

基于文献分析的机器人面部表情评估量表研究

吕菲^{1,2}, 林知桦¹, 席瑞¹, 何思南³, 周茉莉³, 关岱松³

(1.北京邮电大学 数字媒体与设计艺术学院, 北京 100876; 2.网络系统与网络文化北京市重点实验室 (北京邮电大学), 北京 100876; 3.百度在线网络技术(北京)有限公司, 北京 100193)

摘要: **目的** 随着机器人交互技术的不断发展, 研究者们开始针对机器人与人之间的情感交流展开探索, 机器人面部表情设计成为研究的热点。为了推动人与机器人的互动交流, 研究者需要构造能够被人们接受的机器人面部表达方式。然而, 到目前为止, 关于人对机器人面部表情感知的评估机制还缺乏相对系统的分析和总结, 因此, 希望通过对机器人面部表情评估量表的分析 and 归纳, 为设计师在不同情境下选择合适的评估方法, 提供指导建议。**方法** 采用文献调研方法, 选取五十一篇相关文献进行综述分析, 从而梳理和分析适用于机器人面部表情评估的量表。文献关键词包含机器人面部表情设计、机器人面部表情评估、机器人情绪评估量表等, 文献主要来自于 ACM、Springer、IEEE 等数据库, 文献发表的年度范围是 1977~2019 年。通过文献调研分析, 提取了六类最重要的机器人面部表情评估量表, 包括同理心量表、心理状态三维度量表、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的量表和李克特量表等, 详细阐述了每类量表中的具体形式及其变种。从设计要点、来源领域及评估角度三个方面分析了六类评估量表的特点。最后形成了机器人面部表情评估量表的适用建议。**结论** 对机器人面部表情评估量表进行归类、总结, 并且提出了每个量表的适用阶段和情境。

关键词: 机器人; 面部表情; 评估量表; 情绪评估; 文献综述

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)06-0032-11

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.06.006

Evaluation Scales Study for Robot Facial Expressions Based on Literature Analysis

LYU Fei^{1,2}, LIN Zhi-hua¹, XI Rui¹, HE Si-nan³, ZHOU Mo-li³, GUAN Dai-song³

(1. School of Digital Media and Design Arts, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China; 2. Beijing Key Laboratory of Network System and Network Culture (Beijing University of Posts and Telecommunications), Beijing 100876, China; 3. Baidu Online Network Technology (Beijing) Co., Ltd., Beijing 100193, China)

ABSTRACT: With the development of robot interaction technology, researchers begin to explore the emotional communication between humans and robots, and the design of robot facial expressions has become a hot topic. In order to promote interaction between humans and robots, researchers need to design the form of robot facial expressions that can be accepted by people. However, till now, the evaluation mechanism of human perception on the robot facial expressions has not been systematically analyzed and summarized, so the work aims to provide guidance and suggestions for designers to choose appropriate evaluation methods in different situations through the analysis and summary on the evaluation scales of robot facial expressions. The method of literature research was adopted to select 51 publications for review and analysis, so as to sort out the scales suitable for the evaluation of robot facial expressions. The key words include robot facial expression design, robot facial expression evaluation, robot emotion evaluation scale, etc. The publications were collected from ACM, Springer, IEEE and other databases, published from 1977 to 2019. Through the analysis by literature survey,

收稿日期: 2020-01-29

基金项目: 国家自然科学基金(61972045); 北京市社会科学基金(18ZDA08); 百度在线网络技术(北京)有限公司《儿童智能设备表情交互设计原则探究》项目

作者简介: 吕菲(1984—), 女, 河南人, 博士, 北京邮电大学数字媒体与设计艺术学院副教授, 网络系统与网络文化北京市重点实验室(北京邮电大学)成员, 主要研究方向为人机交互。

six most important evaluation scales of robot facial expressions were selected, including empathy scales, scale of three-factor theory of emotions, robot anxiety scale, positive and negative affect schedule, scale of human perception of robots and Likert scale. Then, the characteristics of each evaluation scale were analyzed from three aspects: the design points, the original application field and the evaluation views. Finally, the applicable recommendations of evaluation scales for robot facial expression design were proposed. The robot facial expression evaluation scales were classified and summarized and the applicable stage and situation of each scale were put forward.

KEY WORDS: robot; facial expression; evaluation scale; emotion evaluation; literature review

在人类社会中,语言沟通是人际交往与情感表达的主要表现方式。然而在许多场景下,非语言沟通也能起到传递信息和表达情感的作用,面部表情就是非语言沟通的一种重要表现形式。随着人机交互技术的发展,研究者们开始尝试设计具有情感表达能力的机器人,因此,机器人面部表情逐渐成为研究的热点。然而,目前关于人对机器人面部表情感知的评估机制还缺乏相对系统的分析和总结,如何在不同条件与情境下选用合适的机器人面部表情评估方法已成为亟待解决的关键问题。本文通过调研及梳理现有的与机器人面部表情设计相关的文献,重点探究文献中提及的机器人面部表情评估量表,为之后研究者评估机器人面部表情提供指导建议。

1 机器人面部表情评估量表

本文选取机器人面部表情设计、机器人面部表情评估、机器人情绪评估量表等关键词,在 ACM、Springer、IEEE 等数据库中进行检索,共收集了七十二篇与机器人面部表情研究相关的文献,排除以表情识别技术介绍为主导的文献后,最终选取了五十一篇文章作为文献综述的分析对象。这五十一篇文章发表的年度范围是 1977~2019 年。

在五十一篇文章中,定量分析研究共计四十六篇,定性分析研究共计四篇,还包括一篇机器人面部情绪表达的文献综述^[1]。通过文献分析,发现问卷法是最主要的机器人面部表情评估方法,在现有研究的问卷中所使用的量表类型基本包括六种,即同理心量表、心理状态三维度量表、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。下文将具体介绍这六种评估量表。

1.1 同理心量表

同理心量表,又称共情量表或移情量表,能够被应用于以下三个场景中:(1)帮助研究者在评估机器人面部表情之前,测试用户是否具有同理心;(2)在机器人面部表情评估实验之后,检验同理心因素是否影响到实验结果;(3)能够用于测试被试是否认为机器人具有同理心的实验场景。文献中提及的与测试用户同理心相关的量表有三种,分别是多伦多同理心问卷^[2](Toronto Empathy Questionnaire, TEQ)、人际反应指数^[3](Interpersonal Reactivity Index, IRI)和

McGill 友谊问卷^[4]。

1.1.1 TEQ 量表

TEQ 量表将同理心描述为一个情感过程,涵盖了与同理心相关的广泛属性。TEQ 量表见图 1^[2]。每份 TEQ 量表共设有十六个问题,且总分从 0 分(完全没有同理心)到 64 分(完全同理心)不等^[2]。Naicole Mirnig 等人^[5]在评估机器人面部表情之前,要求被试完成 TEQ 量表,其目的在于探讨人的同理心的差异。该量表被纳入研究的原因在于需要确保被试在一个平衡的共情量范围内,以及获得在同理心方面普通人和同理心低于平均水平的人之间存在的差异。Christiana Tsiourti 等人^[6]在分析机器人所表达的情绪是否被准确识别的过程中,排除了所有共情倾向低于 TEQ 量表阈值的参与者的所有评分,以此来查看卡方检验的结果是否会得到改善,换句话说,即测试被试的同理心是否影响了识别任务中正确情绪的分配。

1.1.2 IRI 量表

许多研究者将同理心视为多维结构,而 IRI 量表能够挖掘并描述同理心的四个维度,即将其分为四个子量表:(1)换位思考(Perspective-Taking, PT)——用于测量自主采纳他人观点的倾向;(2)幻想(Fantasy, FS)——用于测量将自己想象为书籍、电影和游戏角色的倾向;(3)共情关怀(Empathic Concern, EC)——用于测量对于他人不幸的同情或关心;(4)个人痛苦(Personal Distress, PD)——用

1. When someone else is feeling excited, I tend to get excited too
2. Other people's misfortunes do not disturb me a great deal
3. It upsets me to see someone being treated disrespectfully
4. I remain unaffected when someone close to me is happy
5. I enjoy making other people feel better
6. I have tender, concerned feelings for people less fortunate than me
7. When a friend starts to talk about his/her problems, I try to steer the conversation towards something else
8. I can tell when others are sad even when they do not say anything
9. I find that I am "in tune" with other people's moods
10. I do not feel sympathy for people who cause their own serious illnesses
11. I become irritated when someone cries
12. I am not really interested in how other people feel
13. I get a strong urge to help when I see someone who is upset
14. When I see someone being treated unfairly, I do not feel very much pity for them
15. I find it silly for people to cry out of happiness
16. When I see someone being taken advantage of, I feel kind of protective towards him/her

图 1 TEQ 量表
Fig.1 TEQ scale

于测量个人焦虑和人际关系紧张的情绪。每个子量表下又包括了七个问题,共计二十八个问题^[3]。Amol Deshmukh 等人^[7]在进行儿童与机器人交互评估时,为了确定机器人是否被认为具有同理心,向用户提出了“有时候当我遇到问题时,机器人并不为我感到难过”等问题,这类问题的设计就改编自 IRI 量表。

1.1.3 McGill 友谊问卷

McGill 友谊问卷包含两部分的内容。一部分是测量调查对象对朋友的感觉和对友谊的满意度;另一部分是测量调查对象对朋友履行六种友谊功能(刺激关系、帮助、亲密度、可靠联盟、自我肯定和情感安全感)的程度。McGill 友谊问卷第一部分的应用度不高,主要是第二部分内容包含的友谊功能评估量表受到了学者关注,该量表的目的是量化一个朋友在多大程度上能够完成大多数友谊定义中存在的功能,包括以下六个主题:刺激关系——一起做愉快、有趣或令人兴奋的事情;帮助——提供指导、援助;亲密度——对他人的需求和状态敏感,对思想、感情和个人信息的诚实表达持有开放态度;可靠联盟——保持可得到和忠诚;自我肯定——安慰、鼓励,并且以其他方式帮助他人保持积极的自我形象;情感安全感——在新奇或危险的情况下提供安慰和信心,每个主题又包括了具体的题目^[4]。

Iolanda Leite 等人^[8]在论文中提及,为了定量测量移情行为对被试与 iCat 机器人^[9-11]之间关系的影响,从 McGill 友谊问卷中获得了评估参考。其中,机器人通过面部表情和语言来表现自身的移情能力。研究者表示在短时间内,人类和机器人无法建立起类

似于人类和人类之间的友谊关系。然而,由于共情是人们在友谊中看重的一个特征^[12],通过单独分析友谊功能,能够获得一些改善人类和机器人之间长期互动的指标,因此,研究人员采用了 McGill 友谊问卷的第二部分,用于评估具有同理心的被试对机器人友谊功能的表现程度,选项则采用李克特 5 分量表项目,从 1 分(完全不同意)到 5 分(完全同意),McGill 友谊问卷的题目见表 1^[8]。研究也发现被试对于具有移情能力的机器人表现得更加友好。

1.2 心理状态三维度量表

心理状态三维度测量方式(PAD)是 James A. Russell^[13-14]提出的概念,他将心理状态分为三个维度,即兴奋度(Pleasure)、唤醒度(Arousal)和可控性(Dominance),这三个维度是描述各种情绪状态的充分和必要条件。James A. Russell 对两百名被试进行了实验,将四十二个口头报告情绪量表的实验数据作为分析对象,以此证明将心理状态划分为三维度的可靠性。Tadas Baltrušaitis^[15]等人为了确定机器人在不同的表达方式下所传达的情感信息的数量,运用这三个维度,对要测试的五个心理状态进行评估,并且发现,所选的心理状态在兴奋度、唤醒度和可控性三个维度上是不平衡的。在所测试的五个心理状态中,其中三个是高兴奋度(感兴趣、快乐、惊讶);四个是高唤醒度(感兴趣、快乐、惊讶、困惑);两个是高可控性(感兴趣、快乐)。心理状态三维度能够帮助研究者了解机器人面部表情的情绪表达中所包含的情感信息数量,并检测一些难以区分的情绪的差异性。Russell 对不同情绪在三个维度上的测量数据见表 2^[13]。

表 1 McGill 友谊问卷的题目
Tab.1 Items of McGill friendship questionnaires

Function	Assertions	Supportive		Against	
		M	SD	M	SD
Stimulating Companionship	I had fun playing with iCat by my side.	4.4	0.5	4.0	1.2
	iCat behaved as my companion during the game.	3.6	0.7	2.9	0.8
	iCat made me laugh.	4.8	0.4	4.8	0.9
	I enjoyed talking to iCat.	3.4	1.2	2.6	1.2
Help	It was nice being with iCat.	4.0	0.7	3.8	0.7
	iCat helped me during the game.	3.0	1.0	3.1	0.8
	iCat's comments were useful to me.	3.8	0.8	3.8	0.7
	iCat showed me how to do things better.	2.7	1.1	2.7	1.4
Intimacy	iCat's comments were helpful to me.	3.0	1.2	2.9	1.1
	iCat knew when something was bothering me.	2.9	1.2	2.1	1.0
Reliable Alliance	iCat knew when I was upset.	2.9	1.2	2.1	0.8
	iCat was loyal to me.	4.1	0.7	3.1	1.2
	iCat would still be my friend if we did not see each other for several months.	3.6	1.0	2.7	1.2
Self- Validation	iCat would still be my friend even when we did not agree on something.	4.0	0.8	3.3	1.1
	iCat encouraged me to play better during the game.	4.0	0.7	2.9	1.3
	iCat praised me when I played well.	4.8	0.4	4.3	0.7
	iCat made me feel intelligent.	3.4	1.0	2.8	0.9
	I felt that I could play better in the presence of iCat.	3.9	0.9	3.8	0.9
Emotional Security	iCat enhanced the aspects that I am good at.	3.4	1.1	3.1	0.9
	iCat made me feel special.	2.6	0.9	2.7	1.0
	If I were worried, iCat would make me feel better.	3.0	1.0	2.7	1.2
	If I were nervous, iCat would make me feel more calm.	3.4	1.1	3.0	1.4
	If I were upset, iCat would make me feel better.	3.3	1.0	3.0	1.3

表 2 Russell 对不同情绪在三个维度上的测量数据
Tab.2 Data of different emotions on three dimensions measured by Russell

Term	N	Pleasure		Arousal		Dominance	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
1. Bold	27	0.44*	0.32	0.61*	0.24	0.66*	0.30
2. Useful	27	0.70*	0.20	0.44*	0.28	0.47*	0.40
3. Mighty	27	0.48*	0.37	0.51*	0.28	0.69*	0.31
4. Kind	27	0.73*	0.22	0.19*	0.32	0.62*	0.27
5. Self-satisfied	27	0.86*	0.10	0.20	0.40	0.62*	0.31
6. Admired	29	0.81*	0.21	0.44*	0.30	0.51*	0.34
7. Proud	29	0.77*	0.21	0.38*	0.34	0.65*	0.33
8. Interested	29	0.64*	0.20	0.51*	0.21	0.17	0.40
9. Arrogant	29	0.00	0.51	0.34*	0.44	0.48*	0.34
10. Inspired	29	0.71*	0.30	0.63*	0.21	0.34*	0.55
11. Excited	29	0.62*	0.25	0.75*	0.20	0.38*	0.29
12. Influential	28	0.68*	0.23	0.40*	0.33	0.75*	0.18
13. Aggressive	28	0.41*	0.30	0.63*	0.25	0.62*	0.24
14. Strong	28	0.58*	0.24	0.48*	0.30	0.62*	0.30
15. Dignified	28	0.55*	0.27	0.22*	0.40	0.61*	0.30
16. Powerful	28	0.54*	0.26	0.45*	0.36	0.73*	0.25
17. Elated	28	0.50*	0.47	0.42*	0.14	0.23*	0.36
18. Hopeful	29	0.51*	0.30	0.23*	0.33	0.14	0.41
19. Triumphant	29	0.69*	0.23	0.57*	0.19	0.63*	0.26
20. Joyful	29	0.76*	0.22	0.48*	0.26	0.35*	0.31
21. Capable	29	0.70*	0.24	0.28*	0.27	0.61*	0.31
22. Lucky	30	0.71*	0.19	0.48*	0.30	0.37*	0.29
23. Responsible	30	0.35*	0.29	0.38*	0.26	0.49*	0.37
24. Friendly	30	0.69*	0.23	0.35*	0.28	0.30*	0.27
25. Masterful	30	0.58*	0.25	0.44*	0.27	0.69*	0.25
26. Free	30	0.81*	0.14	0.24*	0.38	0.46*	0.33
27. Devoted	30	0.49*	0.25	0.17*	0.27	0.10	0.37
28. Domineering	27	0.23*	0.37	0.40*	0.21	0.58*	0.26
29. Aroused	30	0.24*	0.28	0.57*	0.26	0.22*	0.33
30. Concentrating	28	0.42*	0.25	0.28*	0.27	0.39*	0.31
31. Happy	29	0.81*	0.21	0.51*	0.26	0.46*	0.38
32. Egotistical	29	0.24*	0.34	0.32*	0.25	0.50*	0.31
33. Carefree	29	0.78*	0.21	0.25*	0.39	0.41*	0.31
34. Affectionate	29	0.64*	0.26	0.35*	0.34	0.24*	0.40
35. Vigorous	30	0.58*	0.22	0.61*	0.23	0.49*	0.24
36. Activated	30	0.42*	0.26	0.58*	0.21	0.38*	0.28
37. Alert	30	0.49*	0.25	0.57*	0.20	0.45*	0.26
38. Alone with responsibility	30	0.33*	0.34	0.34*	0.37	0.48*	0.36
39. Controlling	30	0.47*	0.26	0.34*	0.23	0.66*	0.25
40. Proud and lonely	27	0.01	0.43	0.02	0.32	0.26*	0.40
41. Enjoyment	30	0.77*	0.17	0.44*	0.26	0.42*	0.29
42. Serious	30	0.27*	0.22	0.24*	0.27	0.42*	0.27
43. Cooperative	31	0.39*	0.32	0.13*	0.27	0.03	0.34
44. Thankful	27	0.61*	0.25	0.10	0.34	-0.13	0.35

以 Russell 的心理状态三维度为理论基础, SAM (Self-Assessment Manikin Questionnaire) 是一种非语言的图像评估技术。它直接测量与用户对各种刺激的情感反应相关的兴奋度、唤醒度和可控性。SAM 问卷 5 分选项见图 2^[5]。在许多情况下, 该问卷作为简单且低成本的测试方法, 被用于快速评估情感反应^[16]。研究者们也尝试将 SAM 应用于机器人的研究中。Nicole Mirnig 等人^[5]对每个视频进行了 SAM 问卷分析, 每个视频显示了一种情绪状态并对情绪进行描述性解释。此外, 还比较了不同类型的机器人, 例如 EDDIE 机器人^[17]、IURO 机器人和真实人类之间表达的情绪是否在 SAM 评分上有所不同。还有 Vasiliki Vouloutsi 等人^[18]为关注类人机器人面部表情的可读性, 运用 SAM 和情感滑块工具^[19] (The Affective Slider, AS) 进行了在线调查, 以此评估情绪刺激和 iCub 机器人的表情。其中, AS 最初是用于测量人类情感的数字化自我报告量表^[19], 在这里配合 SAM 来评估 iCub 机器人面部表情的识别率。SAM 和 AS 结合量表设计见图 3^[18]。图 3 中, 上方是 SAM, 下面的黑色滑块是 AS。

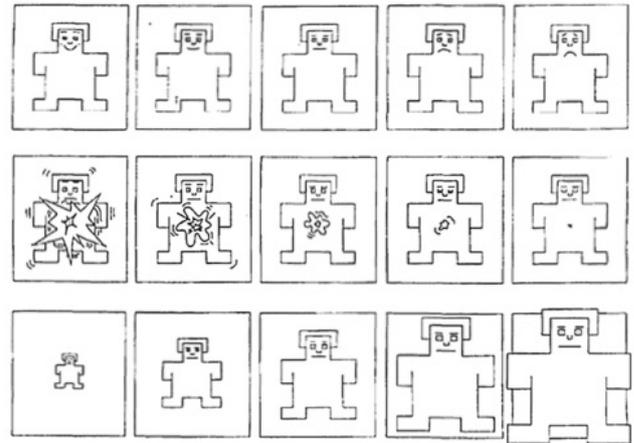


图 2 SAM 问卷 5 分选项
Fig.2 Five options of SAM

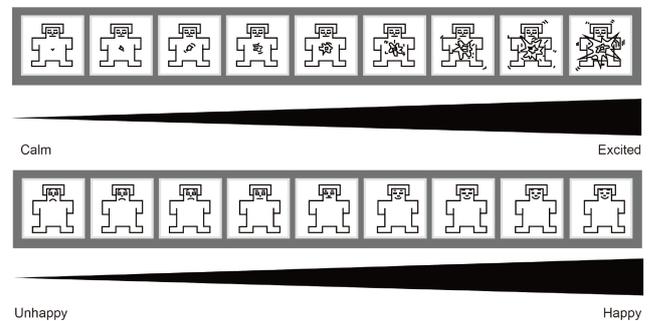


图 3 SAM 和 AS 结合量表设计
Fig.3 Evaluation scale combined by SAM and AS

由于面部表情与面部动作单元^[20] (又称为自由度^[21-22]) 有直接关系, 细微的动作单元变化会产生不同的情绪表达^[23-24], 而 SAM 作为直观的评估机器人面部表情的工具, 能够快速、有效地帮助研究者获取不同情绪之间的差异, 以及评估面部表情设计的可识别情况。

1.3 机器人焦虑量表

计算机焦虑 (Computer Anxiety) 被认为是用户在使用计算机或思考使用计算机的意义时产生的一种焦虑感, 它是计算机教育面临的一个重要问题^[25]。基于这个概念, Tatsuya Nomura 等人^[25]认为, 由于机器人是由各种硬件, 如电机、传感器, 以及计算机内部控制机制协同工作所构成的, 因此, 也有可能使用户产生类似于计算机焦虑的感受。为了测量人对机器人的焦虑状况, 研究者提出了机器人焦虑量表 (Robot Anxiety Scale, RAS), 见图 4^[25]。该量表包括十八个项目, 其中包括五个从属量表, 即对机器人社会影响力的焦虑、对与机器人互动的焦虑、对与机器人互动的控制的焦虑、对与机器人互动的情感的焦虑、对机器人可靠性的焦虑^[25]。Casey C. Bennett 等人^[26]在要求被试识别六种表情并评估表情的强度时, 采用了该量表中的问题, 用于评估他们认为机器人可能会表现

Table 1: All the Questionnaire Items in the First Version of Robot Anxiety Scale (*: inversive items)

1	I feel anxiety if robots really have their own emotions.
2	I fear interacting with robots actively.
3	Robots are useful machines complementing humans' defects.*
4	I surmise that something negative for humans happen when robots become more similar to humans.
5	I will be able to be relaxed if I interact with robots.*
6	I feel anxiety when I imagine that I may be employed and assigned to a workplace where robots should be used.
7	I will be familiar with robots if they have their own emotions.*
8	I am mentally healed when I see robots behaving affectively.*
9	I am left helpless even by hearing something on robots.
10	I am likely to bring shame on myself when I use robots in public.
11	The words "artificial intelligence" or "decision by robots" make me feel unpleasant.
12	Even standing in front of robots will strain me.
13	Communication between humans and robots will stimulate and activate that between humans themselves as a result.*
14	I surmise that extreme dependence on robots may cause something negative for humans in future.
15	Robots are likely to be more honest and reliable than humans.*
16	I will feel nervous if I interact with robots.
17	I am afraid that robots may negatively influence children's mind.
18	I surmise that future societies may be dominated by robots.

图4 RAS
Fig.4 RAS

The PANAS

This scale consists of a number of words that describe different feelings and emotions. Read each item and then mark the appropriate answer in the space next to that word. Indicate to what extent [INSERT APPROPRIATE TIME INSTRUCTIONS HERE]. Use the following scale to record your answers.

1	2	3	4	5
very slightly or not at all	a little	moderately	quite a bit	extremely
	_____ interested		_____ irritable	
	_____ distressed		_____ alert	
	_____ excited		_____ ashamed	
	_____ upset		_____ inspired	
	_____ strong		_____ nervous	
	_____ guilty		_____ determined	
	_____ scared		_____ attentive	
	_____ hostile		_____ jittery	
	_____ enthusiastic		_____ active	
	_____ proud		_____ afraid	

We have used PANAS with the following time instructions:

Moment	(you feel this way right now, that is, at the present moment)
Today	(you have felt this way today)
Past few days	(you have felt this way during the past few days)
Week	(you have felt this way during the past week)
Past few weeks	(you have felt this way during the past few weeks)
Year	(you have felt this way during the past year)
General	(you generally feel this way, that is, how you feel on the average)

Received May 10, 1987
Revision received September 14, 1987
Accepted November 11, 1987 ■

图5 David Watson 设计的 PANAS
Fig.5 PANAS designed by David Watson

出的任何“其他”与焦虑有关的情绪。Casey C. Bennett 等人^[27]基于 RAS 量表，提出了机器人负面态度量表 (The Negative Attitudes toward Robot Scale, NARS)，并在实体机器人和虚拟机器人的情绪识别率^[28-29]和评价比较实验之前，用该量表进行了测试，发现被试对两类机器人的消极看法并未对实验结果造成显著差异。

在评估机器人面部表情的情绪表达效果^[30]时，可以在用户与机器人互动时，直接采用机器人焦虑量表的题目来测量产生的与焦虑相关的情绪数据。

1.4 积极—消极自我报告量表

积极—消极自我报告量表 (Positive and Negative Affect Schedule, PANAS) 包含了积极情绪 (Positive

Affect, PA) 和消极情绪 (Negative Affect, NA) 两个子量表，而每个子量表由十个项目组成。PA 量表由兴奋、热情、专注、灵感和决心组成，而 NA 量表由焦虑、不安、害怕、紧张和害怕组成^[31]。David Watson 等人^[32]在论文中表明，PA 反映了一个人感到热情、活跃和警觉的程度。高 PA 是一种精力充沛、全神贯注和愉快参与的状态，而低 PA 则表现为悲伤和昏睡的特征。相反，消 NA 是主观痛苦和不愉快参与的一个普遍维度，它包含了各种厌恶情绪状态，包括愤怒、蔑视、厌恶、内疚、恐惧和紧张，低 NA 是一种平静的状态。在文章最后，作者给出了 PANAS 的二十个项目。David Watson 设计的 PANAS 见图 5^[32]。Claudia Faita 等人^[33]在研究中提及将 PANAS 用作自我报告问卷，以评估参与者在与做出不同面部表情的机器人进



图 6 Claudia Faita 实验所用的 PANAS
Fig.6 PANAS used by Claudia Faita

GODSPEED I: ANTHROPOMORPHISM						
Please rate your impression of the robot on these scales:						
以下のスケールに基づいてこのロボットの印象を評価してください。						
Fake 偽物のような	1	2	3	4	5	Natural 自然な
Machinelike 機械的	1	2	3	4	5	Humanlike 人間的
Unconscious 意識を持たない	1	2	3	4	5	Conscious 意識を持っている
Artificial 人工的	1	2	3	4	5	Lifelike 生物的
Moving rigidly ぎこちない動き	1	2	3	4	5	Moving elegantly 洗練された動き
GODSPEED II: ANIMACY						
Please rate your impression of the robot on these scales:						
以下のスケールに基づいてこのロボットの印象を評価してください。						
Dead 死んでいる	1	2	3	4	5	Alive 生きている
Stagnant 活気のない	1	2	3	4	5	Lively 生き生きとした
Mechanical 機械的な	1	2	3	4	5	Organic 有機的な
Artificial 人工的な	1	2	3	4	5	Lifelike 生物的な
Inert 不活発な	1	2	3	4	5	Interactive 対話的な
Apathetic 無関心な	1	2	3	4	5	Responsive 反応のある
GODSPEED III: LIKEABILITY						
Please rate your impression of the robot on these scales:						
以下のスケールに基づいてこのロボットの印象を評価してください。						
Dislike 嫌い	1	2	3	4	5	Like 好き
Unfriendly 親しみにくい	1	2	3	4	5	Friendly 親しみやすい
Unkind 不親切な	1	2	3	4	5	Kind 親切な
Unpleasant 不愉快な	1	2	3	4	5	Pleasant 愉快な
Awful ひどい	1	2	3	4	5	Nice 良い
GODSPEED IV: PERCEIVED INTELLIGENCE						
Please rate your impression of the robot on these scales:						
以下のスケールに基づいてこのロボットの印象を評価してください。						
Incompetent 無能な	1	2	3	4	5	Competent 有能な
Ignorant 無知な	1	2	3	4	5	Knowledgeable 物知りな
Irresponsible 無責任な	1	2	3	4	5	Responsible 責任のある
Unintelligent 知的でない	1	2	3	4	5	Intelligent 知的な
Foolish 愚かな	1	2	3	4	5	Sensible 賢明な
GODSPEED V: PERCEIVED SAFETY						
Please rate your emotional state on these scales:						
以下のスケールに基づいてあなたの心の状態を評価してください。						
Anxious 不安な	1	2	3	4	5	Relaxed 落ち着いた
Agitated 動揺している	1	2	3	4	5	Calm 冷静な
Quiescent 平穏な	1	2	3	4	5	Surprised 驚いた

图 7 GS 的五个维度标准量表

Fig.7 Godspeed five-dimensional standard scale

行互动时的积极和消极情感状态。Claudia Faita 实验所用的 PANAS 见图 6^[33]。

PANAS 量表从积极—消极维度和程度（例如高积极—低积极）两个角度对情绪状态进行划分，便于研究者在测量机器人面部表情的情绪表达时，可以灵活地增加或减少情绪词汇的数量，快速地建立符合自身实验要求的问卷。

1.5 测量个体对机器人感知的量表

有关测量个体对机器人感知的量表包括五维量表、三维量表和心态感知调查问卷（Mind Perception Questionnaire, MPQ）三个分类。

1.5.1 五维量表

五维量表中具有代表性的是“上帝的速度”问卷系列^[34]（Godspeed Questionnaire Series, GS）和 Soyoung Jung 等人^[35]在 GS 量表基础上，结合自身实验特点提出的新的五维量表。

GS 量表从五个维度设计问题，测量用户对机器人的感知。每个维度下又提出了具体的测量指标，这个系列将被称为“上帝的速度”。GS 的五个维度标准量表见图 7^[34]。它旨在帮助机器人设计师通过不断改进机器人面部表情等方面的设计，增加机器人的社交属性，从而提升用户对机器人的喜好度，构建和谐的人机关系^[34]。Christoph Bartneck 等人^[34]通过对人与机器人交互研究（Human-Robot Interaction, HRI）中的关键概念，即拟人化、有生命、可爱度、感知智能和感知安全这五个维度的测量方法进行文献综述，并在这五个维度之下，又提出了多个具体指标，最终，提出了完整的 GS 量表。Amol Deshmukh 等人^[7]从该量表中选取友好度、愉悦度的评估维度，针对儿童用户的特点进行问卷修改，用来测量机器人教师的面部情绪表达能力。Nicole Mirnig 等人^[5]选用 GS 量表中的拟人化^[36-38]和有生命两个维度进行在线调查，评估了视频中机器人演员的不同类型在这两个维度上的差异性。Casey C. Bennett 等人^[27]运用 GS 量表，测试了实体机器人的人脸与数字代理版本之间的差异，并且发现实体机器人在有生命和可爱度方面的得分更高。Yeow Kee Tan 等学者^[39]甚至运用 GS 量表，调研了用于陪伴老年人^[40]的交互式机器人宠物伴侣是否能对他们的情绪健康和生活质量产生积极影响。

Soyoung Jung 等人^[35]采用 GS 量表中可爱度和友好度两个测量维度，评估了被试对于不同性格的机器人面部表情的态度差异。同时，又提出了适用于自身实验的机器人的能力、舒适度、团队意识三个测量维度。

GS 量表不仅能够为之后的研究者在评估机器人面部表情表现效果方面提供基本维度参考，而且允许研究者根据自身实验需要，对该量表的实际应用进行补充和改进。

1.5.2 三维量表

在机器人面部表情评估的三维测量研究中，具有代表性的是 Naoki Koyama^[41]和 Mei Si^[42]等人的研究。

Naoki Koyama 等人^[41]基于想要通过嘴巴和眼睛来进行情感和社交表达的目的，提出了用于验证机器人面部表情设计的三个评估维度。这三个维度分别是与人类相似性（拟人化）、社交性和亲密密度，并且在这三个维度的基础上设置了相关问卷。Mei Si 等人^[42]提出了类似的三个维度，即亲密密度（与机器人近距离互动）、触摸舒适度（机器人用手臂触摸）和友好度^[43]，用来测量非人形机器人面部表情和肢体语言的重要性。

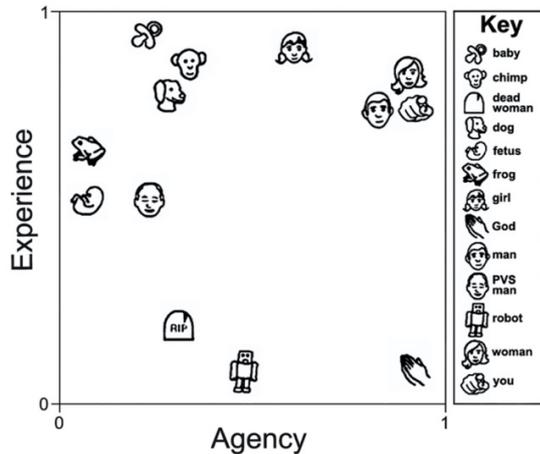


图8 以MPQ方法测量的数据结果
Fig.8 Data measured by MPQ

三维量表,相对于五维量表来说,更具有概括性和抽象性,因此,之后研究者在对机器人进行评估时,可以选用适合自己实验的评估维度作为参考依据。

1.5.3 MPQ量表

MPQ量表是为了评估个体如何感知各种人类和非人类角色的心智能力而开发的。MPQ根据经验和代理两个因素,评估个体如何感知有生命和无生命的事物^[44]。Stéphane Raffard等人^[44]使用了Stafford^[45]提出的修改版问卷,评估了机器人面部表情如何影响个体对机器人的感知。修改后的版本由两个子量表组成:(1)思维经验,即用户感知机器人具有感知快乐、饥饿、痛苦、人格和意识的五项能力;(2)心智代理,即用户感知机器人能够识别情感、有思想、有记忆、自我控制、有道德的六项能力。Heather M. Gray等人^[46]在文章中改进了MPQ量表,将经验因素增加到十一项能力,代理因素增加到七种能力。然后,他们测试了2040名被试对十三种生命形态在心智能力方面的得分(5分制),得出以MPQ方法测量的数据结果,见图8^[46]。

通过分析上述提到的测量个体对机器人感知的评估量表,发现量表出现的测量维度虽然在内容和数量上有差异,但都是通过运用人的情感、社交等属性来评估机器人的。这有助于研究者利用心理学、社会学等领域现有的评估人的特征属性量表,来构建自己的评估量表。

1.6 李克特量表

李克特量表用于测量被调查者同意或不同意某一陈述的程度的问题回答,范围从一方完全认同到另一方完全否定,中间选项为没有意见,选项根据需求通常是3、5或7分。该量表作为最常用的计分量表,在文献中被广泛应用,根据不完全统计,定量实验中采取问卷法的研究,基本都采用了李克特量表作为问卷的选项。

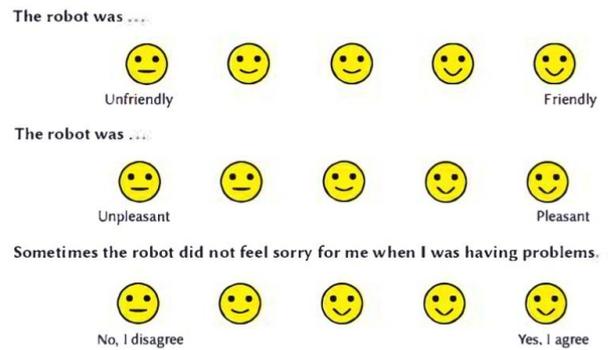


图9 5分微笑量表
Fig.9 Five-point smile scale

Claudia Faita等人^[33]在研究中提及的PANAS采用了5分李克特量表。Mei Si和Stéphane Raffard等人^[42-44]分别针对自己的研究采取了7分李克特量表^[47],用于评估个体对机器人的感知程度。Soyoung Jung等人^[35]在五个维度上的每个问题(形容词)采用李克特10分制量表上对机器人的描述如何,范围从“描述得很差”到“描述得很好”。基于实验的需求,部分研究者也会在李克特量表的基础之上有所改良,例如Tomoko Koda等人^[48]采用李克特6分量表(6分代表非常高兴;1分代表非常悲伤)评估每个动画最终表达的情绪类别。Maryam Moosaei等人^[49]在要求被试评估机器人疼痛面部表情视频时,采用了表情强度的6分DVAS量表(0~5分,对应不强烈到非常强烈)。

还有一些学者基于用户的特殊性(例如儿童用户),以及为了使量表更加直观,便于用户快速理解,对量表进行了可视化变形。Amol Deshmukh等人^[7]为了便于让儿童用户直观地理解量表,设计了5分微笑量表,见图9^[7]。Nicole Mirnig^[5]等人也采用图像作为量表的可视化表达形式,使被试能够快速清晰地理解量表。

李克特量表作为应用广泛、具有较高权威度的标准化量表,已经成为众多学者量化计算实验数据的高效工具。研究者需要根据自身研究特点调整和修改李克特量表,使得该量表的效用最大化,如Amol Deshmukh等人^[7]针对儿童用户改良了李克特微笑量表。笑脸符号也逐渐被广泛应用于儿童评估工具的设计中^[50-51]。

2 机器人面部表情量表特点分析

2.1 机器人面部表情评估量表分类

将机器人面部表情评估量表在三个维度上进行了划分:(1)从设计要点上,可以分为题目设计和选项设计;(2)从来源领域上,可以分为人机交互领域和心理学领域;(3)从评估角度上,可以分为维度评估和程度评估(如情绪类别属于维度评估,情

绪程度属于程度评估)。问卷法的评估量表分类体系见表 3。

2.1.1 设计要点

评估量表的设计要点包括两个部分,即题目设计和选项设计。在对六类评估量表详细分析后,发现许多研究者会基于六类评估量表的原始版本,根据自身实验的实际需要,对量表进行改进设计。例如,在针对题目的设计上,以测量个体对机器人感知的量表中的五维量表为例, Soyoung Jung 等人基于 Christoph Bartneck 等人提出的 GS 量表,对原始量表中评估机器人的五个因素进行改良,去除了与自身实验目标无关的评估因素,并针对自身实验的需要,提出了友好度、团队意识等新增评估指标。

针对选项设计,六类量表中的同理心量表采用 0 分(完全没有同理心)到 64 分(完全同理心)这样的综合分数计算制,能够算出一个总分数,便于研究者得出直观且综合的结论。其他大部分量表的选项基于李克特量表构建,李克特量表通常只用于计算单个题目的得分,因此能够便于研究者针对每道题目进行具体分析。另外, Amol Deshmukh 等人针对儿童用户需要,考虑到相对于数字、文字,图画更为直观,因此,将李克特 5 分量表改进设计为 5 分微笑量表,用于吸引儿童注意力并提升量表可读性。

2.1.2 来源领域

从来源领域方面分析,六类评估量表中的五类量表,即同理心量表、心理状态三维度量表、机器人焦虑量表、积极—消极自我报告量表及李克特量表起源于心理学领域,最初被应用于人类自身的情绪评估研究,随后才逐渐被一些研究者应用于机器人评估;而测量个体对机器人感知的量表则属于人机交互领域,专门用于评估机器人的属性,以此提升用户对于机器人的接受度和喜好度。

这两个领域的量表在应用于机器人面部表情评估工作时,其侧重的评估内容是不同的。从上述应用于机器人面部表情评估工作的心理学领域量表可知,这些量表侧重于测量人类的特性,例如针对人类的焦虑感进行评估的 RAS 量表、针对人类的同理心进行

评估的 TEQ 量表。而上述应用于机器人面部表情评估工作的人机交互领域量表,则偏重于测量机器人的特性,例如, GS 量表用来评估机器人的拟人化、感知智能和感知安全等特性。

2.1.3 评估角度

从评估角度来看,同理心量表、心理状态三维度量表、积极—消极自我报告量表和测量个体对机器人感知量表这四类量表包含了完整的维度评估和程度评估。以积极—消极自我报告量表为例,首先,将量表分为两个评估维度,即 PA 量表和 NA 量表。其中 PA 量表由兴奋、热情、专注、灵感和决心等情绪词汇组成,而 NA 量表由焦虑、不安、害怕、紧张和害怕等情绪词汇组成。然后,针对不同维度又进行了程度的划分。例如,按照程度,积极情绪词汇可以被划分为高积极或低积极。

而机器人焦虑量表则只围绕焦虑这一个因素设置量表问题,因此不存在维度上的划分。然而,它要求针对每个问题进行程度的选择。李克特量表也主要是对选项进行程度划分,通常可被细分为三、五、七等多个程度标准,并且被广泛应用于不同量表的选项设计。

总体而言,从设计要点来看,研究者需要在题目和选项设计方面因地制宜,根据评估要求改进原始量表。从来源领域来看,研究者应广泛借鉴心理学领域的各类情绪评估量表,并针对人机交互的研究特点进行创新,设计适用于机器人表情评估的量表。从评估角度来看,应充分考虑维度和程度的有机结合,构造完备的评估量表。

2.2 机器人面部表情评估量表适用阶段和情境

为了给研究者提供参考,总结了六类评估量表在机器人面部表情评估实验中的适用阶段和适用情境,见表 4。

如表 4 所示,同理心量表一般用于三种情况:在实验前排除心理因素有特殊情况的被试,在实验后检验被试同理心是否影响实验结果,或者评估机器人是否被用户认为具有同理心。心理状态三维度量表不仅可以用于实验前测量机器人面部表情表达的情绪信

表 3 问卷法的评估量表分类体系

Tab.3 Classification system of evaluation scale by questionnaire method

六类量表	同理心量表	心理状态三维度量表	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	李克特量表
设计要点	题目 选项	✓	✓	✓	✓	✓
来源领域	人机交互 心理学	✓	✓	✓	✓	✓
评估角度	维度评估 程度评估	✓	✓	✓	✓	✓

表4 六类评估量表在机器人面部表情评估实验中的适用阶段和适用情境
Tab.4 Applicable stage and conditions of six types of evaluation scales in the experiment of robot facial expression evaluation

六类评估量表	适用阶段	适用情境
同理心量表	实验前—被试选择	测量被试的共情能力是否会影响到用户对机器人社交属性的评估
	实验后—排除同理心因素的影响	
	实验后—判断机器人是否具有同理心	测量被试是否能感知到机器人具有同理心
心理状态三维度量表	实验前—实验刺激选择 实验后—评估实验结果	测量机器人面部表情的情绪表达中包含的情感信息数量,并检测一些难以区分的情绪的差异性
机器人焦虑量表	实验后—评估实验结果	测量机器人面部表情的焦虑情绪表达的效果
积极—消极自我报告量表	实验后—评估实验结果	评估机器人表达的情绪类别和程度
测量个体对机器人感知量表	实验后—评估实验结果	针对不同研究目的,评估机器人的不同属性,如拟人化、可爱度等
李克特量表	实验前/后—问卷/访谈选项设计	适用于需要采取定量研究的问卷选项设计环节

息数量,而且能够用于评估机器人面部表情设计的可识别率。机器人焦虑量表、积极—消极自我报告量表和测量个体对机器人感知量表则主要用于实验之后,将评估机器人面部表情表达的效果和影响转化为具体指标。李克特量表能够被广泛用于各种机器人面部表情量表的问卷选项设计环节,便于研究者进行定量研究。

3 结语

本文分析了五十一篇机器人面部表情设计的相关文献,提炼出六类核心评估量表,并对评估量表的适用阶段和适用情境进行了归纳和总结,为研究者们设计机器人面部表情提供了重要的依据。通过分析机器人面部表情评估量表的相关文献,发现许多心理学领域的量表被转化用于人机交互领域,这体现了不同学科领域之间的交叉和融合。下一步研究工作将在两方面展开。一方面,将进一步借鉴心理学领域的研究成果,归纳和总结量表的可靠性和有效性。另一方面,将总结和分析除了评估量表以外的机器人表情定性和定量评估方法,为研究者提供更广泛的设计支持。

参考文献:

- [1] ALI F, JUN G W. Design of Robot Head for Expression of Human Emotion[J]. Applied Mechanics and Materials, 2015(773-774): 893-897.
- [2] SPRENG R N, MCKINNON M C, MAR R A, et al. The Toronto Empathy Questionnaire: Scale Development and Initial Validation of a Factor-Analytic Solution to Multiple Empathy Measures[J]. Journal of Personality Assessment, 2009, 91(1): 62-71.
- [3] DAVIS M H. Measuring Individual Differences in Empathy: Evidence for a Multidimensional Approach[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1983, 44(1): 113-126.
- [4] MENDELSON M J, ABOUD F E. Measuring Friendship Quality in Late Adolescents and Young Adults: McGill Friendship Questionnaires[J]. Canadian Journal of Behavioural Science, 1999, 31(2): 130-132.
- [5] MIRNIG N, STRASSER E, WEISS A, et al. Can You Read My Face?[J]. International Journal of Social Robotics, 2015, 7(1): 63-76.
- [6] TSIOURTI C, WEISS A, WAC K, et al. Designing Emotionally Expressive Robots: A Comparative Study on the Perception of Communication Modalities[C]. Bielefeld: the 5th International Conference, 2017.
- [7] DESHMUKH A, JANARTHANAM S, HASTIE H, et al. How Expressiveness of a Robotic Tutor is Perceived by Children in a Learning Environment[C]. Christchurch: Proceedings of the 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2016.
- [8] IOLANDA L, ANDRÉ P, SAMUEL M, et al. The Influence of Empathy in Human-Robot Relations[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2012, 71(3): 250-260.
- [9] PETIT M, LE P B, DUHAUT D. Génération D'émotion Pour Le Robot MAPH: Media Actif Pour Le Handicap[C]. Toulouse: Proceedings of the International Conference on Francophone Sur L'interaction Homme-machine, 2005.
- [10] KESSENS J M, NEERINCX M A, LOOIJER R, et al. Facial and Vocal Emotion Expression of a Personal Computer Assistant to Engage, Educate and Motivate Children[C]. Amsterdam: Proceedings of the 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops, 2009.
- [11] COHEN I, LOOIJER R, NEERINCX M A. Child's Recognition of Emotions in Robot's Face and Body[C]. Lausanne: Proceedings of the ACM/IEEE International

- Conference on Human-Robot Interaction, 2011.
- [12] ADAMS R, BLIESZNER R, DE VRIES B. Definitions of Friendship in the Third Age: Age, Gender, and study Location Effects[J]. *Journal of Aging Studies*, 2000, 14: 117-133.
- [13] RUSSELL J A, MEHRABIAN A. Evidence for a Three-Factor Theory of Emotions[J]. *Journal of Research in Personality*, 1977, 11(3): 273-294.
- [14] RUSSELL J A, JAMES A. A Circumplex Model of Affect[J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1980, 39(6): 1161-1178.
- [15] TADAS B, LAUREL R, PETER R. Synthesizing Expressions Using Facial Feature Point Tracking: How Emotion is Conveyed[C]. Firenze: Proceedings of the 3rd International Workshop on Affective Interaction in Natural Environments, 2010.
- [16] BRADLEY M M, LANG P J. Measuring Emotion: The Self-assessment Manikin and the Semantic Differential[J]. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 1994, 25(1): 49-59.
- [17] SOSNOWSKI S, BITTERMANN A, KUHNLENZ K, et al. Design and Evaluation of Emotion-Display EDDIE [C]. Beijing: Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots & Systems, 2006.
- [18] VOULOUTSI V, GRECHUTA K, VERSCHURE P F M J. Evaluation of the Facial Expressions of a Humanoid Robot[J]. *Biomimetic and Biohybrid Systems*, 2019(11556): 365-368.
- [19] BETELLA A, VERSCHURE P F M J. The Affective Slider: A Digital Self-Assessment Scale for the Measurement of Human Emotions[J]. *Plos One*, 2016, 11(2): 1-11.
- [20] CAÑAMERO L, FREDSLUND J. I Show You How I Like You: Can You Read It in My Face?[J]. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics: Part A Systems and Humans*, 2001, 31(5): 454-459.
- [21] SONG H, KIM Y M, PARK J C, et al. Design of a Robot Head for Emotional Expression: EEEX[C]. Munich: Proceedings of the 17th IEEE International Symposium on Robot & Human Interactive Communication, 2008.
- [22] BECK A, CAÑAMERO L, DAMIANO L, et al. Children Interpretation of Emotional Body Language Displayed by a Robot[C]. Heidelberg: International Conference on Social Robotics, 2011.
- [23] KANAYA I, DOI S, NAKAMURA S, et al. Facial Design for Humanoid Robot[C]. Matsue-shi: Proceedings of the 2012 Asia Pacific Conference on Computer-Human Interaction, 2012.
- [24] SANO K, MURATA K, SUZUKI R, et al. Museum Guide Robot by Considering Static and Dynamic Gaze Expressions to Communicate with Visitors[C]. Portland: Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference, 2015.
- [25] NOMURA T, KANDA T. On Proposing the Concept of Robot Anxiety and Considering Measurement of It[C]. Millbrae: Proceedings of the 2003 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2003.
- [26] BENNETT C C, SABANOVIC S. Perceptions of Affective Expression in a Minimalist Robotic Face[C]. Tokyo: Proceedings of the 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2013.
- [27] BENNETT C C, SABANOVIC S. Deriving Minimal Features for Human-like Facial Expressions in Robotic Faces[J]. *International Journal of Social Robotics*, 2014, 6(3): 367-381.
- [28] MOLLAHOSSEINI A, ABDOLLAHI H, SWEENEY T D, et al. Role of Embodiment and Presence in Human Perception of Robots' Facial Cues[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2018, 116: 25-39.
- [29] BARTNECK C, REICHENBACH J, BREEMEN A. In Your Face, Robot! The Influence of a Character's Embodiment on How Users Perceive Its Emotional Expressions[C]. Ankara: Proceedings of the Design and Emotion, 2004.
- [30] MURRAY J C, CAÑAMERO LOLA, HIOLLE A. Towards a Model of Emotion Expression in an Interactive Robot Head[C]. Toyama: Proceedings of the 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2009.
- [31] ANTONIO T, MCCRAE R R, COSTA P T. Factorial and Construct Validity of the Italian Positive and Negative Affect Schedule(PANAS)[J]. *European Journal of Psychological Assessment*, 2003, 19(2): 131-141.
- [32] WATSON D, CLARK L A, TELLEGEN A. Development and Validation of Brief Measures of Positive and Negative Affect: The PANAS Scales[J]. *J Pers Soc Psychol*, 1988, 54(6): 1063-1070.
- [33] FAITA C, VANNI F, LORENZINI C, et al. Perception of Basic Emotions from Facial Expressions of Dynamic Virtual Avatars[C]. Lecce: International Conference on Augmented and Virtual Reality, 2015.
- [34] BARTNECK C, KULIC D, CROFT E, et al. Measurement Instruments for the Anthropomorphism, Animacy, Likeability, Perceived Intelligence, and Perceived Safety of Robots[J]. *International Journal of Social Robotics*, 2009, 1(1): 71-81.
- [35] JUNG S, LIM H T, KWAK S, et al. Personality and Facial Expressions in Human-Robot Interaction[C]. Massachusetts: Proceedings of the Seventh Annual

- ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2012.
- [36] MATHUR M B, REICHLING D B. An Uncanny Game of Trust: Social Trustworthiness of Robots Inferred from Subtle Anthropomorphic Facial Cues[C]. La Jolla: Proceedings of the 2009 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2009.
- [37] BRUCE A, NOURBAKHSI I R, SIMMONS R G. The Role of Expressiveness and Attention in Human Robot Interaction[C]. Washington, DC: Proceedings of the International Conference on Robotics and Automation, 2002.
- [38] ITOH K, MIWA H, MATSUMOTO M, et al. Various Emotional Expressions with Emotion Expression Humanoid Robot WE-4RII[C]. Sendai: Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots & Systems, 2004.
- [39] TAN Y K, WONG A, WONG A, et al. Evaluation of the Pet Robot CuDDler Using Godspeed Questionnaire[C]. Heidelberg: International Conference on Smart Homes and Health Telematics, 2013.
- [40] ENDO N, MOMOKI S, ZECCA M, et al. Development of Whole-body Emotion Expression Humanoid Robot[C]. Pasadena: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics & Automation, 2008.
- [41] KOYAMA N, TANAKA K, OGAWA K, et al. Emotional or Social? How to Enhance Human-Robot Social Bonding[C]. Bielefeld: Proceedings of the 2017 International Conference on Human Agent Interaction, 2017.
- [42] SI M, MCDANIEL J D. Using Facial Expression and Body Language to Express Attitude for Non-Humanoid Robot[C]. Singapore: Proceedings of the 2016 International Conference on Autonomous Agents & Multiagent Systems, 2016.
- [43] TODO T, MIISHO T. Interactions on Eyeballs of Humanoid-robots[C]. Tsukuba: Proceedings of the 2014 International Conference on Human-agent Interaction, 2014.
- [44] STÉPHANE R, BORTOLON C, KHORAMSHAHI M, et al. Humanoid Robots Versus Humans: How is Emotional Valence of Facial Expressions Recognized by Individuals with Schizophrenia? An Exploratory Study[J]. Schizophrenia Research, 2016, 176(2-3): 506-513.
- [45] STAFFORD R, MACDONALD B, JAYAWARDENA C, et al. Does the Robot Have a Mind? Mind Perception and Attitudes Towards Robots Predict Use of an Elder-care Robot[J]. International Journal of Social Robotics, 2014, 6(1): 17-32.
- [46] GRAY H M, GRAY K, WEGNER D M. Dimensions of Mind Perception[J]. Science, 2007, 315(5812): 619.
- [47] KORN O, STAMM L, MOECKL G. Designing Authentic Emotions for Non-Human Characters: A Study Evaluating Virtual Affective Behavior[C]. Edinburgh: Proceedings of the Conference on Designing Interactive Systems, 2017.
- [48] KODA T, NAKAGAWA Y, TABUCHI K, et al. From Cartoons to Robots: Facial Regions as Cues to Recognize Emotions[C]. Lausanne: ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2011.
- [49] MOOSAEI M, DAS S K, POPA D O, et al. Using Facially Expressive Robots to Calibrate Clinical Pain Perception[C]. Vienna: Proceedings of the 2017 ACM/IEEE International Conference, 2017.
- [50] JANET R, STUART M, CHRISTOPHER C. Endurability, Engagement and Expectations: Measuring Children's Fun[J]. Interaction Design and Children, 2009.
- [51] READ R, BELPAEME T. Using the Affect Button to Measure Affect in Child and Adult-Robot Interaction[C]. Tokyo: Proceedings of the 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2013.