

基于用户旅程图的机器人社会情感动作表达方法研究

谢启思，陆定邦*

(广东工业大学，广州 510000)

摘要：**目的** 基于用户旅程图的分析视角，研究机器人通过动作展现复杂社会情感的方法。**方法** 首先，对社会情感的定义和内容进行分析，将社会情感拆分成个体自身的情感和面向他人的情感；其次，梳理用户旅程图的实施方法，提取事件、用户、触点、阶段和步骤的要素类比映射机器人情感表达，得到角色、情景、刺激、情感表达流程和情感表达步骤的研究要素；最后，基于上述内容生成了机器人社会情感动作表达的方法，并通过宠物机器人的情感表达任务实验验证了识别度。**结论** 研究提出的机器人社会情感动作表达方法具有模块化表达、系统化设计和流程化分析的优势，包括能够将社会情感拆分成简单的基本情感模块，优化机器人复杂情感表达问题；能够通过系统化设计呈现情感变化过程，展现出机器人的交互意图；能够以流程化分析的方法将情感变化过程细化成具体的组合动作，为机器人情感表达动作的设计提供指导。

关键词：人机交互；机器人情感表达；用户旅程图；社会情感

中图分类号：TB472 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2023)24-0084-07

DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.24.010

Social Emotion Action Expression Method of Robots Based on Customer Journey Map

XIE Qi-si, LU Ding-bang*

(Guangdong University of Technology, Guangzhou 510000, China)

ABSTRACT: The work aims to study the method for robots showing complex social emotions through actions from the analytical perspective based on the customer journey map. At first, the definition and content of social emotion was analyzed. The social emotion was divided into emotions facing oneself and others. Then, the implementation method of the customer journey map was sorted out to extract the elements of events, users, contacts, phases and steps to analogically map robot emotion expression, obtain the research elements of roles, scenes, stimuli, emotion expression processes and emotion expression steps. Finally, the method for robot social emotion action expression was generated based on the above content, and the recognition was verified by the pet robot emotion expression experiment. The robot social emotion action expression method proposed in the research has advantages of modular expression, systematic design and flow analysis. Firstly, social emotions can be divided into basic emotion modules to simplify complex emotion expression problems of robots. Secondly, it presents the process of emotional change through systematic design to show the robot's interaction intention. Thirdly, the process of emotional change is converted into specific combined actions by flow analysis, which provides guidance for the design of robot emotion expression actions.

KEY WORDS: human-computer interaction; robot emotion expression; customer journey map; social emotion

随着机器人技术的不断发展与成熟，机器人的社会情感表达逐步成为人机交互领域亟待解决的重要问题。用户期待机器人通过表达更丰富的情感，以带

来更真实的交互体验。在情感表达中，动作能够展现比表情更广泛的表达内容^[1]，且比声音更具感染力^[2]，因而成为体验经济下具有强大发展潜力的机器人情

感展现方式。当下机器人动作表达的相关研究主要聚焦于基础情感或简单维度情感的表达, 但因其忽略了社交过程中产生的社会情感, 在真实交互情境中的应用十分有限。因此, 如何用动作展现机器人复杂的社会情感是一个重要的研究议题。本研究基于用户旅程图的分析流程, 提出机器人社会情感动作表达方法, 并应用于宠物机器人的社会情感表达任务。经过对 98 人的网络调查后发现, 本文提出的方法能够帮助机器人获得识别度较高的表达效果。

1 机器人情感动作表达现状分析

1.1 机器人情感表达的内容

基本情感是机器人情感表达的主要内容之一。现有研究主要围绕机器人的部分基本情感内容进行讨论。Ekman^[3]提出基本情感包括愤怒、厌恶、恐惧、快乐、悲伤和惊讶。Plutchik^[4]在此基础上增加了信任和期待这两种情感。Dang 等^[5]让 Pepper 机器人在学习不同国家文化后使用悲伤、恐惧、快乐和放松展现对猫图片的情感动作反应。Johnson 等^[6]研究了头部位置与表达愤怒、厌恶、恐惧、快乐、悲伤、惊讶的关系。

维度情感是机器人情感表达的另一个重点研究内容, 通常使用连续维度模型对情感进行分类。相关研究如下。

1) 直接分析情感维度。Valenti 等^[7]通过 Nao 机器人的动作表达展现情感效价 (即情感的愉悦度), 从而帮助翻译帕金森病人的情感状态。

2) 将基本情感与情感维度结合。李洁等^[8]结合 Russell 情感环状模型^[9]的唤醒度和效价维度, 调查 Nao 机器人高兴、生气、悲伤和害怕四种情感的识别性。Novikova 等^[10]提出一个设计框架, 以帮助用乐高搭建的机器人展现害怕、愤怒、快乐、悲伤和惊讶, 并通过改变相关参数调节用户对情感唤醒度、效价和优势度^[11]三个维度的感知结果。

现有使用基本情感和维度情感模型的研究主要关注机器人个体本身的情感状态展现, 忽略了人机交互时受他人影响而产生的情感。这导致机器人在交互过程中情感表达的碎片化, 从而大大降低了机器人的响应可信度和用户的体验感。考虑他人存在的情感是社会情感, 它是人机交互中机器人不可避免的重要内容^[12-13]。但内涵复杂的社会情感如何通过动作进行有效展现和表达仍是目前亟待解决的问题, 因此本文致力于对社会情感的动作表达进行深入研究。

1.2 机器人情感表达的动作类型

目前机器人情感表达通常是以单一动作表达特定的情感, 即通过静态图片或者单一动作的影像展示相应的情感。机器人 Ibuki 在模拟人类行走时, 通过上半身重复的单一动作展现基础情感^[14]。机器人

Shimi 则通过使用与情感相对应的固定动作展现情感反应^[15]。Johnson 等^[16]通过 Nao 机器人展现与生气、悲伤、恐惧、自豪、快乐和兴奋对应的关键姿势来讨论机器人的娱乐价值。

现有研究往往使用相对简单的动作类型进行表达, 忽视了表达主体在角色上的差异性和不同的上下文情景对情感产生的影响。从情感表达角度看, 相对简单的动作表达类型主要关注于展现某一时刻的情感, 没有考虑到情感的变化过程。由此会增加重复表达的可能, 存在表达方式固定化的问题。从交互角度看, 单一动作表达重视对机器人自身状态的展现, 尚处于用户识别情感的被动交互阶段。因此, 机器人所表达的情感无法主动地引导或影响用户反馈, 亦无法实现积极的人机交互。机器人的情感表达动作不仅需要考虑到情景的影响和情感的变化过程, 还需要确保其展现的情感向用户流动, 创建主动式人机交互方式。本研究借助用户旅程图的分析方法帮助解决上述问题。

2 社会情感

Plutchik^[4]认为情感是由刺激引起的一个松散连接的复杂事件链, 包括感觉、心理变化、冲动行动、特定倾向的行为。Scherer 认为情感是一段包含认知评估、生理调节、行动动机、主观感觉、运动表达的五个有机子系统中同步变化且相互关联的所有或大部分内容, 以响应与有机体主要关注相关的外部或内部刺激事件的反应与评价^[5]。综上所述, 情感是对刺激的反应评价, 它含蓄地反映了人类解决问题、决策、思考、感知的过程。

社会情感受到他人的影响而产生, 其内涵根据情感是对“自身情感”的展现还是“面向他人的情感”表达来区分^[17]。结合情感的定义, 可推导出社会情感是基于外界刺激, 展现“自身情感”和“面向他人的情感”这两种情感的结合。其中, 自身情感包括: 对自己行为或处境的评价; 对自身个性的展现; 对自身状态的情感展现。面向他人的情感包括: 对他人行为的评价; 对他人个性或特点的评价; 对外在事件的情感态度。具体如图 1 所示。

Plutchik^[4]认为所有的复杂情感都是由基本情感组合构成的, 即两种基本情感相加可以构成复杂情感。复杂情感普遍也是社会情感, 因此 Plutchik 提出的复杂情感构成内容也适用于放在社会情感内涵中进行分析。笔者将 Plutchik 提出的情感构成内容进一步使用社会情感内涵进行分类总结, 见表 1。

如社会情感内涵所述, “自身情感”和“面向他人的情感”分别有几种类型。以表 1 中的内容为例, “羞耻”是对自己行为的评价和对外在事件的态度: 对自己的行为感到厌恶, 并对事件结果感到恐惧。“乐观”是展现自己的个性和对他人行为的评价: 个体展现快乐的个性并对他人行为 (或将发生的事件) 感到

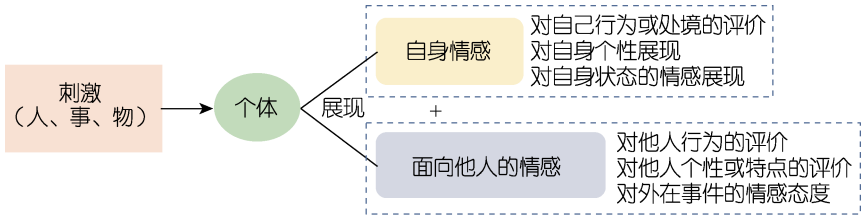


图 1 社会情感内涵
Fig.1 Connotations of social emotion

表 1 社会情感构成分析
Tab.1 Analysis of social emotion compositions

社会情感=	自身情感+	对他人或事件的情感
爱	快乐	信任
服从	恐惧	信任
警觉	害怕	惊讶
失望	惊讶	悲伤
悔恨	厌恶	悲伤
蔑视	愤怒	厌恶
进攻/进取心	愤怒	期待
乐观/积极	快乐	期待
内疚	快乐	恐惧
好奇	信任	惊讶
绝望	恐惧	悲伤
不相信	惊讶	厌恶
嫉妒	悲伤	愤怒
愤世嫉俗	期待	厌恶
骄傲	快乐	生气
希望	信任	期待
高兴	惊讶	快乐
多愁善感	信任	悲伤
羞耻	厌恶	恐惧
愤慨	惊讶	生气
悲观	期待	悲伤
病态	快乐	厌恶
主导	信任	生气
焦虑	期待	恐惧

期待。“服从”是对自身状态的展现和对他人特点的评价：个体处于恐惧状态并对有主导性特点的他人感到信任。

3 基于用户旅程图的社会情感动作表达方法

3.1 用户旅程图的要素

用户旅程图是服务设计的一个有效工具，它以图表形式描述用户在使用产品或经历服务时的体验、主观反映和感受^[18]。它帮助服务提供者站在用户角度，了解用户的想法、感受和需求，使其能更好地分析服务终端各个环节，优化服务流程。

服务设计师若要理解用户，可以通过用户旅程图

分析用户的想法和感受达成。同理，要使人类理解机器人情感动作表达，也可以借助用户旅程图的分析方法帮助其展现情感内容。一方面，是用户旅程图关注对过程的分析，能够用于剖析复杂内容。它有助于将复杂的社会情感内涵展开，呈现情感变化过程和行为意图，以提升机器人表达被理解的概率。另一方面，用户旅程图具有步骤性和操作性，能够深入细节，层层简化，有利于将情感转化为具体的动作内容。

以用户旅程的分析方法指导机器人的情感表达，可以通过提取用户旅程图的分析要素来映射和推导出情感表达的要素。用户旅程图的分析方法包括选择事件、选择用户角色、确定用户体验阶段、定义用户体验步骤等。选择事件是选择用户会经历的真实事件和情景，以进行体验的分析。选择用户角色是为了帮助更准确详细地绘制典型用户的体验旅程。确定用户体验阶段是将用户的体验过程按照时间发展进行整体的阶段划分。定义用户体验步骤是更加微观地分析用户在每一特定的阶段中所经历的步骤。在此基础上，便可基于每个阶段步骤的接触点，寻找用户痛点并进行改进和创新。基于社会情感表达的需求，从用户旅程图的分析方法中提取用户旅程图的要素如表 2 所示。

表 2 用户旅程图要素
Tab.2 Elements of customer journey map

要素	解释
事件	用户旅程图分析的内容对象
用户	选择典型用户角色作为分析视角
触点	与用户发生接触的人、事、物等
阶段	用户在与服务或产品互动时形成的主要阶段
步骤	用户在特定体验阶段中经历的流程步骤，更为微观

3.2 用户旅程图与社会情感动作表达的映射

通过对用户旅程中的事件、用户、触点、阶段和步骤等要素进行分析，笔者可以推导和映射出情感表达要素，见表 3。

事件是用户旅程图所关注和描绘的对象。对机器人情感表达而言，是明确机器人所处的具体情景，可以帮助分析触点和刺激。

用户是用户旅程图绘制时使用的分析视角。相应的，机器人情感表达也需要确认机器人的身份角

表 3 用户旅程图要素和情感表达要素映射关系
Tab.3 Mapping relationship between customer journey map elements and emotion expression elements

用户旅程图要素	事件	用户（用于分析的视角）	触点	阶段	步骤
情感表达要素	机器人所处的情景	机器人角色（需要展现情感反应的个体）	引发情感的刺激	情感表达流程	情感表达动作

色, 不同的角色因身份立场不同, 情感表达的方式也不同。

触点对应的是引发情感反应的刺激。对人、事、物等触点的接触会促使刺激产生, 诱导情感的表达。刺激决定了机器人角色产生什么情感反应, 以及主要对谁反应。

阶段代表着整个交互过程的整体流程划分。对机器人情感表达而言, 就是要展现机器人情感动态变化的过程。基于表达社会情感的目标, 情感表达过程应该有展现接收刺激、表达“自身情感”、表达“面向他人的情感”三个阶段。其中, “接收刺激”是机器人展现接收到刺激源的信息, 因此需要明确刺激源位置, 可表现为“定位刺激触点”。表达“自身情感”应该重在展现机器人个体对刺激产生的情感反应, 可描述为机器人的“个体情感反应”。而表达“面向他人的情感”则意味着需要决策机器人和他人之间关系的方向性, 应该是机器人对他人的“交互行为决策”。当表达“面向他人的情感”是面向事件的情感态度时, 可将交互者作为同伴, 在与同伴的交互中展现对事件的情感态度。例如, “绝望”是个体感到恐惧, 并对事件结果感到悲伤, 对事件结果的悲伤可以通过交互行为向同伴展现出来。

步骤是将阶段中的内容细化为具体流程。在机器人情感表达中, 就是将情感表达流程里展现的行为分解为具体的情感表达动作。

3.3 基于用户旅程图的机器人社会情感动作表达方法

基于对情感表达要素的分析, 可以进一步讨论各要素的关联关系, 具体如图 2 所示。

在机器人社会情感动作的表达内容中, 第一部分是机器人的情感生成, 通过机器人扮演的角色和

机器人所处的情景来影响社会情感的生成。这一步在真实的机器人情感处理过程中主要通过机器学习来完成^[19]。由于情感生成和情感表达在机器人处理情感的过程中紧密相连, 笔者对机器人情感动作表达内容的分析从情感生成的部分开始展开。

第二部分是机器人的情感表达。它主要包含情感表达流程和情感表达动作两块内容。在情感表达流程中, 机器人首先需要接收刺激。该阶段主要通过机器人所处的情景帮助确认产生刺激的触点。此时机器人的具体表现是定位刺激触点。其次, 机器人需要对刺激做出反应, 即表达“自身情感”和表达“面向他人的情感”, 这两种情感由上一部分生成的社会情感内容拆分而成。基于前文对要素的分析可知, 机器人表达“自身情感”的行为表现是展现个体情感反应, 而机器人表达“面向他人的情感”的行为表现是交互行为决策。最后, 基于情感表达流程的内容, 可以进一步分解出具体的机器人情感表达动作。其中, 每一段的具体动作可以是单一动作, 也可以是由多个动作组合而成。这些具体动作可以通过收集相关素材选取获得, 在最终呈现时按照顺序依次展现。

根据以上关于用户旅程图和机器人社会情感表达的关系分析, 可以得出基于用户旅程图的机器人社会情感动作表达的方法步骤如图 3 所示。

表达分析步骤如下。

- 1) 确定机器人角色。
- 2) 确认情景, 并根据情景分析确认刺激触点。
- 3) 分解社会情感内容, 结合刺激触点明确情感表达流程。分解的社会情感内容可以从表 1 中获取。
- 4) 基于相关素材, 确认情感表达动作。基于机器人角色和情感内容收集相关动作素材, 选择合适的

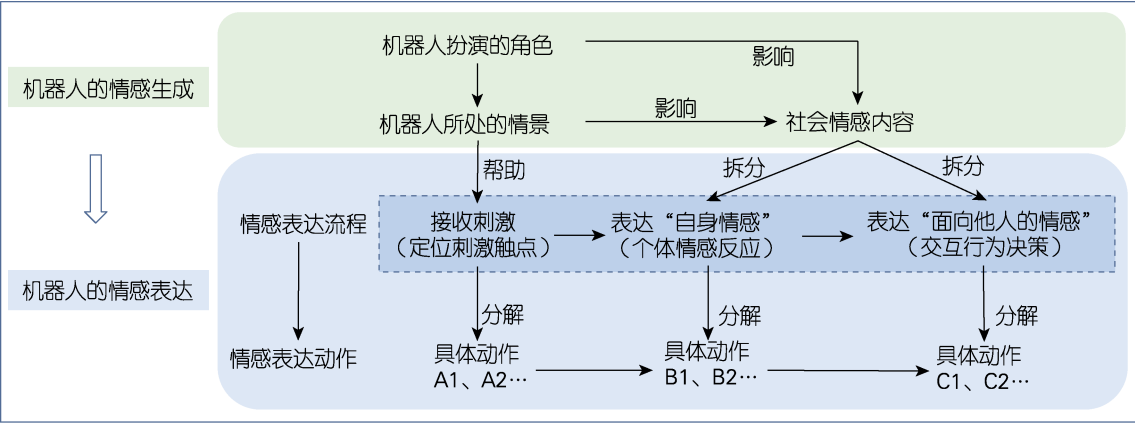


图 2 机器人社会情感动作表达内容
Fig.2 Contents of social emotion action expression of robots

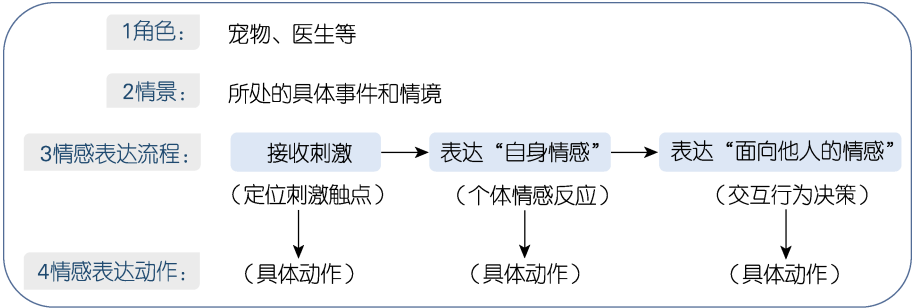


图 3 机器人社会情感动作表达步骤
Fig.3 Steps of social emotion action expression by robots

情感表达动作。在动作的选择上要考虑不同动作之间的连贯性和逻辑性，帮助呈现出具有叙事性和意图性的表达内容。

3.4 机器人社会情感动作表达方法的优势

总体而言，本文提出的机器人社会情感表达方法具有模块化表达、系统化设计和流程化分析的优势，见图 4。模块化表达的优势在于，本研究通过将社会情感模块化分解，把原本复杂的情感内容简化为基本

情感的组合，由此可以使机器人社会情感的表达更容易。系统化设计的优势在于，此方法从情感产生的流程出发，系统化设计机器人的情感表达，将机器人情感变化的过程进行可视化展现，使机器人情感意图和行为趋势更加明确，对用户而言更易理解。流程化分析的优势在于，本方法对需要表达的情感和对应的动作提出了具体分析步骤。按照“角色—情景—情感表达流程—情感表达动作”进行分解，为机器人要表达的动作内容设计建立了一定的指引和判断标准。

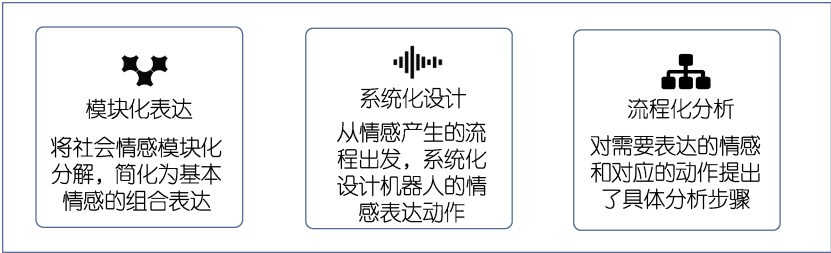


图 4 机器人社会情感表达方法的优势
Fig.4 Advantages of social emotion expression methods of robots

4 案例

本研究以宠物蜘蛛机器人即将与主人一同出门为例子展现“积极”的情感态度，见图 5。具体步骤如下。

- 1) 确定机器人角色——宠物。
- 2) 确认情景：宠物机器人将要与主人一同出门。刺激点：主要是主人，其次是门口。因此，首先要对主人进行定位。

3) 分解社会情感内容，结合刺激触点以明确情感表达流程。情感为：积极=快乐（自身情感）+期待（对他人或事件的情感），即个体情感为表达快乐，与主人表达的交互行为是期待出门。结合对刺激触点的分析，表达流程为：定位主人——表达快乐——期待出门。

4) 基于相关素材，确认情感表达动作。最常见的宠物是狗，因此笔者通过网络视频收集小狗出门的素材，分析得出宠物机器人表达快乐和期待出门的具

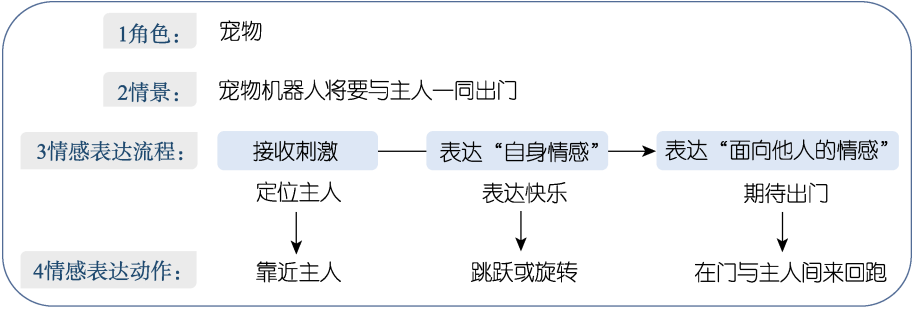


图 5 宠物机器人表达积极的社会情感态度
Fig.5 Expression of positive social emotion attitudes by spider pet robot

体运动方式如下: 靠近主人——跳跃或旋转——在门与主人间来回跑。

本实验通过动画进行仿真模拟, 并在网络发放视频及问答题, 见图 6。首先, 被试需填写个人基本信息, 包括性别、年龄。然后, 请被试对视频中机器人

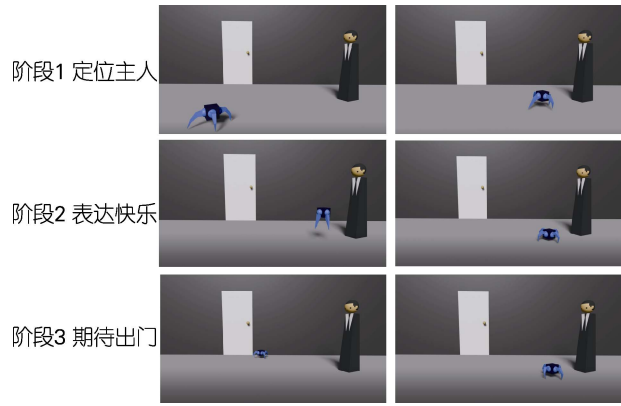


图 6 宠物蜘蛛机器人视频静帧
Fig.6 Screenshots of pet spider robot video

表 4 被试描述内容分析
Tab.4 Analysis of subjects' description

类型	内容	例子	人数	占比/%	总识别度
描述情感和意愿	描述了明确的情感内容和想要出门的意愿	“它非常激动，愿意出门”	59	60.2	98%
		“可以出去啦，好开心”			
		“非常高兴自己能和主人一起外出”			
描述行为意图	描述了与主人的交互行为	“引导主人外出”	37	37.8	
		“示意一同外出”			
		“走走走，出去吧”			

5 结语

机器人的社会情感表达对人机交互体验具有重要作用, 其本质是讨论如何展现用户可以识别和理解的复杂情感类型。用户旅程图是服务设计中帮助设计师理解用户体验流程的工具。将用户旅程图用于机器人情感表达有助于展现机器人情感变化过程, 帮助用户理解机器人情感表达, 同时引导用户参与交互。本文通过对社会情感的分析总结, 将其拆分为“自身情感”和“面向他人的情感”, 并借助用户旅程图的分析方法, 构建了机器人的社会情感表达方法, 最后通过案例验证了可行性。此方法具有模块化表达、系统化设计和流程化分析的优势。它以模块化方式简化复杂的社会情感, 并通过系统化设计呈现情感变化过程, 最后用流程化的分析方法将情感变化过程细化为具体的动作组合。总体而言, 本研究通过使用结构化的研究方法和设计流程以帮助设计活动的展开, 进而能有效指导机器人的社会情感动作表达设计, 促进人机交互的发展。未来发展建议有三: 可以通过资料分析或实验等方式, 探索其他不在本文提到的社会情感

的行为进行描述。共 98 人参与 (51 名男性和 47 名女性), 年龄在 19~60 岁 ($M=31.87$, $S_D=8.1$)。

在被试的 98 人中, 有 96 人的描述与本研究设计的情感表达高度相关, 记为识别, 占 98%, 具体见表 4。其余 2 人, 1 人填写“机器人在生气”, 1 人填写“它在表现自己”, 未明确说出本研究预设的情感和行为意图, 记为不识别, 占比 2%。

对于描述情感和意愿的被试, 虽然他们对机器人情感强度的感知不一样, 比如有的人描述为开心, 有的人描述为激动, 但整体而言, 他们都可以识别情感的正面性及想要出门的行动意愿。对于直接描述行为意图的被试, 他们需要先识别出机器人对即将出门这件事有积极的态度才会判断出机器人有催促和引导出门的行为。因此, 笔者认为被试普遍可以识别机器人面对外出持积极的情感态度, 同时能较好地被引导交互。通过 SPSS 二项分布检验分析得出 $P=0.586$, 因为 $P>0.05$, 所以服从零假设, 即总体的识别率与本实验一致。

及其构成组合; 可以用本方法结合机器学习等技术帮助机器人实现自主学习并表达社会情感; 可以基于本方法更高效地规划动作、表情、声音相结合的多模态表达方式, 创造更丰富的人机交互体验。

参考文献:

[1] CAVICCHIO F, DACHKOVSKY S, LIVNAT L, et al. Compositionality in the Language of Emotion[J]. Plos One, 2018, 13(8): e0201970.

[2] 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.

[3] EKMAN P. Basic Emotions [M]. New York: John Wiley & Sons, 1999.

[4] PLUTCHIK R. Emotion: A Psychoevolutionary Synthesis[M]. New York: Harper & Row, 1980.

[5] DANG Q, NGUYEN T, JEONG S, et al. Encoding Cultures in Robot Emotion Representation[C]// Proceedings of the 2017 26th IEEE International Symposium on

- Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN). Lisbon: IEEE, 2017.
- [6] JOHNSON D O, CUIJPERS R H. Investigating the Effect of a Humanoid Robot's Head Position on Imitating Human Emotions[J]. *International Journal of Social Robotics*, 2019, 11: 65-74.
- [7] VALENTI A, BLOCK A, CHITA-TEGMARK M, et al. Emotion Expression in a Socially Assistive Robot for Persons with Parkinson's Disease[C]// PETRA '20: Proceedings of the 13th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. New York: Association for Computing Machinery, 2020: 1-10.
- [8] 李洁, 袁雪纯, 张千. 类人型机器人动作情感识别研究[J]. *包装工程*, 2022, 43(10): 66-72.
LI Jie, YUAN Xue-chun, ZHANG Qian. Emotion Recognition of Humanoid Robot Action[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(10): 66-72.
- [9] RUSSELL J A. A Circumplex Model of Affect[J]. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1980, 39(6): 1161-1178.
- [10] NOVIKOVA J, WATTS L. A Design Model of Emotional Body Expressions in Non-humanoid Robots[C]// Proceedings of the International Conference on Human-agent Interaction. New York: Association for Computing Machinery, 2014.
- [11] MEHRABIAN A, RUSSELL J A. An Approach to Environmental Psychology[M]. Cambridge: MIT Press, 1974.
- [12] GROECHEL T R, SHI Z, PAKKAR R, et al. Using Socially Expressive Mixed Reality Arms for Enhancing Low-Expressivity Robots[C]// 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN). New Delhi: IEEE, 2019.
- [13] CHUAH H W, YU J. The Future of Service: The Power of Emotion in Human-robot Interaction[J]. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 2021, 61(3): 102551.
- [14] YAGI S, ISE N, YU S, et al. Perception of Emotional Gait-like Motion of Mobile Humanoid Robot Using Vertical Oscillation[C]// Proceedings of the HRI '20: ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. New York: Association for Computing Machinery, 2020, 3: 529-531.
- [15] SAVERY R, ROSE R, WEINBERG G. Establishing Human-Robot Trust through Music-driven Robotic Emotion Prosody and Gesture[C]// 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN). New Delhi: IEEE, 2019.
- [16] JOHNSON D O, CUIJPERS H R, POLLMANN K, et al. Exploring the Entertainment Value of Playing Games with a Humanoid Robot[J]. *International Journal of Social Robotics*, 2016, 8: 247-69.
- [17] HIEIDA C, NAGAI T. Survey and Perspective on Social Emotions in Robotics[J]. *Advanced Robotics*, 2022, 36: 17-32.
- [18] 陈嘉嘉, 王倩, 江加贝. 服务设计基础[M]. 南京: 江苏凤凰美术出版社, 2018.
CHEN Jia-jia, WANG Qian, JIANG Jia-bei. *Service Design Basics*[M]. Nanjing: Jiangsu Phoenix Fine Arts Publishing House, 2018.
- [19] KOWALCZUK Z, CZUBENKO M, MERTA T. Interpretation and Modeling of Emotions in the Management of Autonomous Robots Using a Control Paradigm Based on a Scheduling Variable[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2020, 91(5): 103562.

责任编辑: 蓝英侨