端的内心非常不愉悦, 到中间的中立, 再到最右端的内心非常愉悦; (2) 平静—兴奋, 此维度表示看到该面部表情图片后内心被激活的程度, 从最左端的内心非常平静, 到中间的相对平静, 再到最右侧的内心非常兴奋; (3) 被控制—主导, 此维度代表看到图片后内心被控制的程度, 从最左端的完全无法控制, 到中间的正常状态, 再到最右端的完全有能力主导内心情感。SAM 图形问卷的评估维度见图 4。



图 2 实验研究的表情刺激材料

Fig.2 Facial stimulation materials for experimental research

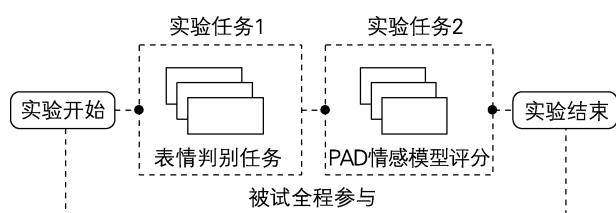


图 3 实验流程

Fig.3 Experimental process

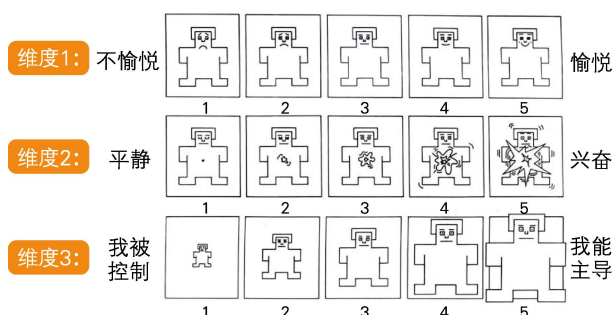


图 4 SAM 图形问卷的评估维度

Fig.4 Assessment dimensions of the SAM graphic questionnaire

4 实验结果分析与讨论

基于 PAD 情感模型共获取了实验数据 1470 份。测算依据为：被试 70 人（老年人和年轻人各 35 人）× 7 种（表情类型）× 3 种（表情风格），共计 1470 份。采用 SPSS22.0 进行数据的描述性和推断统计分析，在数码、卡通和拟人 3 种表情设计风格下，分析了老年人和年轻人之间的识别率、满意度和 PAD 情感得分差异与规律。

4.1 老龄智能陪伴机器人表情的识别率和满意度分析

经过数据统计分析，在 3 种表情设计风格下，老年人对 7 种基本面部表情类型的识别率均低于年轻人。具体来说，整体识别率最高的是卡通风格，其中老年人的识别率为 67.35%，年轻人的识别率为 82.04%。整体识别率最低的是拟人风格，其中老年人

的识别率为 62.45%，年轻人的识别率为 67.35%。数码风格则位于中间，其中老年人的识别率为 63.26%，年轻人的识别率为 82%。相比于简单易懂的数码风格，拟人风格的机器人表情更加具象，认知理解也更复杂，因此识别率最低。卡通风格介于抽象与具象之间，因此识别率最高。其原因可能是老年人对智能产品的熟悉度低于年轻人，从而产生了被试群体的识别水平差异。

经过数据统计分析，老年人对 3 种表情设计风格的主观满意度均高于年轻人。具体来说，整体满意度最高的是数码风格，其中老年人的满意度为 3.83 分，年轻人的满意度为 3.51 分。整体满意度最低的是卡通风格，其中老年人的满意度为 3.60 分，年轻人的满意度为 3.17 分。拟人风格则位于中间，其中老年人的满意度为 3.77 分，年轻人的满意度为 3.23 分。其原因可能是数码风格表情以简单的几何图形组合表达情感，符合智能陪伴机器人的科技形象，因此满意度最高。而其余两种风格与人类的相似程度较高，被试不确定真假，易产生反感情绪，因此满意度相对较低。

整体来说，表情信息比文字信息的视觉刺激更直观，更符合老龄用户的身体结构和情感反应特点，老年人对机器人表情交互的接受度高于年轻人。老年人和年轻人对各表情风格的识别率和满意度见图 5。

4.2 老龄智能陪伴机器人表情的 PAD 情感模型数据分析

通过 SPSS 数据统计分析，对 3 种表情设计风格（数码、卡通、拟人）的 7 种基本面部表情类型（高兴、愤怒、厌恶、恐惧、惊奇、悲伤、平静），按照 SAM 可视化的图形评估表，分别从愉悦度、唤醒度和优势度 3 个维度进行评分。根据 2 个被试群体对 21 个机器人表情实验样本的情绪得分平均值，分别绘制出愉悦度（P）、唤醒度（A）和优势度（D）的折线图。

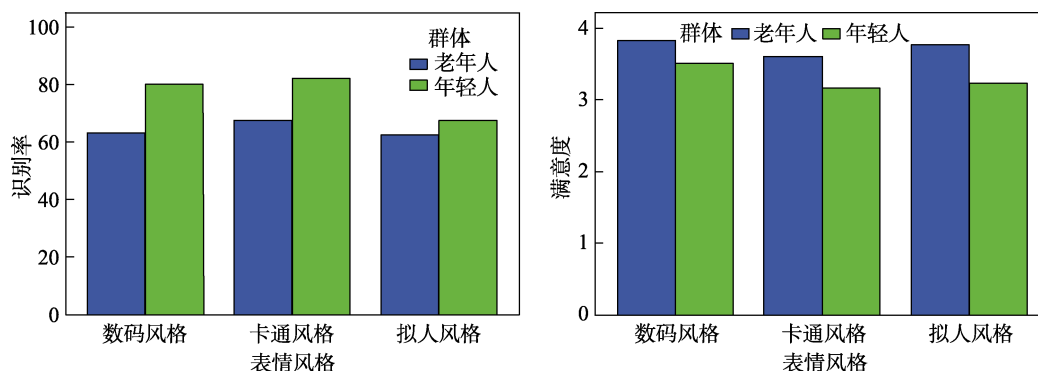


图 5 老年人和年轻人对各表情风格的识别率和满意度

Fig.5 The recognition rate and satisfaction of the elderly and young people to each expression style

愉悦度代表被试看到表情刺激材料后内心被激发的愉悦程度。从 7 种基本面部表情类型来说：数码风格中，厌恶、恐惧和平静的愉悦度数据离散度较高，其余 4 种表情的数据趋势基本吻合；卡通和拟人风格中，愤怒、恐惧和平静的愉悦度数据离散度较高。经过统计分析，老年人对 3 种表情设计风格的整体愉悦度均高于年轻人，其原因可能是老年人容易产生孤独感，而机器人表情交互刚好提供了信息交流和心理陪伴，更迎合其情感化需求。其中，高兴是典型的积极情绪，悲伤是典型的消极情绪，惊奇则处于中间位置，因此 2 个被试群体对这 3 种常见表情类型的愉悦度评价相似，而对于愤怒、厌恶、恐惧和平静的得分差异较大。老年人和年轻人对各表情刺激材料的愉悦度见图 6。

唤醒度代表被试看到表情刺激材料后内心被激活的程度。从 7 种基本面部表情类型具体来说：数码风格中，愤怒和悲伤表情的唤醒度数据聚合度较高，而其余 5 种表情的数据点较离散；卡通风格中，愤怒和厌恶表情的数据聚合度较高；拟人风格中，愤怒和悲伤的数据聚合度较高。经过统计分析，老年人对 3 种表情设计风格的整体唤醒度均高于年轻人，其中愤怒、悲伤和厌恶是具有共识的 3 种消极表情类型，因此对于 2 个被试群体的负面情绪激活水平基本一致。然而对于高兴、恐惧、惊奇和平静的得分差异明显，其原因可能是老年人的共情能力更强，接收到机器人表情交互刺激后的内心共鸣感比年轻人更加强烈。老年人和年轻人对各表情刺激材料的唤醒度见图 7。

优势度代表被试看到表情刺激材料后内心被控制的程度。从 7 种基本面部表情类型具体来说：数码风格中，2 个被试群体对愉悦、愤怒、悲伤、平静的数据趋势基本吻合，其中老年人的整体优势度略高于年轻人，而其余 3 种表情的数据点较离散。其原因可能是老年人视觉神经的衰退，在从细致的文字段落中读取信息时，老年人比年轻人更倾向于从机器人面部表情特征识别中获取线索，内心更易有主导的掌控感。老年人和年轻人对各表情刺激材料的优势度见图 8。

以被试年龄（老年人和年轻人）为主体间因子，表情风格（数码、卡通、拟人）为主体内因子，对愉悦度（P）进行方差分析。结果表明，表情风格的主效应显著，用 Greenhouse-Geisser 方法调整的 F 值为 $F(1.97, 133.62)=6.06$, $P<0.05$, 偏 $\eta^2=0.08$ 。接着对唤醒度（A）进行方差分析。结果表明，群体的主效应显著， $F(1, 68)=5.15$, $P<0.05$, 偏 $\eta^2=0.07$ ；表情风格的主效应显著，用 Greenhouse-Geisser 方法调整的 F 值为 $F(1.84, 125.30)=3.50$, $P<0.05$, 偏 $\eta^2=0.05$ 。对群体而言，老年人的唤醒度明显高于年轻人。选定每个检验的 α 水平为 0.016 后，对表情风格各因子水平情况下的群体进行简单效应分析。简单效应检验结果表明，对于拟人风格的智能陪伴机器人表情而

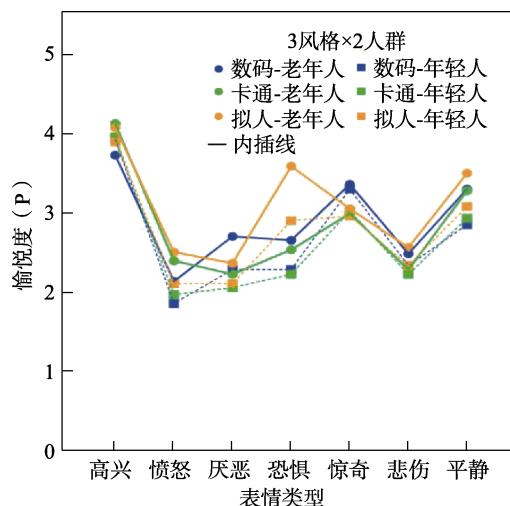


图 6 老年人和年轻人对各表情刺激材料的愉悦度
Fig.6 The pleasure of the elderly and young people to each facial expression stimulation materials

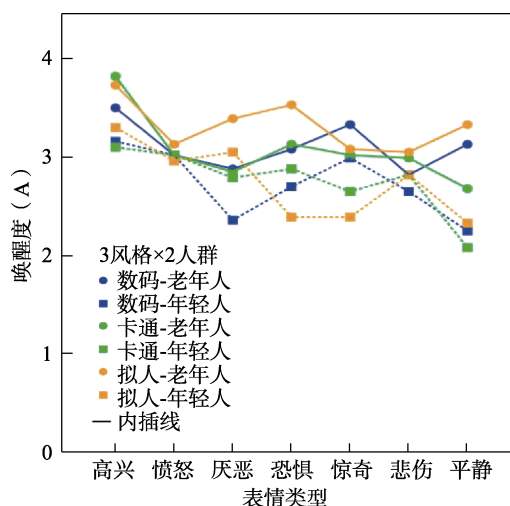


图 7 老年人和年轻人对各表情刺激材料的唤醒度
Fig.7 The arousal of the elderly and young people to each facial expression stimulation materials

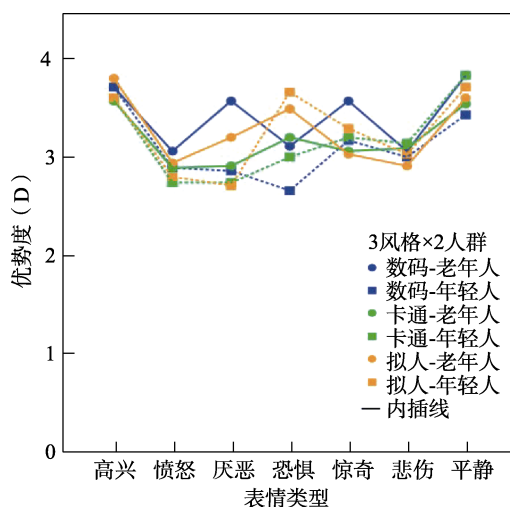


图 8 老年人和年轻人对各表情刺激材料的优势度
Fig.8 The dominance of the elderly and young people to each facial expression stimulation materials

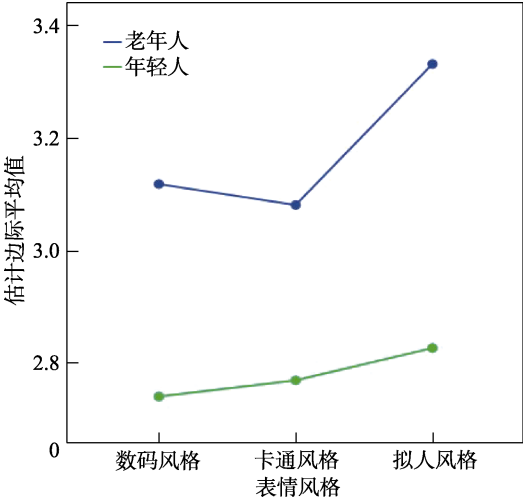
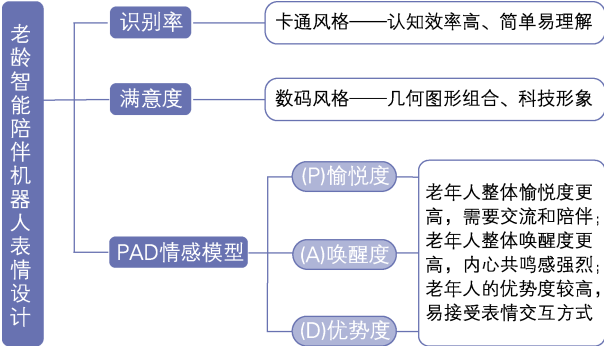


图 9 老年人和年轻人对表情风格的唤醒度方差分析
Fig.9 Variance analysis of the arousal of expression style between the elderly and the young



- 40(4): 888-892.
- ZHANG Yun-ying, MA Wen-wen. The Hot Spot and Frontier Analysis of Domestic Intelligent Elderly Care Research Based on Scientific Knowledge Map[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2020, 40(4): 888-892.
- [4] MATTHEWS G, HANCOCK P A, LIN J, et al. Evolution and Revolution: Personality Research for the Coming World of Robots, Artificial Intelligence, and Autonomous Systems[J]. Personality and Individual Differences, 2020.
- [5] MANNHEIM I, SCHWARTZ E, XI W, et al. Inclusion of Older Adults in the Research and Design of Digital Technology[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(19): 3718.
- [6] 李强, 徐刚, 张震. 城市高龄独居老人的孤独感及其影响因素研究[J]. 华东师范大学学报(哲学社会科学版), 2019, 51(3): 160-171.
- LI Qiang, XU Gang, ZHANG Zhen. Loneliness and Its Correlates among the Aged People Living Alone in Urban Areas[J]. Journal of East China Normal University (Humanities and Social Sciences), 2019, 51(3): 160-171.
- [7] 王兵, 杨逸彤, 曹宜璠. 上海市社区独居老人的心理健康状况[J]. 中国老年学杂志, 2019, 39(8): 1987-1989.
- WANG Bing, YANG Yi-tong, CAO Yi-fan. Mental Health Status of Old People Living Alone in Shanghai Community[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2019, 39(8): 1987-1989.
- [8] 谷利斌, 徐德国, 何贵蓉, 等. 社区独居老人孤独现状和相关影响因素的调查[J]. 南京中医药大学学报(社会科学版), 2019, 20(2): 112-116.
- GU Li-bin, XU De-guo, HE Gui-rong, et al. A Survey on the Loneliness Status of the Elderly Living Alone in the Community and Related Influencing Factors[J]. Journal of Nanjing University of Traditional Chinese Medicine (Social Science Edition), 2019, 20(2): 112-116.
- [9] 桂世勋. 独居老人广义居家养老保障状况及其精准关爱——基于中国大城市城区 70 岁及以上独居老人的问卷调查[J]. 华东师范大学学报(哲学社会科学版), 2019, 51(3): 141-151.
- GUI Shi-xun. Home Care Security and Targeted Care for the Elderly Living Alone in a Broad Sense: Based on Questionnaire of the Elderly Aged 70 and above Who Live Alone in Urban Areas of Big Cities in China[J]. Journal of East China Normal University (Humanities and Social Sciences), 2019, 51(3): 141-151.
- [10] 马华, 罗仕鉴. 面向精神养老的 SpNQ 多维度体验研究[J/OL]. 包装工程: 1-14[2020-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200310.1152.002.html>.
- MA Hua, LUO Shi-jian. Multi-dimensional Research on The Elderly's Experience in Spiritual Life with SpNQ Method[J/OL]. Packaging Engineering: 1-14[2020-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200310.1152.002.html>.
- [11] 赵雅婷, 赵韩, 梁昌勇, 等. 养老服务机器人现状及其发展建议[J]. 机械工程学报, 2019, 55(23): 13-24.
- ZHAO Ya-ting, ZHAO Han, LIANG Chang-yong, et al. Current Situation and Development Suggestions of Old-age Service Robot[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2019, 55(23): 13-24.
- [12] 冷敏敏, 张萍, 胡明月, 等. 宠物机器人在老年痴呆患者照护中的应用进展[J]. 中华护理杂志, 2018, 53(12): 1498-1503.
- LENG Min-min, ZHANG Ping, HU Ming-yue, et al. Progress in the Application of Pet Robot in the Care of Senile Dementia Patients[J]. Chinese Journal of Nursing, 2018, 53(12): 1498-1503.
- [13] 李思佳, 倪士光, 王学谦, 等. 社会辅助型机器人: 探索老年心理健康护理的新方法[J]. 中国临床心理学杂志, 2017, 25(6): 1191-1196.
- LI Si-jia, NI Shi-guang, WANG Xue-qian, et al. Socially Assistive Robot: Explore a New Method of Psychological Healthcare for the Elderly[J]. Chinese Journal of Clinical Psychology, 2017, 25(6): 1191-1196.
- [14] REYES M, MEZA I, PINEDA L A, et al. Robotics Facial Expression of Anger in Collaborative Human-robot Interaction[J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2019, 16(1).
- [15] 黄忠. 类机器人表情识别与表情再现方法研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.
- HUANG Zhong. Facial Expression Recognition and Representation Method for Humanoid Robot[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016.
- [16] 柯显信, 尚宇峰, 卢孔笔. 仿人情感交互表情机器人研究现状及关键技术[J]. 智能系统学报, 2013, 8(6): 482-488.
- KE Xian-xin, SHANG Yu-feng, LU Kong-bi. Analysis of the Present Research Status and Key Technology of the Humanoid Emotion-interactive Countenance Robot[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2013, 8(6): 482-488.
- [17] 柯显信, 柏垠, 唐文彬. 仿人面部表情机器人研究现状与展望[J]. 机械设计, 2009, 26(11): 5-8.
- KE Xian-xin, BAI Yin, TANG Wen-bin. Research Status and Prospect of Humanoid Facial Expression Robot[J]. Journal of Machine Design, 2009, 26(11): 5-8.
- [18] 李伟池. 助老服务机器人人脸表情识别系统的设计与研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2013.
- LI Wei-chi. The Research and Design on Human Facial Recognizing System of Service Reboot[D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2013.
- [19] GE S S, WANG C, HANG C C, et al. Facial Expression Imitation in Human Robot Interaction[C]. Robot and Human Interactive Communication, 2008: 213-218.
- [20] 吕菲, 林知桦, 席瑞, 等. 基于文献分析的机器人面部表情评估量表研究[J]. 包装工程, 2020, 41(6): 32-42.
- LYU Fei, LIN Zhi-hua, XI Rui, et al. Evaluation Scales Study for Robot Facial Expressions Based on Literature Analysis[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(6): 32-42.
- [21] 颜洪, 刘佳慧, 覃京燕. 人工智能语境下的情感交互设计[J]. 包装工程, 2020, 41(6): 13-19.

- YAN Hong, LIU Jia-hui, QIN Jing-yan. Emotional Interaction Design in Artificial Intelligence Context[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(6): 13-19.
- [22] MELINTE DO, VLADAREANU L. Facial Expressions Recognition for Human-robot Interaction Using Deep Convolutional Neural Networks with Rectified Adam Optimizer[J]. Sensors, 2020, 20: 2393.
- [23] 何人可, 王玥虹, 马超民. 家用服务机器人人机交互亲密度意象研究[J/OL]. 包装工程: 1-8[2020-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200316.1436.063.html>.
HE Ren-ke, WANG Yue-hong, MA Chao-min. Intimacy and Perceptual Imagery of Home-use Robot Interaction[J/OL]. Packaging Engineering: 1-8[2020-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200316.1436.063.html>.
- [24] 陈灏龙, 何人可. 基于AHP和生理电的机器人语音交互认知负荷评价[J/OL]. 包装工程: 1-11[2020-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200313.1723.029.html>.
CHEN Hao-long, HE Ren-ke. Robot Voice Interaction Cognitive Load Evaluation Based on AHP and Physiological Signal[J/OL]. Packaging Engineering: 1-11[2020-04-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1094.TB.20200313.1723.029.html>.
- [25] 孙凌云, 张于扬, 周志斌, 等. 以人为中心的智能产品设计现状和发展趋势[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 1-6.
SUN Ling-yun, ZHANG Yu-yang, ZHOU Zhi-bin, et al. Current Situation and Development Trend of Intelligent Product Design under the Background of Human-centered AI[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 1-6.
- [26] 刘梦非, 凌亚利, 何人可. 智慧养老领域隐式交互的应用现状及前景[J]. 包装工程, 2020, 41(2): 13-20.
LIU Meng-fei, LING Ya-li, HE Ren-ke. Application Status and Prospects of Implicit Interaction in the Field of Smart Care for the Aged[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(2): 13-20.
- [27] 王秋惠, 张一凡, 刘力蒙. 老齡服务机器人人机界面设计研究进展[J]. 机械设计, 2018, 35(9): 105-113.
WANG Qiu-hui, ZHANG Yi-fan, LIU Li-meng. Advance in Human-robot Interface design of service robot for the elderly[J]. Journal of Machine Design, 2018, 35(9): 105-113.
- [28] 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.
- [29] GUO F, LI M, QU Q, et al. The Effect of a Humanoid Robot's Emotional Behaviors on Users' Emotional Responses: Evidence from Pupillometry and Electroencephalography Measures[J]. International Journal of Human-computer Interaction, 2019, 35(20): 1947-1959.
- [30] 丁满, 袁梦娟, 白仲航, 等. 基于用户无意识行为的服务机器人交互设计[J]. 包装工程, 2018, 39(10): 91-95.
DING Man, YUAN Meng-juan, BAI Zhong-hang, et al. Interaction Design of Service Robot Based on User's Unconscious Behavior[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(10): 91-95.
- [31] EKMAN P. What Scientists Who Study Emotion Agree About[J]. Perspectives on Psychological Science, 2016, 11(1): 31-34.
- [32] EKMAN P. An Argument for Basic Emotions[J]. Cognition & Emotion, 1992: 169-200.
- [33] IZARD C E. Human Emotions[M]. New York: Plenum Press, 1977.
- [34] PLUTCHIK R. Emotion: a Psyche-evolutionary Synthesis[M]. New York: Harper & Row Publishers, 1980.
- [35] 刘静, 任艳萍, 屈威, 等. 中国人面孔表情强度分级图片库的建立[J]. 中国心理卫生杂志, 2019, 33(2): 120-125.
LIU Jing, REN Yan-ping, QU Wei, et al. Establishment of the Chinese Facial Emotion Images Database with Intensity Classification[J]. Chinese Mental Health Journal, 2019, 33(2): 120-125.
- [36] 许贵芳, 韩布新. 中国老年人面孔表情图片库——有效性及信度评估[C]. 天津: 第十八届全国心理学学术会议, 2015.
XU Gui-fang, HAN Bu-xin. A Database of Facial Expressions in Older Chinese People: Validity and Reliability[C]. Tianjin: 18th National Psychological Academic Conference, 2015.
- [37] 龚栩, 黄宇霞, 王妍, 等. 中国面孔表情图片系统的修订[J]. 中国心理卫生杂志, 2011, 25(1): 40-46.
GONG Xu, HUANG Yu-Xia, WANG Yan, et al. Revision of the Chinese Facial Affective Picture System[J]. Chinese Mental Health Journal, 2011, 25(1): 40-46.
- [38] GRAY K, WEGNER D M. Feeling Robots and Human Zombies: Mind Perception and the Uncanny Valley[J]. Cognition, 2012, 125(1): 125-130.
- [39] EBNER N C, RIEDIGER M, LINDENBERGER U, et al. FACES: a Database of Facial Expressions in Young, Middle-aged, and Older Women And Men: Development and Validation[J]. Behavior Research Methods, 2010, 42(1): 351-362.
- [40] RUSSELL J A, MEHRABIAN A. Evidence for a Three-factor Theory of Emotions[J]. Journal of Research in Personality, 1977, 11(3): 273-294.
- [41] BETELLA A, VERSCHURE P F. The Affective Slider: a Digital Self-assessment Scale for the Measurement of Human Emotions[J]. PLOS ONE, 2016, 11(2).
- [42] GEETHANJALI B, ADALARASU K, HEMAPRABA A, et al. Emotion Analysis Using SAM (Self-Assessment Manikin) Scale[J]. Biomedical Research-Tokyo, 2017: 18-24.