

【电子与信息科学 / Electronics and Information Science】

基于交互情境因素的人与机器人交互体验

谢滨福, 陶达, 李世龙, 任欣芜

深圳大学人因工程研究所, 广东深圳518060

摘要: 系统定量地评估交互情境因素(交互距离、交互姿势和反馈风格)对于优化人与机器人的交互体验有着重要意义。采用三因子组内和组间混合设计的人因学实验, 招募20名受试者以不同交互情境与机器人进行互动, 并收集受试者的客观绩效、主观感知和眼动行为等交互体验指标, 最后采用重复测量的方差分析处理实验数据。结果表明各交互情境因素下受试者客观绩效无差异, 交互距离与反馈风格对受试者注视机器人次数占比有显著主效应和交互作用, 交互距离与交互姿势对平均瞳孔直径存在交互作用, 交互情境因素在交互方式接受度上有显著交互作用。研究结果可为机器人的情感表达部署、人机交互体验的优化策略提供参考依据。

关键词: 智能机器人; 人与机器人交互; 交互姿势; 交互距离; 反馈风格; 交互体验

中图分类号: TP242

文献标志码: A

doi: 10.3724/SP.J.1249.2023.02244

The effects of situational factors on human-robot interaction experience

XIE Binfu, TAO Da, LI Shilong, and REN Xinyuan

Institute of Human Factors and Ergonomics, Shenzhen University, Shenzhen 518060, Guangdong Province, P. R. China

Abstract: Systematic and quantitative evaluation of interaction situational factors (i. e., interaction distance, interaction posture, and feedback style) are of great significance for the optimization of human-robot interaction (HRI) experience. Using human factors experiment with three-factor intra-group and inter-group mixed design, twenty subjects were recruited to interact with a robot in different interaction situations. Data on their behavioral performance, subjective perceptions and eye movement behavior were collected and processed by repeated measurement analysis of variance. The results show that the behavioral performance in HRI has no difference across the situational factors. Interaction distance and feedback style have the significant main effects and interaction effects on the proportion of fixation times. In addition, there exists an interaction effect on mean pupil diameter between interaction distance and posture. Moreover, three situational factors have significant interaction effects on user acceptance of interaction mode. The experimental observations provide the important implications for the design of robot emotion expression and for optimal strategies to improve human-robot interaction experience.

Key words: intelligent robot; human-robot interaction; interaction posture; interaction distance; feedback style; interaction experience

近年来, 社交机器人得到快速发展和应用^[1]。据国际机器人联合会统计, 2020年全球范围内社

交服务机器人总数已超2 700万台, 是20年前的4 060倍^[2]。这些机器人被用于教育培训和康复培

Received: 2022-09-06; **Accepted:** 2023-02-04; **Online (CNKI):** 2023-02-23

Foundation: National Natural Science Foundation of China (72101161); Shenzhen Basic Research Foundation for General Projects (20200813225029002)

Corresponding author: Assistant professor TAO Da. E-mail: taoda@szu.edu.cn

Citation: XIE Binfu, TAO Da, LI Shilong, et al. The effects of situational factors on human-robot interaction experience [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2023, 40(2): 244-252. (in Chinese)

<http://journal.szu.edu.cn>



训等场景^[3-8]。社交机器人的应用和普及本质上取决于人与机器人的交互体验,但在实际应用中人与机器人沟通不畅、互动体验不良的案例屡见不鲜。例如,人与机器人交互(human-robot interaction, HRI)时机器人若未采用恰当的交互距离,那么这种社交方式可能具有阻碍性和威胁性,形成空间入侵感^[9-10]。另外,机器人若能根据互动情境恰当使用交互行为来传达情感,则更利于创建良好的互动体验,从而易于为人们接受^[11]。因此,人与机器人应以何种方式进行交互仍是学术界和工业界亟待探索的问题。

交互距离是人机交互中最基础的交际表现,保持一定的交互距离体现某种情感或功能意图。在人际距离学中,人际距离可划分为公共区域(> 3.6 m)、社交区域(1.2~3.6 m)、个人区域(0.45~1.20 m)和亲密区域(< 0.45 m)4种人际区域,表征了人际关系中不同的互动舒适度和亲密度^[1,12]。LEICHTMANN等^[9,13-14]划分并解释了人际距离的3种功能,包括保护功能(通过调节人际距离改变人感知到的风险或威胁感)、调节功能(通过控制人际距离调节自身感官的激活程度)和交际功能(人际距离作为情感信息的传递媒介如亲密度)。有学者也将人际距离迁移到人与机器人交互领域来研究交互距离对人机交互体验的影响。如WALTERS等^[15]探索了人机交互中舒适的接近距离,发现大多数参与者对1.2~3.6 m的人机社交距离感到很舒服,然而40%的参与者倾向小于0.45 m的交互距离。PACCHIEROTTI等^[16]设计了人与机器人在走廊相遇的实验,评估人与机器人相遇时的体验变化,发现因害怕被机器人撞到,当机器人进入亲密领域(0~0.45 m)时,人们会感觉不太舒服。由上述研究可知,一个社会可接受的交互距离可能因不同互动方式和情境而变化。因此,研究交互距离的影响对机器人的交互部署十分重要。

交互姿势也是影响人机交互体验的重要情境因素。多项研究表明交互姿势会影响用户与机器人交互的接受度、参与度和享受度^[1,17]。KOAY等^[18]研究了人机物品移交互动时社交距离和交互方向对任务绩效的影响,发现人们更喜欢0.5 m的物品交付距离,且更倾向于与机器人进行正面的交付互动。PAPADOPOULOS等^[19]评估了机器人在采用不同互动行为(帮助型与中立型)和放置方式(正面与侧面)下用户的体验差异,发现当与帮助型机器人正面交

互时,用户有较好总体评价和较高参与度。尽管目前已有部分研究挖掘了交互姿势对人机互动体验的影响,但很少有研究将交互姿势放到具有不同交互距离的实际情境中来探索人机交互体验,因此,基于交互情境的交互姿势研究仍然十分必要。

反馈风格也可能是影响人与机器人交互体验的重要情境因素。机器人的反馈能给予互动者即时地互动感,反馈的内容风格也会为整个交互经历奠定特定情感基调。KIM等^[20-23]研究表明,不同反馈风格的机器人会影响人们对反馈的接受度、满意度及参与度等情感体验。LEI等^[4]指出与消极反馈相比,人们对机器人积极反馈的接受度更高,且积极反馈比消极反馈对人们的情绪影响更大。AKALIN等^[24]指出,尽管反馈类型不一定与客观指标(如任务绩效等)相关,但是具有积极反馈的机器人更容易得到人们(尤其是老年人)的赞赏。此外,WALTERS等^[15,20,23,25]也发现,当机器人给出糟糕评价时,人们对机器人表现出强烈地负面反应,而当机器人给出良好或中性评价时,人们表现出积极的吸引力。反馈风格并未在多种交互情境条件下得到系统研究,值得进一步探索。

综上所述,随着社会服务型机器人的快速发展和普及,目前对于人与机器人交互方式的研究仍处于起步阶段,因此有必要对人与机器人的互动情境方式进行研究,本研究旨在系统量化地考察交互距离、交互姿势及反馈风格情境因素对人与机器人交互体验的影响。

1 实验

1.1 受试者

本研究招募了20名在校大学生参与实验(男女各半),平均年龄为24.12岁(标准偏差为1.25),平均身高为163.25 cm(标准偏差为6.58 cm)。所有受试者具有正常或矫正的视力和色觉,无严重的行动障碍和多动症,具有正常的肢体运动能力。

1.2 实验设计和任务

实验采用三因素组内和组间混合设计的方式。组内因子为机器人的交互姿势和交互距离,组间因子为反馈风格。交互姿势包括正面交互和侧面交互这两种典型姿势。其中,正面交互是指机器人与人进行正向面对面交互,两者之间的矢状面夹角为0°;侧面交互是指机器人与人进行侧身交互,两者

之间的矢状面夹角为 15° 。交互距离根据前人人际距离研究^[1,26]以及本研究前测实验确定最终设定为 0.8、1.5、2.5 和 3.5 m 四种。反馈风格分为积极反馈和消极反馈两种典型类别。测量指标包括主观感知指标(即互动参与度和交互方式接受度),任务绩效指标(即任务正确率)以及眼动指标(受试者的平均瞳孔直径、受试者对机器人的注视时长占比和注视次数占比)。其中,互动参与度用于衡量受试者与机器人互动的参与体验^[27],交互方式接受度主要衡量受试者对机器人互动方式的认可度^[18],两者均采用文献[18, 21]中已校验的量表测量;眼动指标用来评估受试者的情感唤醒度及注意力分配情况^[28]。

实验任务基于文献[25, 29]中的人机交互任务进行改编,用来模拟人与机器人的游戏互动过程,包括“自由聊天”任务和“动作模拟”任务,任务设计综合考虑了现实中人与机器人娱乐互动的应用情境及典型动作,能在一定程度上激发并维持用户与机器人的交互意愿。在“自由聊天”任务中,机器人会主动向受试者问好,然后与受试者进行两个开放性话题的互动。该任务模拟人与人之间在互动初始时的行为模式。在“动作模拟”任务中,机器人先向受试者展示一组手势动作序列,然后请求受试者以相同顺序镜像复现这些手势动作。手势动作由 3 类手势(包括举手、抬手和后摆手,如图 1)和 3 类手臂使用方式(包括仅使用左手、仅使用右手和使用双手)组合而成,并形成一手势动作库。其中,手势动作的设计结合了机器人自身结构特点,因此不包含前臂上臂相对运动,且不涉及手指关节运动等精细动作。在互动中,机器人会在手势动作库中随机抽取 8 个手势动作组成一组手势动作序列。最后,机器人将按照受试者复现动作序列的结果进行积极或消极反馈评价。

1.3 实验材料和流程

实验采用具有动作编程和语言交流的一般社交

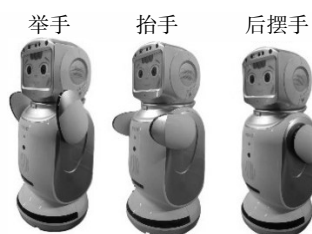


图 1 机器人的手势类型(以双手动作为例)

Fig. 1 Gesture types for the robot (take two-hand movement as an example).

类机器人(型号为 T1-A1-L; 高 80 cm, 宽 55 cm)作为互动实验机器人,该机器人支持语音交互、触摸交互及视频交互,能基于特定场景进行人机对话,具有人体跟随、手势识别和人脸识别等功能。机器人放置在高度可调节的互动平台上,结合被试者的身高和偏好,使人机之间的高度差维持在 20~30 cm 范围,以便使人与机器人的交互具有平等性。实验采用 Tobii X-120 眼动追踪设备记录受试者的眼动指标。

实验开始前,主试向受试者介绍实验目的,并完成眼动设备校准。待受试者熟悉实验任务和流程后,会被随机分配到积极或消极反馈实验组中与机器人互动(图 2)。每名受试者需在 2 种交互姿势和 4 种交互距离的 8 种组合情况下配合机器人完成实验任务,交互姿势和交互距离的出现顺序将以对抗平衡(counterbalance)的实验设计原则进行。每组实验开始前,要求受试者以 1 种自然互动的状态与机器人互动,但不限制受试者的视野和视角,随后机器人会自主调整其交互姿势和交互距离。机器人开始与受试者互动,并依次完成“自由聊天”和“动作模拟”互动任务。每组实验结束后,受试者完成主观调查问卷后休息 3 min,以减轻可能的记忆疲劳,再开始下一组实验。实验持续约 90 min。



图 2 人与机器人互动实验情境

Fig. 2 Experimental scenario of the human-robot interaction.

1.4 数据分析

数据正态性通过 Shapiro-Wilk 法分析,并得到验证($P > 0.05$)。采用重复测量方差分析(repeated measures analyses of variance, RMANOVA)来分析交互距离、交互姿势和反馈风格对主客观指标的影响。采用球形检定来判断数据是否符合球形假设,若数据违反球形假设,则使用经 Greenhouse-Geisser 校正的自由度和 P 值。实验数据使用 SPSS 22 软件进行分析,显著性水平设为 0.05。

2 结果分析

2.1 交互情境因素对任务绩效的影响

表1列出了交互情境因素对动作模拟任务正确率的方差分析结果。由表1可见,不同交互距离(s)、交互姿势和反馈风格下的任务正确率并无显著差异(图3),也不存在显著交互作用。

表1 交互距离、交互姿势和反馈风格对任务正确率的影响

Table 1 The effects of interaction distance, interaction posture and feedback style on task accuracy

交互情景因素		任务正确率/%			
因素	水平	描述性分析		方差分析	
		均值	标准差	F 值	P 值
交互距离	0.8 m	51.4	16.2	1.380	0.259
	1.5 m	51.1	16.9		
	2.5 m	53.3	17.1		
	3.5 m	55.9	14.6		
交互姿势	正面	51.2	15.2	0.404	0.533
	侧面	54.7	17.1		
反馈风格	积极	52.8	17.3	0.004	0.953
	消极	53.1	15.2		
交互姿势与反馈风格				0.507	0.679
交互距离与反馈风格				1.509	0.235
交互姿势与交互距离				1.535	0.216
交互距离、交互姿势与反馈风格				0.296	0.828

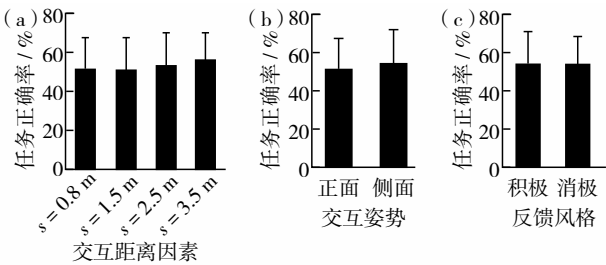


图3 (a)交互距离、(b)交互姿势和(c)反馈风格对任务正确率的影响

Fig. 3 The effects of (a) interaction distance, (b) interaction posture and (c) feedback style on task accuracy.

2.2 交互情境因素对眼动指标的影响

交互距离、交互姿势和反馈风格对受试者的平均瞳孔直径(d_{MP})都没有显著主效应(表2和图4),但交互距离和交互姿势对平均瞳孔直径存在显著交互作用($F(3, 54) = 8.083, P < 0.01$).进行侧面交互时,平均瞳孔直径随交互距离的增大而变小;而进行正面交互时,平均瞳孔直径随交互距离的增大而变大(图5).

交互距离和交互姿势及反馈风格对受试者对机器人的注视时长占比(r_{PGD})均无显著主效应(图6).对于受试者对机器人的注视次数占比(r_{PTF}),交互距离($F(1, 18) = 32.502, P < 0.001$)和反馈风格($F(1, 18) = 7.168, P < 0.05$)存在显著的主效应(图7).交互距离和反馈风格对机器人注视次数占比还存在显著的交互作用($F(1, 18) = 4.398, P < 0.01$).

表2 交互距离、交互姿势和反馈风格对眼动指标的影响¹⁾²⁾

Table 2 The effects of (a) interaction distance, (b) interaction posture and (c) feedback style on eye movement index¹⁾

交互情景因素		d_{MP} / mm				$r_{PGD} / \%$				$r_{PTF} / \%$			
因素	水平	描述性分析		方差分析		描述性分析		方差分析		描述性分析		方差分析	
		均值	标准差	F 值	P 值	均值/%	标准差	F 值	P 值	均值/%	标准差	F 值	P 值
交互距离	0.8 m	4.5	0.5	0.298	0.827	73.4	12.9	1.193	0.321	91.4	10.0	32.502	<0.001***
	1.5 m	4.5	0.5			73.2	13.6			89.4	8.4		
	2.5 m	4.5	0.5			73.5	15.3			81.5	11.8		
	3.5 m	4.5	0.5			76.3	12.5			72.9	15.1		
交互姿势	正面	4.5	0.5	4.103	0.058	74.7	13.6	1.275	0.274	84.9	12.8	3.29	0.086
	侧面	4.5	0.5			73.5	13.6			82.7	14.4		
反馈风格	积极	4.5	0.6	0	0.998	71.8	15.0	0.134	0.719	78.8	15.4	7.168	0.015*
	消极	4.5	0.4			76.4	11.6			88.8	9.3		
交互姿势与反馈风格				0.004	0.948			0.148	0.705			0.015	0.903
交互距离与反馈风格				1.645	0.190			1.666	0.185			4.398	0.008**
交互姿势与交互距离				8.083	0.002**			2.204	0.098			2.726	0.053
交互距离、交互姿势与反馈风格				0.764	0.519			0.185	0.906			0.369	0.776

¹⁾*为 $P < 0.05$; **为 $P < 0.01$; ***为 $P < 0.001$; ²⁾灰底数据为具有统计学显著差异的数据。

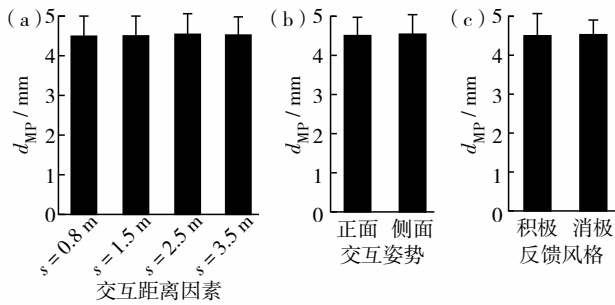


图4 (a)交互距离、(b)交互姿势和(c)反馈风格对平均瞳孔直径的影响

Fig. 4 The effects of (a) interaction distance, (b) interaction posture and (c) feedback style on mean pupil diameter.

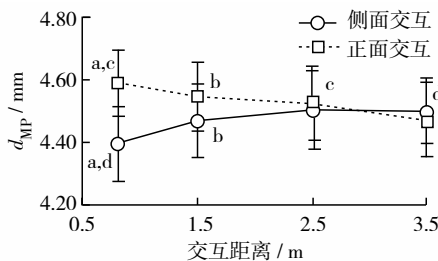


图5 交互距离和交互姿势对平均瞳孔直径的交互作用 (相同字母表示存在显著差异. 其中, a 表示 $P < 0.01$; b、c 和 d 表示 $P < 0.05$)

Fig. 5 The interaction effect of interaction distance and interaction posture on mean pupil diameter. (The same letter indicates significant differences, where, a means $P < 0.01$, b, c and d means $P < 0.05$.)

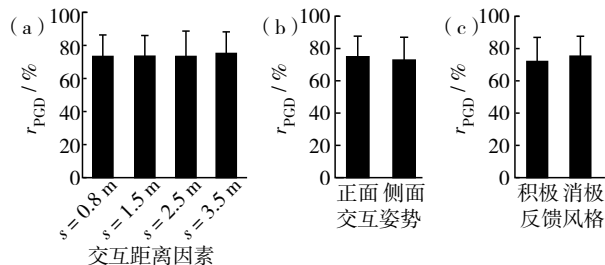


图6 (a)交互距离、(b)交互姿势和(c)反馈风格对机器人注视时长占比的影响

Fig. 6 The effects of (a) interactive distance, (b) interactive posture and (c) feedback style on the proportion of gaze duration.

总体来看,在消极反馈情境下,受试者对机器人的注视次数占比要高于积极反馈情境,注视次数占比随着交互距离增加逐步降低,且在积极反馈条件下下降得更多(图8)。

2.3 交互情境因素对主观感知指标的影响

表3为交互距离和交互姿势及反馈风格对主观感知指标的影响。由表3可见,这3个互动情境因素对交互参与度均无显著影响,但对交互接受度存在三

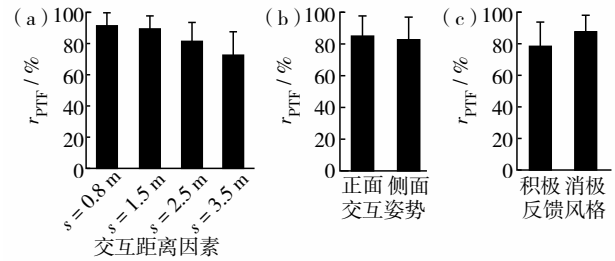


图7 (a)交互距离、(b)交互姿势和(c)反馈风格对机器人注视次数占比的影响

Fig. 7 The effects of (a) interactive distance, (b) interactive posture and (c) feedback style on the proportion of fixation times.

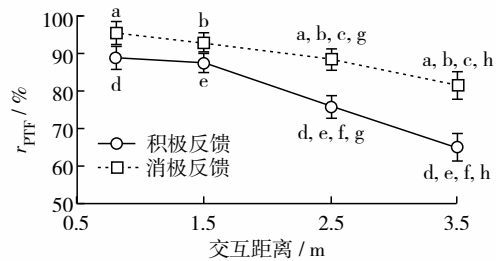


图8 交互距离和反馈风格对机器人注视次数占比的交互作用(相同字母表示存在显著差异. 其中, a、b、c、d、g 和 h 表示 $P < 0.01$; e 和 f 表示 $P < 0.05$)

Fig. 8 The interaction effect of interaction distance and feedback style of fixation times. (The same letter indicates significant differences, where a, b, c, d, g and h means $P < 0.01$, e and f means $P < 0.05$.)

阶交互作用($F(3, 54) = 5.348, P < 0.003$)。积极反馈风格下,近距离交互时的正面和侧面交互接受度相差不大,但在较远距离交互时,正面交互的接受度要高于侧面交互(图9);消极反馈风格下,交互距离和交互姿势则呈现出与积极反馈时相反的影响效果(图10)。

3 讨论

实验发现,交互距离与交互姿势对瞳孔直径存在交互作用,交互距离与反馈风格对人们注视机器人的次数占比有显著主效应和交互作用,3种交互情境因素在交互方式接受度上有显著交互作用。

1) 交互距离与交互姿势在受试者的瞳孔直径指标上有显著交互作用。随着交互距离的增大,受试者的瞳孔直径在两种互动姿势下呈相反的变化趋势,且在交互距离为0.8 m时,瞳孔直径差值最大,这可能是因为随着交互距离的增大和互动姿势的不同,受试者的互动情感唤醒度受到了影响。正

表3 交互距离和交互姿势及反馈风格对交互参与度与接受度的影响

Table 3 The effects of interaction distance, interaction posture and feedback style on interaction engagement and receptivity¹⁾

交互情景因素		参与度				接受度			
因素	水平	描述性分析		方差分析		描述性分析		方差分析	
		均值	标准差	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值	均值	标准差	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
交互距离	0.8 m	3.390	0.816	0.249	0.862	3.250	0.881	0.142	0.935
	1.5 m	3.455	0.816			3.115	0.933		
	2.5 m	3.445	0.760			3.111	1.006		
	3.5 m	3.450	0.679			3.053	0.935		
交互姿势	正面	3.497	0.158	1.454	0.243	3.158	0.959	3.749	0.069
	侧面	3.373	0.152			3.083	0.930		
反馈风格	积极	3.253	0.755	0.134	0.719	3.103	0.265	0.007	0.934
	消极	3.618	0.731			3.072	0.265		
交互姿势与反馈风格				0.233	0.635				
交互距离与反馈风格				2.337	0.084				
交互姿势与交互距离				1.158	0.334				
交互距离、交互姿势与反馈风格				1.392	0.255				
						5.348 0.003 ¹⁾			

如文献[28]所述,受试者的瞳孔大小虽然与情感代价呈非线性关系,但与情感唤醒度呈线性关系(唤醒度越高瞳孔直径越大)。本研究结果表明,当受试者处于最小交互距离($s = 0.8\text{ m}$)的侧面互动时,情感被最大程度地唤醒,但不能识别出是何种情绪被唤醒,因为唤醒度只是愉悦度、激活度和优势度(pleasure, arousal, and dominance, PAD)3维情感模型中的1维,而高唤醒度的情感包括了高兴、厌恶、惊奇等情绪^[30-32]。值得指出的是,从图10可知,交互距离为0.8 m时的侧面交互姿势是用户不太愿意接受的,且侧面交互姿势与消极反馈两个因素会联合对用户的接受度起到削弱作用。这说明侧面交互是一种低接受、高唤醒的互动方式,属于消极唤醒。相反,正面交互接受度高,表明近距离下的正面互动是用户可接受的交互方式,对接受度起到增强作用,属于积极唤醒。因此,在设计机器人的近距离交互模式时,应该尽量保证正面与人积极交互;当人机交互状态处于侧面交互姿势(交互夹角为 15° 左右)时,机器人应及时调整交互姿势,同时避免交互语境处于消极语境中,以免用户情绪被消极唤醒。如此才能使机器人的近距离人机交互模式更贴合人际交互规范,获得更好的用户体验。

2) 交互距离与反馈风格在对机器人的注视次数占比上有显著交互作用。随着交互距离的增大,注视次数占比在两种反馈风格上都呈下降趋势,但消极反馈风格互动时的注视次数占比更高。这可能是因为随着交互距离变大,受试者的互动视野会变宽,使他的注意力容易被其他背景信息分散并削弱了他与机器人的交互意愿,而机器人的消极反馈可以吸引人们的注意力。LEI等^[4]指出,负面反馈可以吸引人们的注意力,并促进用户对人机交互方式进行优化改善,这可能是因为建设性批评在提高技能方面比一般的赞美更有效^[33]。因此,本研究认为在人机互动场景中,如果明显察觉到用户处于一种注意力游离或分散的情况下,机器人可采用偏消极的反馈风格来提醒用户聚焦注意力。尽管消极反馈风格可以获得用户较多注意力,但仍需考虑用户是否能够接受来自机器人的批评。结果表明,较远距离、正面互动下的积极反馈和近距离、正面互动下的消极反馈都有利于增强用户对机器人的接受度,原因可能是较近的物理距离补偿了消极反馈的负面效果,而积极反馈抵消了较远物理距离的负面效果。因此,本研究认为,1.5~2.5 m是一个社会

可接受的交互距离,在此交互距离范围内能与积极反馈型的机器人保持正面互动会让用户体验更佳。

3) 虽然侧面交互是多人与1个机器人互动时必然存在一种情境,但在1人1机互动模式下,侧面交互对于用户来说比较难以接受,原因可能是侧面交互时视野变窄,用户难以识别交互动作,不能以轻松舒适的状态来体验互动。KOAY等^[18-19]研究也发现非正面的互动方式不仅会削弱用户对社交关系的感知,还会增加互动负担(如努力程度、协调负担、注意力)。因此,侧面交互方式在单人与一个机器人的交互情境下,可能起到唤醒消极情绪,降低整体体验感的作用。

4) 反馈风格与其他因素对交互方式接受度及互动注视次数占比有显著交互作用。本研究发现,积极反馈风格型比消极反馈风格型的机器人更受欢迎(接受度得分更高)。此结果与LEI的研究结果一致。LEI等^[4]发现,参与者对积极反馈的机器人接受度水平更高,原因可能是机器人的积极反馈可提高人们的动机、热情、信心和幸福感等情感感知。然而,积极反馈不一定能像消极反馈那样能吸引到更多注意力,原因可能是参与者更在意来自机器人的负面评价,进而更愿意用修正自己的行为来反馈机器人的建设性评价。此外,不管是何种反馈类型,交互距离变长都会削弱参与者的注意力,这可能是因为随着交互距离增加,参与者与机器人之间的情感关系和社会存在感知被削弱,使两者之间的心理距离变长,最终导致参与者减少了对机器人的关注。

结 语

本研究评估了交互距离、交互姿势和反馈风格这3种重要的交互情境因素对人机互动体验的影响。结果表明交互距离与交互姿势对平均瞳孔直径也存在交互作用,交互距离与反馈风格对人们注视机器人的次数占比有显著主效应和交互作用,3种典型交互情境因素在交互方式接受度上也有显著交互作用。近距离交互下采用侧面姿势和消极反馈会唤醒用户的消极情感而削弱用户的互动意愿。然而,适中距离下,机器人采用正面的互动姿势且经常给予正面反馈时更容易被用户所接受,并得到更好的互动体验。本研究结果可以为今后的人机交互策略提供参考,为优化人机交互体验提供理论

支撑。

相对于前人研究,本研究系统性地探索了多个典型情境因素组合下人与机器人的交互体验,量化了交互距离、交互姿势及反馈风格等因素对交互体验的影响效应。基于实验结果,本研究得出了一些关于优化人机交互方式的策略,如一些对交互体验有显著影响的交互距离和交互姿势阈值。同时,这些实验从客观绩效、注意力以及心理感知等多维层次评估了不同交互情境因素组合下的交互体验,为建立HRI交互体验的多维评估体系提供了参考。

本研究仍存在一些局限。因为实验所用机器人面向娱乐行业,所以肢体结构进行了简化,不能实现前臂上臂相对运动及手指关节精细动作等功能,相对地所设计的任务动作较简易,这在一定程度上影响了人机交互的趣味性。另外,研究仅模拟了娱乐互动这类应用情境,研究结果是否具有普适性还有待证实。因此,未来可采用结构更为精细逼真,功能更为全面的机器人对跨应用情境下的人机交互活动进行研究。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(72101161); 深圳市基础研究计划资助项目(20200813225029002)

作者简介: 谢滨福(1996—), 深圳大学硕士研究生。研究方向: 人因工程。E-mail: 1416829147@qq.com

引文: 谢滨福, 陶达, 李世龙, 等. 基于交互情境因素的人与机器人交互体验[J]. 深圳大学学报理工版, 2023, 40(2): 244-252.

参考文献 / References:

- [1] SAUNDERSON S, NEJAT G. How robots influence humans: a survey of nonverbal communication in social human -robot interaction [J]. *International Journal of Social Robotics*, 2019, 11(4): 575-608.
- [2] 刘逸伦, 何倩鸿, 王科盛. 服务机器人行业发展现状分析[J]. *信息记录材料*, 2022, 23(3): 217-220.
LIU Yilun, HE Qianhong, WANG Kesheng. Analysis of the development status of the service robot industry [J]. *Information Recording Materials*, 2022, 23(3): 217-220. (in Chinese)
- [3] GÖRER B, SALAH A A, AKIN H L. An autonomous robotic exercise tutor for elderly people [J]. *Autonomous Robots*, 2017, 41(3): 657-678.
- [4] LEI Xin, RAU P L P. Effect of robot tutor's feedback valence and attributional style on learners [J]. *International Journal of Social Robotics*, 2021, 13(7): 1579-1597.
- [5] CHANG C W, LEE J H, CHAO P Y, et al. Exploring the possibility of using humanoid robots as instructional tools for teaching a second language in primary school [J]. *Educational Technology & Society*, 2010, 13(2): 13-24.
- [6] XIA Guangyu, TAY J, DANNENBERG R, et al. Autonomous robot dancing driven by beats and emotions of music [C]// *Proceedings of the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 1*. Richland, SC: International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2012: 205-212.
- [7] CHIDAMBARAM V, CHIANG Y H, MUTLU B. Designing persuasive robots: how robots might persuade people using vocal and nonverbal cues [C]// *The 7th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*. Piscataway, USA: IEEE, 2012: 293-300.
- [8] ROS R, BARONI I, DEMIRIS Y. Adaptive human -robot interaction in sensorimotor task instruction: from human to robot dance tutors [J]. *Robotics and Autonomous Systems*, 2014, 62(6): 707-720.
- [9] LEICHTMANN B, NITSCH V. How much distance do humans keep toward robots? Literature review, meta-analysis, and theoretical considerations on personal space in human-robot interaction [J]. *Journal of Environmental Psychology*, 2020, 68: 101386.
- [10] HOFFMAN G, VANUNU K. Effects of robotic companionship on music enjoyment and agent perception [C]// *The 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. Piscataway, USA: IEEE, 2013: 317-324.
- [11] ALY A, TAPUS A. A model for synthesizing a combined verbal and nonverbal behavior based on personality traits in human-robot interaction [C]// *The 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. Piscataway, USA: IEEE, 2013: 325-332.
- [12] HALL E T. *The hidden dimension* [M]. Garden City, USA: Anchor, 1966.
- [13] BALDASSARE M. Human spatial behavior [J]. *Annual Review of Sociology*, 1978, 4(1): 29-56.
- [14] UZZELL D, HORNE N. The influence of biological sex, sexuality and gender role on interpersonal distance [J]. *British Journal of Social Psychology*, 2006, 45(3): 579-597.
- [15] WALTERS M L, DAUTENHAHN K, TE BOEKHORST R, et al. The influence of subjects' personality traits on personal spatial zones in a human-robot interaction experiment [C]// *IEEE International Workshop on Robot*

- and Human Interactive Communication. Piscataway, USA: IEEE, 2005: 347-352.
- [16] PACCHIEROTTI E, CHRISTENSEN H I, JENSELT P. Evaluation of passing distance for social robots [C]// The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. Piscataway, USA: IEEE, 2006: 315-320.
- [17] SCHEFLEN A E. The significance of posture in communication systems [J]. *Psychiatry*, 1964, 27(4): 316-331.
- [18] KOAY K L, SYRDAL D S, ASHGARI-OSKOEI M, et al. Social roles and baseline proxemic preferences for a domestic service robot [J]. *International Journal of Social Robotics*, 2014, 6(4): 469-488.
- [19] PAPADOPOULOS F, KÜSTER D, CORRIGAN L J, et al. Do relative positions and proxemics affect the engagement in a human-robot collaborative scenario? [J]. *Interaction Studies*, 2016, 17(3): 321-347.
- [20] KIM C, KIM D, YUAN Jiangmei, et al. Robotics to promote elementary education pre-service teachers' STEM engagement, learning, and teaching [J]. *Computers & Education*, 2015, 91: 14-31.
- [21] ALBRIGHT M D, LEVY P E. The effects of source credibility and performance rating discrepancy on reactions to multiple raters [J]. *Journal of Applied Social Psychology*, 1995, 25(7): 577-600.
- [22] WANG M, BURLACU G, TRUXILLO D, et al. Age differences in feedback reactions: the roles of employee feedback orientation on social awareness and utility [J]. *Journal of Applied Psychology*, 2015, 100(4): 1296-1308.
- [23] MORRAN D K, ROBISON F F, STOCKTON R. Feedback exchange in counseling groups: an analysis of message content and receiver acceptance as a function of leader versus member delivery, session, and valence [J]. *Journal of Counseling Psychology*, 1985, 32(1): 57-67.
- [24] AKALIN N, KRISTOFFERSSON A, LOUTFI A. The influence of feedback type in robot-assisted training [J]. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2019, 3(4): 67.
- [25] YOU S, NIE Jiaqi, SUH K, et al. When the robot criticizes you ... Self-serving bias in human-robot interaction [C]// The 6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI). Piscataway, USA: IEEE, 2011: 295-296.
- [26] KOAY K L, DAUTENHAHN K, WOODS S N, et al. Empirical results from using a comfort level device in human-robot interaction studies [C]// Proceedings of the 1st ACM SIGCHI/SIGART conference on Human-Robot Interaction. New York, USA: Association for Computing Machinery, 2006: 194-201.
- [27] SIDNER C L, LEE C, KIDD C D, et al. Explorations in engagement for humans and robots [J]. *Artificial Intelligence*, 2005, 166(1/2): 140-164.
- [28] JANISSE M P. Pupil size, affect and exposure frequency [J]. *Social Behavior and Personality*, 1974, 2(2): 125-146.
- [29] XU Junchao, BROEKENS J, HINDRIKS K, et al. Mood contagion of robot body language in human robot interaction [J]. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 2015, 29(6): 1216-1248.
- [30] 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, 21.
GUO Fu, LI Mingming, HU Mingcai, 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, 21. (in Chinese)
- [31] 李明明. 人形服务机器人情绪行为对用户情感体验的影响研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2017.
LI Mingming. Study on the influence of emotional behaviors of humanoid service robot on user's emotional experience [D]. Shenyang: Northeastern University, 2017. (in Chinese)
- [32] 吴伟国, 李虹漫. PAD情感空间内人工情感建模及人机交互实验[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2019, 51(1): 29-37.
WU Weiguo, LI Hongman. Artificial emotion modeling in PAD emotional space and human-robot interactive experiment [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2019, 51(1): 29-37. (in Chinese)

【中文责编: 英子; 英文责编: 木柯】