

“心链”：面向儿童教育的模块化多模态交互机器人设计

李欣, 陈泳妤, 赵芷妍, 樊敏达*

佛山大学设计学院, 广东 佛山

收稿日期: 2026年4月24日; 录用日期: 2026年6月10日; 发布日期: 2026年6月18日

摘要

当前, 双职工家庭增多与亲子互动匮乏导致越来越多的儿童陷入“情感孤岛”, 其情感健康与社交发展面临严峻挑战。针对双职工家庭增多背景下儿童高质量陪伴缺失的问题, 本研究提出“心链(BondBot)”模块化多模态交互机器人设计方案。研究构建了“情感感知与响应-亲子协同中继-模块化成长支持”三层交互模型, 原型实现了触摸触发表情反馈、家长端小程序远程语音留言与交互日志同步等核心功能。通过对儿童家长的问卷调查, 57.41%的家长认同机器人作为“传递家长关爱媒介”的角色; 79.63%的家长认为毛绒、非人形外观更具亲和力; 46.30%的家长在模拟加班场景中首选“预先录制故事”模式。研究重点在于设计理念、交互模型构建与面向家长的用户概念验证, 为智能陪伴设备设计提供了新思路。

关键词

儿童情感陪伴, 多模态交互, 模块化设计, 亲子协作

“BondBot”: Design of Modular Multimodal Interactive Robot for Children's Education

Xin Li, Yongyu Chen, Zhiyan Zhao, Minda Fan*

School of Design, Foshan University, Foshan Guangdong

Received: April 24, 2026; accepted: June 10, 2026; published: June 18, 2026

Abstract

In contemporary Chinese society, the steady increase in the number of dual-income families, coupled with the growing inadequacy of quality parent-child interaction time, has caused an escalating number of children to fall into what this study defines as a state of “emotional isolation”. This prevailing

*通讯作者。

文章引用: 李欣, 陈泳妤, 赵芷妍, 樊敏达. “心链”: 面向儿童教育的模块化多模态交互机器人设计[J]. 设计进展, 2026, 11(3): 146-155. DOI: 10.12677/sheji.2026.113013

social phenomenon has given rise to increasingly severe challenges that threaten children's healthy emotional development and the normal cultivation of their social competence and interpersonal skills. Targeting specifically the pressing problem of the lack of high-quality parental companionship for children against the broader social background of the continuous growth of dual-income family structures across the nation, this research puts forward a systematic design proposal for a modular multimodal interactive robot specifically developed for children's educational purposes, officially named "BondBot", or "Xinlian" in Chinese phonetic translation. This research systematically establishes a comprehensive three-layer interaction model, which consists of three sequentially connected and functionally complementary components: the first layer focuses on emotion perception and appropriate response mechanisms, the second layer serves as the parent-child collaborative relay system, and the third layer provides modular growth support functions for long-term adaptation. Based on this theoretical framework, the research team has successfully developed a functional prototype that effectively realizes several core interaction functions. These key functionalities include the mechanism of triggering corresponding facial expression feedback through physical touch input, the technical implementation of remote voice message delivery through a dedicated parent-side WeChat mini-program, and the automatic synchronization function of all interaction behavior logs between the robot terminal and the parent's mobile application interface. Through a carefully designed questionnaire survey administered to parents of children within the target age group, this study has obtained several significant empirical findings. The statistical results demonstrate that 57.41 percent of the participating parents express their recognition and approval of the robot's important role as an effective "medium for transmitting and conveying parents' love and care to their children". Furthermore, 79.63 percent of the parent respondents hold the opinion that a soft plush texture combined with a non-humanoid appearance design can significantly enhance the product's sense of intimacy and emotional approachability for young users. Additionally, when presented with a simulated work overtime scenario that represents a typical situation in dual-income families, 46.30 percent of the participating parents select the "pre-recorded story playback" mode as their preferred method of remote interaction with their children. The primary focus and contribution of this research lie in the innovative design philosophy, the systematic construction of the three-layer interaction model, and the user concept validation conducted from the parental perspective, which collectively provide valuable new perspectives and practical references for the future design and development of intelligent companion devices for children.

Keywords

Children's Emotional Companionship, Multimodal Interaction, Modular Design, Parent-Child Collaboration

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 绪论

1.1. 研究背景

在社会经济转型与家庭结构变迁的双重驱动下，儿童陪伴缺失已从个体家庭问题演变为关乎人口素质发展的社会议题，其对儿童心理层面的多维影响已得到实证研究证实，而情感陪伴型机器人作为技术解决方案，展现出重要的研究与应用价值。在农村，留守儿童面临日常互动与情感回应的稀缺；在城市，双职工家庭导致儿童“情感孤岛”现象日益突出，根源在于高质量亲子陪伴的结构性短缺^{[1][2]} (见表 1)。然而，当前主流陪伴机器人多停留在单向知识灌输或固定程序层面，在情感感知准确性、亲子协作主动

性和功能扩展个性化方面存在明显不足[3][4]。由此引出本研究的核心问题：如何设计一款能理解儿童情感、促进亲子联结、灵活适应成长需求的机器人系统？需首先说明，受限于本科阶段研发能力，本研究涉及的情绪识别等功能仅处于概念模拟阶段，尚非成熟商业方案。因此，研究重点为设计理念、交互模型、原型开发与面向家长的概念接受度验证，不做高精度算法深究。

Table 1. Statistics of children's family upbringing

表 1. 2020 年全国儿童家庭抚养情况统计

指标	全部儿童	城镇	农村	男性	女性	城镇留守儿童	农村留守儿童	流动儿童	少数民族儿童	原贫困地区儿童
人数(万人)	29,766	18,734	11,031	15,842	13,924	2,516	4,177	7,109	3,459	6,517
居住方式构成(%)										
与父母双方居住	63.6	67.2	57.9	63.8	63.3	-	-	61.8	62.9	56.3
不与父母双方居住	36.4	32.8	42.1	36.2	36.7	100	100	38.2	37.1	43.7
父母双方在家	8.4	6.3	11.6	8.5	8.2	27.0	24.6	3.8	8.3	9.7
	1.9	1.4	2.6	2.0	1.7	-	-	1.0	2.0	2.1
	11.2	10.6	12.2	11.0	11.5	41.0	29.8	9.3	11.4	13.8
与祖父母一起居住	1.4	1.6	1.1	1.3	1.5	-	-	1.2	1.9	1.4
	6.1	3.6	10.1	6.1	6.1	16.9	27.1	3.5	6.8	9.0
父母均不在家	4.8	6.1	2.8	4.6	5.1	8.9	5.6	11.0	5.2	4.8
	5.8	6.1	5.4	5.9	5.7	6.1	12.9	10.6	5.4	4.3

数据来源：根据 2020 年全国人口普查微观数据计算。

1.2. 国内外研究现状

国外研究起步较早，聚焦情感计算与人机交互融合，已形成了从实验室原型到临床应用的完整链条。OpenFace 作为开源面部动作单元检测工具，可实时捕捉儿童面部微表情变化，输出标准化情感特征，为语音、姿态、生理信号的多模态情感识别提供了核心视觉技术支撑；PARO 海豹仿生机器人通过触觉、听觉传感实现情绪安抚，外形毛绒可爱，已在儿童心理干预与自闭症治疗中试用，能有效缓解焦虑情绪；索尼 Aibo 机器狗通过拟人化动作和语音交互模拟陪伴，可机器学习适应儿童习惯，很多儿童会对其产生类似真实宠物的情感依恋[5]。此外，社交机器人对儿童分享行为等社会性发展的影响得到实证关注[6]，人们在特定条件下会对机器人产生共情反应[7]。上述研究在识别精度、反馈自然度及心理机制层面为本设计提供了重要参考，但国外产品往往成本高昂，且较少考虑中国家庭的教育场景与亲子沟通习惯。

国内研究发展迅速，但整体仍处于基础交互阶段[8]。市场上主流产品如阿尔法蛋、布丁豆豆等多仅实现语音对话、故事播放等功能，缺乏语音-视觉-触觉多模态融合，难以精准捕捉儿童复杂情绪。在学术层面，交互语言设计[9]、界面情感化[10]、眼动实验指导造型[11]等方面虽有探索，但未建立“儿童-机器人-家长”三方协同体系，无法满足家长远程参与需求[1]。传感器技术虽被用于儿童益智陪玩机器人[12]，但教育内容多为通用推送，未结合年龄和兴趣定制[5]。总体来看，国内产品在情感陪护属性上偏弱，亲子协同机制普遍缺失，且外观多采用塑料外壳与电子屏幕组合，缺乏毛绒材质带来的触觉亲和力。上述不足为本研究明确了改进方向。

1.3. 本研究的创新点

针对上述局限,本研究设计“心链”(BondBot)模块化多模态交互机器人,构建能真实响应儿童情感需求、促进亲子联结、具良好扩展性的陪伴系统。设计以多模态情感识别为核心:设计上通过摄像头捕捉面部表情(当前以触摸触发方式模拟流程),结合语音交互,驱动屏幕表情与声音反馈,形成“感知-识别-反馈”闭环。引入“家长-孩子-机器人”三方协作机制,构建小程序支持语音脚本设定和情绪记录查看,缓解“隐性失陪”问题。采用模块化架构支持语言卡、AR科普等扩展,为特殊教育内容接入预留可能。外壳融合柔软毛绒材质,提升触觉舒适与拥抱真实感。下文将围绕此模型的构建、实现与验证展开系统论述。

2. 理论基础与研究方法

2.1. 理论梳理与研究切入点

本研究以“以用户为中心”为理念,参考诺曼情感化设计三层次理论:本能层采用圆滚造型、柔和配色和毛绒材质营造安全感;行为层设计语音、视觉、触觉多模态交互,确保反馈清晰可靠;反思层通过亲子协作机制使机器人成为情感联结纽带[13]。参考儿童发展研究,明确机器人定位为促进亲子互动的“中介”而非父母替代品[4]。研究显示,儿童对机器人的接受度与“软萌”外观、及时反馈和互动自主感正相关[14],为毛绒材质和动态反馈设计提供了依据。

2.2. 竞品分析与设计机会定义

为将上述理论视角落地,我们对市场主流竞品进行了系统分析,发现了一些共性短板:现有产品多基于单次静态识别,随着交互时长增加,识别准确率显著衰减,难以维持连贯的情感反馈。情绪识别多限于“高兴”二分类,复杂情绪识别弱;交互以“儿童-机器人”单向为主,缺乏三方协同;功能扩展不足,内容同质化。基于此我们定义“心链”设计方向:一是动态情绪陪伴,能识别混合情绪并调整交互策略;二是亲子远程协同,构建家长端情绪可视化与远程任务推送;三是触感交互一体化,采用可拆卸毛绒外套提升亲和力。

2.3. “心链”三层交互设计模型构建

综合理论指导与市场缺口分析,本研究提出“心链”三层交互设计模型,为系统开发提供整体框架:
情感感知与响应层:作为基础层,通过多模态传感器感知儿童状态,并依托“情绪演化路径”分析模型,驱动语音、表情、动作形成动态、连贯的情感闭环反馈。

亲子协同中继层:作为核心创新层,定义机器人作为“情感中继站”的角色。该层支持家长远程注入情感内容(如语音),并向家长同步反馈儿童状态(如情绪日志),从而构建双向、闭环的亲子情感连接纽带。

模块化成长支持层:作为扩展层,通过可灵活装卸的硬件模块与可持续更新的软件内容池,适配儿童不同成长阶段的教育与陪伴需求,确保持久吸引力。

2.4. 研究流程与设计决策论证

为论证设计决策的合理性,本研究将核心创新点与用户需求、理论依据及验证方式进行了对应:三方协作机制对应家长远程参与诉求,依托生态系统理论,通过硬件音频更新与软件日志实现,验证方式为问卷;情绪演化路径设计对应单次识别准确率衰减问题,依托动态系统理论,通过OLED表情序列实现渐进式反馈,验证方式为问卷评估;毛绒外观对应儿童对柔和形态的偏好,依托认知发展理论,通过EVA泡沫与短毛绒布料实现,验证方式为亲和力对比[15]。

3. 系统设计与架构

3.1. 整体架构概览

为践行第二章提出的三层设计模型，“心链”系统采用模块化架构。硬件上以树莓派 Pico 为核心控制器，集成触摸传感器、摄像头、OLED 屏、舵机、毛绒外壳等模块。软件上采用微 Python 编写，实现感知、决策、反馈的逻辑闭环，并预留数据接口。

3.2. 对应各层模型的核心实现

首先是情感感知与响应层的实现。其目前仅停留在概念模拟阶段。受本科条件所限，我们采用触摸触发代替实时识别：儿童触摸机器人胸口后，摄像头拍摄静态照片，电脑利用开源视觉工具离线分类情绪，结果再传入机器人，触发 LED 闪烁、屏幕奖励图标和庆祝音效作为反馈。由于树莓派 Pico 算力不足，这一步无法做到实时高精度情绪识别，主要目的是验证“感知-反馈”的交互闭环逻辑是否成立。虽然后端识别尚不成熟，我们已经在家长端完成了情绪数据可视化的界面原型，如图 1 所示，我们将情绪数据用表情符号、评分数字和趋势折线图加以可视化。页面顶部提示“实时监测中”，中区用大面积色块突出当前心情，底部用折线图展示全天波动。当前页面展示的均为模拟数据，用于检验“家长远程查看儿童情绪”这一场景的设计合理性以及界面信息层级是否清晰。



Figure 1. Parent-side “Mood Detection” UI prototype
图 1. 家长端“心情检测”界面原型

其次是亲子协同中继层的实现。家长在微信小程序录语音，文件经 WiFi 上传云端暂存；机器人连入家庭 WiFi 后，每隔半分钟查询一次服务器，有新留言即下载播放。同时，机器人将互动时长与触发方式回传，家长可在“成长记录”中查看。由此形成“家长发语音→云端暂存→机器人播放→日志回传→家长查看”的闭环。系统软件分为三层：底层为传感器与音频硬件，中间层负责网络传输，上层为小程序界面。如图 2 所示，家长经上层发起操作，由中间层完成传输，再由底层接收执行；日志沿原路回传显示，实现异步协同。

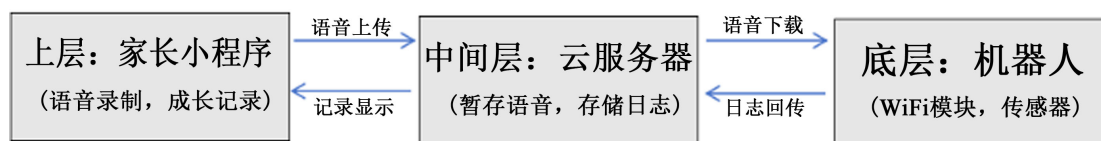


Figure 2. Software architecture and data flow of the parent-child collaboration layer

图 2. 亲子协同层软件架构与数据流程示意图

为验证该层，我们完成了小程序原型。如图 3 所示，第一张主控界面可查看状态并一键发送“拥抱”指令；第二张语音界面支持远程点播与对话；第三张视频界面支持双向通话。上述界面覆盖了远程陪伴的主要场景，验证了设计可行性。

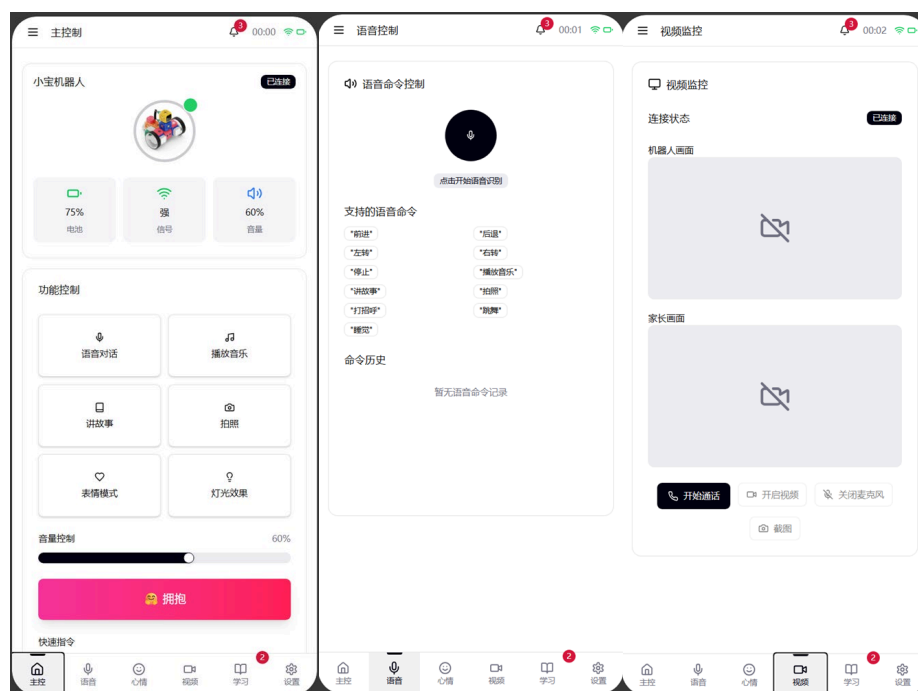


Figure 3. Key interface prototype of the parent-side mini program

图 3. 家长端小程序关键界面原型

最后是模块化成长支持层的实现。为实现系统的可扩展性，我们在软硬件层面都采用了“可升级”的设计。硬件上，主体支持连接未来可能新增的功能模块。软件上，所有故事、知识等内容均以独立文件形式存放，后续只需像更新手机应用一样增加新内容包，即可丰富机器人的陪伴功能，适应孩子成长的不同阶段。

3.3. 外观与人机工程学设计

为了把设计模型具体化,我们的外观与人机工程学设计遵循情感化设计三层次理论[13]。本款“心链(BondBot)”机器人的整体形态、结构细节及应用场景如图4所示。“作为引用语句本能层采用“软萌小熊”非人形主题,头大身圆,浅米色短毛绒面料包裹EVA泡沫内衬,所有边角大圆角处理,营造安全感与拥抱感[15]。行为层设置头顶OLED屏显示表情符号,胸口触摸感应区与隐藏摄像头保证交互自然,四肢软胶关节实现简单动作。反思层通过40厘米可拥抱尺寸与温暖材质,鼓励亲密接触,成为亲子情感传递的实物载体。



Figure 4. Three views and application scene diagram of “BondBot” robot
图4. “心链”机器人产品三视图及应用场景图

4. 设计验证与用户研究

4.1. 研究设计与方法

本研究处于设计概念验证阶段,核心目标是评估家长对“心链”系统设计理念与功能架构的接受度,而非测试儿童与机器人的实际互动效果。受限于本科研究条件、伦理审批周期与设备数量,本次调研未开展儿童行为观察实验,样本对象为54名3至10岁儿童的家长。研究先准备了包含机器人毛绒外观效果图、功能演示视频和互动流程说明的材料包,在网上给目标用户展示,然后请他们填一份结构化的问卷,来定量评估他们对各项设计创新的接受程度,同时也收集开放性的建议。问卷一共收回54份有效样本。填问卷的妈妈占53.7%,爸爸占46.3%;85.19%的家庭已经有类似的智能陪伴设备,说明样本对这类产品有一定了解。用户的孩子的年龄集中在3到8岁(占82.4%),和产品的目标年龄段非常吻合,增加了调研结果的代表性。

在测量工具方面,问卷主体有12道核心陈述题,都用李克特五级量表(1=非常不同意,5=非常同意)来测量,用来评估家长对理念、功能和外观的认可度。同时,问卷设置了开放性问题,来收集用户主要担心什么、有什么改进建议;另外,还用情境选择题模拟真实使用场景,进一步探索用户喜欢的互动模式。整个调研用了描述性统计和主题分析相结合的方法,目的是系统地获取用户反馈,为后面改进设计提供依据。

4.2. 用户接受度与需求分析

基于问卷数据的系统分析如下。首先,从核心理念与角色定位接受度来看,关于“机器人作为传递

家长爱与引导的媒介”，57.41%的家长表示“同意”或“非常同意”，仅12.96%表示“非常不同意”，表明多数认可“心链”作为“情感放大器”角色定位(图5)。

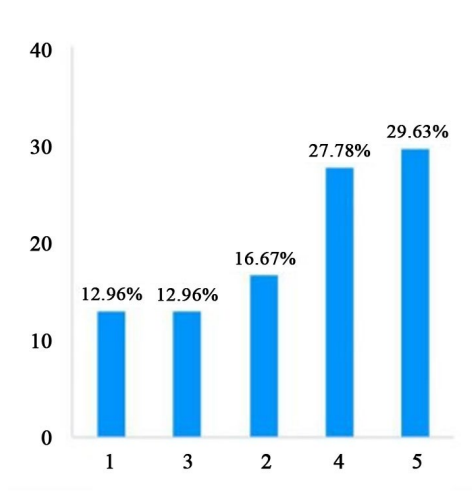


Figure 5. Distribution of parents' acceptance of "robots as a medium for conveying care"
图5. 家长对“机器人传递关爱媒介”的认同度分布

而在家长角色感知方面，如图6词云图，59.26%受访者认同“家长预录制语音/选择内容由机器人传递”方式，使其感觉自己是互动的“参与者”或“设计者”，验证了亲子协同层设计的有效性。55.55%受访者表达对“长期使用可能减少真实亲子交流”的担忧，提示需融入防沉迷机制(图6)。



Figure 6. Word cloud of parents' role perception
图6. 家长角色感知词云图

其次，在核心功能模块价值验证方面，各项具体功能亦获得了积极反馈。比如“家长通过手机APP远程为机器人选择活动或故事”的功能，合计61.11%的受访者认为具有实用价值；而在模拟“加班时与孩子互动”的场景中，46.3%的家长首选“预先录制故事”模式。这有力支撑了“亲子协同中继层”中“家长远程注入情感内容”这一设计方向。最后，在外观设计整体接受度方面，对于外观，合计79.63%的家长认同“毛绒、柔软、非人形的外观”能让孩子感到亲切和安全。这一结果直接验证了“心链”采用毛

绒材质与圆润造型的设计决策，有效回应了儿童对“可爱-柔和”形象的偏好，从本能层面构建了亲和力。结合开放式问题的反馈，用户认为“家长录音传递爱”与“情绪安抚”功能最具价值；其核心顾虑集中于数据隐私安全、产品耐用性及是否会导致孩子过度依赖；同时，用户期望未来能增加多子女适配、与学校课程内容联动等扩展功能。以上数据系统展示了“心链”各核心设计决策均获得了明确的用户数据支撑，从理念定位到功能模块再到外观细节，形成了完整的“设计-验证”闭环。

4.3. 研究局限说明

需要特别指出的是，本次用户研究仅面向家长收集态度数据，属于设计前期的概念验证。家长对产品的“接受度”并不等同于儿童的“实际使用效果”与“长期兴趣”。由于缺乏对儿童真实互动行为的直接观察，本研究结论主要反映成人视角下的设计期待，未能深入触及儿童-机器人交互的本质特征。儿童对毛绒外观的触觉反馈、对语音内容的情感回应、长期使用后的行为变化等关键问题，有待后续开展儿童实地观察研究加以验证。这也是本研究作为本科设计探索不得不接受的现实局限。

综上所述，本章的用户研究系统验证了“心链”机器人“情感协同中继”核心模型及其关键设计点的有效性，与用户接受度。调研结果不仅为后续原型细化与功能迭代提供了坚实的数据支撑，也明确了在家长端功能完善、材质安全验证及隐私保护机制等方面需优先投入的方向。

5. 结果分析与未来展望

本研究针对儿童情感陪伴机器人领域存在的“情感交互单向、亲子协同缺失、功能扩展固化”等设计问题，提出了“心链”三层交互设计模型，并据此完成了原型系统的概念设计与家长端验证。该模型的核心贡献在于将陪伴机器人的角色从传统的“陪伴执行者”重新定义为“情感协同中继者”：通过情感感知与响应层建立儿童与机器人的即时互动通道，通过亲子协同中继层将缺席家长重新纳入交互闭环，通过模块化成长支持层保障系统的长期适配性。这一框架为智能陪伴设备的设计提供了一套兼顾理论深度与实操性的参考路径。

作为探索性研究，当前工作仍存在一定局限。在技术层面，情绪识别功能尚处于模拟阶段，其实际识别精度、实时性有待通过集成更先进的算法来提升。在研究层面，用户调研的样本量有限，且缺乏儿童直接互动数据与长期追踪，因此无法评估该系统对儿童情感发展与亲子关系的长期效应。基于此，未来研究首先需要在扩大样本的基础上开展纵向研究，从发展心理学角度量化评估模型对儿童情绪调节与亲子关系的长期效应；其次，可将已验证的“协同中继”模型与更专业的感知及干预技术结合，拓展至特殊教育需求场景，例如为孤独症谱系儿童开发社交故事训练模块；此外，随着技术深入，必须同步构建相应的伦理实施框架。总之，本研究通过初步构建与验证“心链”模型，为破解儿童陪伴机器人情感单向、协同缺失的难题提供了新思路，后续工作需在深化理论、扩展技术、恪守伦理方面持续努力，使人工智能真正成为促进儿童健康成长的温暖助力。

基金项目

2025 年度佛山大学校级学术基金一般项目。

注 释

文中所有图片均为作者自绘或者自摄。

参考文献

- [1] 李丽丽, 徐江华. 基于用户体验的儿童陪伴机器人设计研究[J]. 浙江工艺美术, 2024(19): 166-168.

-
- [2] 刘维, 覃邱童. 保障“不缺位”关爱“有温度” [N]. 来宾日报, 2025-09-19(001).
- [3] 蔡汶霏, 梁崴, 周林, 等. 超重和肥胖儿童 24 h 活动行为与心理幸福感的关系[J]. 中南大学学报(医学版), 2025, 50(4): 694-705.
- [4] 李艳玮, 冯子予, 周璇, 等. 父母缺位对儿童早期依恋的消极影响: 基于教育神经科学的证据[J]. 学前教育研究, 2023(1): 19-28.
- [5] 王瑾. 基于泛灵论的儿童情绪教育产品设计研究[J]. 玩具世界, 2025(5): 49-51.
- [6] 李卉, 刘思懿, 庞怡. 社交机器人对 3-5 岁儿童分享行为的影响[J]. 心理学报, 2025, 57(4): 573-583.
- [7] 陈敏, 周可, 颜志强. 人们何时对机器人共情?机器人身份未知时儿童和成人会对其产生共情[C]//中国心理学会. 第二十五届全国心理学学术会议摘要集——专题研讨会. 2023: 109-110.
- [8] 金雅庆, 李莹. 儿童智能陪伴机器人的情感化设计研究[J]. 工业设计, 2024(5): 54-57.
- [9] 李建涛, 谢思琦. 儿童语言智能产品的交互语言研究[J]. 天津师范大学学报(社会科学版), 2025(1): 129-140.
- [10] 黄淼, 贺佳雨. 儿童学习机器人交互界面情感化设计研究[J]. 包装与设计, 2025(3): 76-77.
- [11] 刘春丽, 王爱红. 基于眼动实验的学龄前儿童机器人设计[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 210-216.
- [12] 张苗, 刘满荣. 基于传感器技术的儿童益智游戏陪玩机器人设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2023(9): 178-182.
- [13] 朱宏轩, 张耀尹, 徐博文. 基于情感化设计理论的儿童学习陪伴型机器人造型设计[J]. 机械设计, 2016, 33(4): 122-124.
- [14] 李洁, 赵爽, 刁云慧, 等. 学前儿童对陪伴机器人的生命感知及其交互机制[J]. 学前教育研究, 2023(3): 58-69.
- [15] 丁治中, 荣一潼, 许卫丽. 可拓学下儿童陪伴机器人造型意象设计研究[J]. 机械设计与制造, 2025(11): 315-321.