

分类号: C939

密 级: 公开

学校代码: 10363

学 号: 2210720119



安徽工程大学

Anhui Polytechnic University

硕士学位论文

题目 服务机器人拟人化特征对用户行为意图的
影响: 基于脑电信号分析研究

论 文 作 者 郭冉

指 导 教 师 丁一 副教授

学 科 (专 业) 管理科学与工程

研 究 方 向 工业工程与管理

论文提交日期: 2024 年 6 月 3 日

分类号: C939
密 级: 公开

单位代码: 10363
学 号: 2210720119

题 目 服务机器人拟人化特征对用户行为意图的响: 基于脑电信号分析研究

英文并列

题 目 Effects of Anthropomorphic Features of Service Robots on User Behavioral Intentions: A Study Based on EEG Signal Analysis

学生姓名: 郭冉

指导教师: 丁一 副教授

专 业: 管理科学与工程

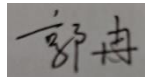
研究方向: 工业工程与管理

论文答辩日期: 2024 年 5 月 29 日

安徽工程大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：



日期：2024 年 6 月 3 日

安徽工程大学学位论文版权使用授权书

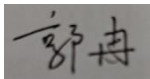
学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权安徽工程大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 ☐，在 _____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

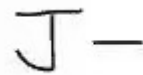
不保密 ☒。

学位论文作者签名：



日期：2024 年 6 月 3 日

指导教师签名：



日期：2024 年 6 月 3 日

服务机器人拟人化特征对用户行为意图的影响：基于脑电 信号分析研究

摘 要

随着新一代信息技术与机器人技术深度融合，服务机器人已经逐渐融入我们日常生活的各个领域。特别是在疫情爆发后，服务机器人在医疗领域的应用也日益广泛。拟人化特征不仅在服务机器人领域是一个重要研究课题，而且可以增强消费者信任感和亲密度。因此，本文旨在通过脑电实验的方式，探究服务机器人拟人化特征对用户行为意图以及神经加工活动的影响，考察拟人化程度、性别特征以及拟人化角色类型因素影响用户行为意图以及神经加工活动。

本文以服务机器人为研究对象，包括在线医疗服务机器人、虚拟聊天服务机器人、医疗服务机器人。为了探究拟人化特征对用户行为意图影响，本文选择服务机器人的拟人化程度、性别特征以及拟人化角色类型要素，设计了交互体验阶段的脑电实验，从神经认知角度进行研究。研究发现集中在以下三个方面：

（1）服务机器人拟人化程度对用户行为意图影响研究。研究表明，在神经认知加工方面，与中度或高度拟人化的在线医疗服务机器人相比，低度拟人化的机器人诱导的 P200 和 P300 振幅更大，导致注意资源增加。与高度拟人化的机器人相比，中度拟人化的在线医疗服

务机器人诱发的 P200 和 P300 振幅也更大，并且吸引了更多的注意力。使用意图的结果显示，用户对低度拟人化表现出较强的使用意图。

（2）服务机器人性别特征对用户行为意图影响研究。研究结果发现，在使用意图方面，用户对女性虚拟服务机器人要比男性机器人有更强的使用意图。而在考虑用户性别后，女性用户对同性的机器人有更大的使用意图；男性用户对异性的机器人有更大的使用意图。从神经加工层面来看，女性虚拟聊天机器人比男性虚拟聊天机器人诱发的 P100、P200 振幅更大，说明女性虚拟聊天机器人分配了更多用户注意力资源。在考虑用户的性别后，女性虚拟聊天机器人继续影响 N100、P100 和 P200。女性虚拟聊天机器人比男性虚拟聊天机器人诱导的 P100 和 P200 更高，这表明女性用户对同性机器人表现出更积极的情绪。男性用户对男性虚拟聊天机器人比女性虚拟聊天机器人产生的 N100 成分更为显著，这表明他们分配给同性机器人更多的注意力资源。

（3）服务机器人拟人化角色对用户行为意图影响研究。研究结果显示，在主观行为方面，用户对于拟人化角色的接受度很高且相较于伙伴型医疗服务机器人，用户倾向于仆人型机器人。在神经加工方面，拟人化角色的主效应在 delta、theta、alpha 波段接近显著且相较于伙伴型服务机器人，仆人型机器人 delta、theta、alpha 波能量显著增大，这表明用户在与仆人型机器人交互时可能体验到更高的放松程度、更强的情感认知参与、进行更多的信息处理。拟人化角色和大脑位置之间在 theta、alpha、beta、gamma 上存在显著交互效应。具体来

说，在前额叶极皮层、前额叶、中央叶，用户在与伙伴型服务机器人交互时，右边大脑区域比左边大脑区域有更大的 θ 、 α 、 β 、 γ 波段；在与仆人型机器人交互时，用户在枕叶左边大脑区域比右边有更大的 α ，用户在中央叶左边大脑区域比中线大脑有更强的 γ 波段。这表明不同类型的拟人化角色在与用户交互时，会引发大脑不同区域的特定频段活动变化。伙伴型机器人可能激发了更多的社交和情感相关的脑区活动，尤其在前额叶区域，这可能与建立情感联系和互动有关。而仆人型机器人可能更多地触发了与注意力集中、信息处理或视觉处理相关的脑区活动，如枕叶和中央叶区域的 α 和 γ 波段活动。

本文揭示了服务机器人拟人化程度、性别特征以及角色类型对用户行为意图的神经加工影响，为我们更好地理解服务机器人用户的神经活动过程提供了有价值的见解。同时，本研究结果可为设计师更好的设计相关服务机器人提供更有效的指导。

关键词：服务机器人，拟人化特征，用户行为意图，神经加工活动，脑电信号

Effects of Anthropomorphic Features of Service Robots on User Behavioral Intentions: A Study Based on EEG Signal Analysis

ABSTRACT

With the deep integration of next-generation information technology and robotics, service robots have gradually become integrated into various aspects of our daily lives. Especially after the outbreak of the pandemic, the application of service robots in the medical field has become increasingly widespread. Anthropomorphic features are not only an important research topic in the field of service robots, but also can enhance consumer trust and intimacy. Therefore, this research aims to explore the impact of anthropomorphic features of service robots on user behavioral intentions and neural processing activities through electroencephalogram (EEG) signals, particularly in the medical service scenario, examining the effects of anthropomorphism level, gender features, and anthropomorphic role on user behavioral intentions and neural processing activities.

This study focuses on service robots, including online medical service robots, virtual chatbots, and medical service robots, as the research objects. In order to explore the impact of anthropomorphic features on user

behavioral intentions, this research selected anthropomorphism level, gender features, and anthropomorphic role as factors and designs EEG experiments during the interactive experience stage to conduct research from a neurocognitive perspective. The research findings are concentrated in the following three aspects:

(1) Research on the impact of anthropomorphic level of service robots on user behavioral intention. The study indicates that in terms of neural processing activity, compared to moderately or highly anthropomorphic online medical service robots, robots with low anthropomorphism induce larger P200 and P300 amplitudes, leading to increased attentional resources. Compared to highly anthropomorphic service robots, moderately anthropomorphic online medical service robots also induce larger P200 and P300 amplitudes, and attract more attention. The results of user intention show that users exhibit stronger intent to use service robots with low anthropomorphic.

(2) Research on the impact of gender features of service robots on user behavioral intention. The research results reveal that in terms of user intention, users have a stronger intention to use female virtual chatbots than male robots. When considering user gender, female users have a greater intention to use same-gender robots, while male users have a greater intention to use opposite-gender robots. From neural processing activity, female virtual chatbots induce larger P100 and P200 amplitudes than male

virtual chatbots, indicating that female virtual chatbots allocate more attentional resources from users. When considering user gender, female virtual chatbots continue to influence N100, P100, and P200. Female virtual chatbots induce higher P100 and P200 amplitudes than male virtual chatbots, indicating that female users exhibit more positive emotions towards same-gender robots. Male users show a more significant N100 component towards male virtual chatbots than female virtual chatbots, indicating that they allocate more attentional resources to same-gender robots.

(3) Research on the impact of anthropomorphic roles of service robots on user behavioral intention. The research results show that in terms of subjective behavior, users have high acceptance of anthropomorphic roles and tend to prefer servant-type robots over companion-type medical service robots. In terms of neural processing activity, the main effect of anthropomorphic roles in the delta, theta, alpha bands is approaching significance, and compared to companion-type service robots, servant-type robots are more capable of triggering delta, theta, and alpha bands, indicating that users may experience a higher level of relaxation, stronger emotional cognitive participation, and engage in more information processing when interacting with servant-type robots. There is a significant interaction effect between anthropomorphic roles and brain locations in the theta, alpha, beta, and gamma bands. Specifically, in the frontopolar cortex,

frontal-central lobe, and central lobe, users exhibit larger theta, alpha, beta, and gamma bands in the right brain region than the left brain region when interacting with companion-type service robots; when interacting with servant-type robots, users show larger alpha in the left occipital lobe than the right, and stronger gamma in the left central lobe than the midline, indicating that different types of anthropomorphic roles trigger specific frequency band activity changes in different brain regions when interacting with users. Companion-type robots may trigger more social and emotion-related brain area activities, especially in the frontal lobe region, which may be related to establishing emotional connections and interactions. Servant-type robots may trigger more attention, information processing, or visual processing-related brain area activities, such as alpha and gamma band activities in the occipital and central lobe regions.

This study reveals the neural processing activity effects of anthropomorphism level, gender features, and anthropomorphic role of service robots on user behavioral intentions, providing valuable insights for a better understanding of the neural processes of service robot users. Additionally, the findings of this study can offer more effective guidance for designers in designing relevant service robots.

Author: Ran Guo (Management science and engineering)

Supervised by: Professor Yi Ding

KEY WORDS: service robots, user behavioral intention, anthropomorphic

features, neural processing activity, EEG signals

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	IV
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的及意义.....	2
1.2.1 研究目的.....	2
1.2.2 研究意义.....	2
1.3 研究内容、技术路线与研究方法.....	4
1.3.1 研究内容.....	4
1.3.2 技术路线.....	5
1.3.3 研究方法.....	6
1.4 论文框架.....	7
1.5 论文创新性.....	8
第 2 章 相关理论基础.....	9
2.1 相关理论.....	9
2.1.1 SOR 理论模型.....	9
2.1.2 恐怖谷理论.....	9
2.1.3 社会角色理论.....	10
2.2 相关文献综述.....	11
2.2.1 文献检索情况.....	11
2.2.2 服务机器人概述.....	14
2.2.3 服务机器人拟人化外观研究综述.....	15
2.2.4 服务机器人拟人化角色研究综述.....	17
2.2.5 用户行为意图研究综述.....	18
第 3 章 服务机器人拟人化程度对用户行为意图影响研究.....	20
3.1 脑电实验设计.....	20
3.1.1 被试.....	20

3.1.2 实验设备.....	20
3.1.3 实验材料.....	21
3.1.4 实验过程.....	22
3.2 数据采集、预处理与分析.....	22
3.2.1 脑电采集.....	22
3.2.2 脑电预处理.....	23
3.2.2 统计分析.....	24
3.3 数据结果分析.....	24
3.3.1 主观结果分析.....	24
3.3.2 电生理学结果分析.....	25
3.4 讨论.....	29
3.5 本章小节.....	31
第 4 章 服务机器人性别特征对用户行为意图影响研究.....	32
4.1 脑电实验设计.....	32
4.1.1 被试.....	32
4.1.2 实验材料.....	32
4.1.3 实验过程.....	33
4.2 数据采集、预处理与分析.....	34
4.2.1 数据采集和预处理.....	34
4.2.2 统计分析.....	35
4.3 数据结果分析.....	35
4.2.1 主观结果分析.....	35
4.2.2 电生理学结果分析.....	36
4.3 讨论.....	42
4.4 本章小节.....	44
第 5 章 服务机器人拟人化角色对用户行为意图影响研究.....	46
5.1 脑电实验设计.....	46
5.1.1 被试.....	46
5.1.2 实验设备.....	46

5.1.3 实验材料.....	48
5.1.4 实验流程.....	50
5.2 脑电数据预处理及特征提取.....	51
5.2.1 脑电数据预处理.....	51
5.2.2 脑电特征提取.....	52
5.3 结果分析.....	53
5.3.1 主观结果分析.....	53
5.3.2 脑电结果分析.....	54
5.4 讨论.....	56
5.5 本章小节.....	58
第 6 章 结论与展望.....	60
6.1 结论.....	60
6.2 局限性.....	61
6.3 研究展望.....	61
参考文献.....	62
附录.....	72
附录 1 伙伴型服务机器人对话脚本.....	72
附录 2 Delta 的重复测量方差分析表.....	72
附录 3 Theta 的重复测量方差分析表.....	73
附录 4 Alpha 的重复测量方差分析表.....	74
附录 5 Beta 的重复测量方差分析表.....	75
附录 6 Gamma 的重复测量方差分析表.....	76
攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文.....	78
发表论文.....	78
参与科研项目.....	78
致谢.....	79

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

当前新一轮科技革命和产业变革加速演进，新一代信息技术、生物技术、新能源、新材料等与机器人技术深度融合，机器人产业迎来升级换代、跨越发展的窗口期。根据 Allied Analytics（2021）发布的产业报告，服务机器人复合增长率逐年攀升，预计到 2030 年，服务机器人将占据酒店行业劳动力的四分之一^[1,2]。2021 年，国家发改委也发布《“十四五”机器人产业发展规划》，在报告中指出“十三五”以来，我国机器人产业呈现良好发展势头，服务机器人在仓储物流、医疗康复等领域实现了规模应用。未来 5 年乃至更长一段时间，是我国机器人产业自立自强、换代跨越的战略机遇期。自 2020 年新冠肺炎疫情爆发，酒店、医院等行业出现了服务机器人，“无人酒店”“智能导诊机器人”也越来越多的出现在大众的视野中。服务机器人在一定程度上已经改变了各行各业的服务形式，影响着消费者的用户体验。服务机器人的出现标志着服务形式的一次变革，而拟人化特征则是这一变革中的重要部分。

拟人化特征是人们常常将人类特征（如年龄、性别、外貌、语音等）赋予机器人或虚拟助手等非人类实体的过程^[3,4]。拟人化特征与人们的日常生活紧密相连。在各种场景中，如餐厅、酒店、医院，人们可以看到与人类具有相似特征的服务机器人。比如，海底捞利用拟人化服务机器人代替部分人工为顾客提供餐饮、送餐和表演服务；软银公司的 Pepper 为顾客提供服务；全球首家机器人酒店海茵娜使用拟人化服务机器人代替前台服务员办理入住手续；百度公司推出小度智能语音助手 5.0，让用户能够无障碍地进行沟通。这些实践证明，拟人化服务机器人已经在酒店餐饮、零售娱乐、情感陪护等多个领域得到不同程度的应用。拟人化特征也是学者们关注的重要研究议题。已有研究表明拟人化特征在用户对智能设备的使用决策中扮演着关键角色^[5,6]。此外，拟人化在酒店服务互动过程的运用有助于提升顾客对机器人的接受度，进而促进顾客与机器人之间更加紧密的互动^[7]。

当前,越来越多的学者们开始关注服务机器人拟人化特征对消费者的行为意图。迄今为止,关于服务机器人拟人化特征的研究主要聚焦于两大领域。其一是关注服务机器人的外观设计,尤其是探究何种拟人化程度可以提升用户行为;同时,探究服务机器人的何种性别特征会影响用户的行为意图。其二是关注服务机器人的角色,不同的角色类型会影响用户与机器人之间的交互期望,进而影响用户的接受程度。拟人化外观设计和拟人化角色类型是服务机器人的两个重要因素。神经工效学作为一种跨学科的研究方法,有助于我们更深入地理解用户行为意图的神经活动反应。其中,脑电实验(EEG)是神经工效学中最常用的生理技术。通过分布在头部特定位置的电极,脑电实验(EEG)能够记录脑细胞自发电位的变化^[8]。这种测量方法可以没有时间延迟可以实时监测大脑活动^[9],并可用于研究用户行为^[10]。因此,本文将通过脑电实验的方式来探究服务机器人拟人化特征如何影响用户行为意图以及神经加工活动。

1.2 研究目的及意义

1.2.1 研究目的

本研究计划达到以下目的:

第一,探究服务机器人(在线医疗服务机器人)的拟人化程度(低 vs 中 vs 高)对用户行为意图影响。这有助深入了解用户对于不同拟人化程度的服务机器人的行为意图。

第二,探究服务机器人(虚拟聊天机器人)的性别特征如何影响用户使用意图以及通过脑电实验更好的探索服务机器人的性别特征。

第三,探究服务机器人(医疗服务机器人)的拟人化角色(伙伴 vs 仆人)对用户使用意愿影响。

1.2.2 研究意义

(1) 理论意义

本文探究服务机器人的拟人化特征如何影响用户行为意图。这不仅有助于我们对行为意图理论的理解,而且为未来的相关研究提供了新的理论视角。通过探

究拟人化外观和拟人化角色类型在医疗服务机器人中的应用,本文揭示了用户对不同拟人化外观和服务角色的行为意图影响。本文丰富了用户行为意图理论。首先,从拟人化外观设计的角度,本文探讨了服务机器人拟人化程度对用户使用意愿。通过主观数据和脑电数据分析,本研究揭示了用户对不同拟人化程度机器人的使用意愿变化;探讨了服务机器人性别特征对用户使用意愿、神经加工活动影响,通过事件相关电位(ERP)技术和使用意图量表,揭示了性别特征如何影响用户使用意图、神经加工活动。此外,本研究还从拟人化角色的角度,探讨了拟人化角色如何影响用户接受意愿研究,通过脑电技术揭示用户对不同拟人化角色的接受意愿、神经加工活动的影响。总而言之,本研究在神经加工活动层面解释了服务机器人拟人化特征影响用户行为意图的理解。

(2) 实践意义

本研究通过探讨服务机器人的拟人化特征如何影响用户的行为意图。从拟人化程度角度来看,本研究发现拟人化程度会显著影响用户行为意图。具体来说,用户更倾向于使用低度拟人化的在线医疗服务机器人;低度拟人化机器人相较于其他拟人化程度的机器人诱导的 P200、P300 振幅更大,这表明其吸引了更多的注意力资源;相比高度拟人化,中度拟人化的机器人吸引了更多的注意力。进一步地,本文研究了服务机器人性别特征对用户行为意图影响。用户对女性虚拟服务机器人要比男性机器人有更强的使用意图。此外,当考虑用户性别因素时,女性用户对同性的机器人有更大的使用意图;男性用户对异性的机器人有更大的使用意图。神经加工活动结果表明,女性虚拟聊天机器人诱发的 P100、P200 振幅更大,说明女性虚拟聊天机器人分配了更多用户注意力资源。女性用户对女性虚拟聊天机器人诱发的 P100 和 P200 振幅更高,这表明女性用户对同性机器人表现出更积极的情绪。男性用户对男性虚拟聊天机器人比女性机器人产生的 N100 振幅更为显著,这表明他们分配给同性机器人更多的注意力资源。在拟人化角色方面,本研究发现用户对于拟人化角色的接受度很高且相较于伙伴型医疗服务机器人,用户倾向于仆人型机器人。神经加工活动结果显示,仆人型机器人更能 δ 、 θ 、 α 波能量显著增大,这表明用户在与仆人型机器人交互时可能体验到更高的放松程度、更强的情感认知参与、进行更多的信息处理。此外,拟人化角色和大脑位置之间在 θ 、 α 、 β 、 γ 上存在显著交互效应。这表明不

同类型的拟人化角色在与用户交互时，会引发大脑不同区域的特定频段活动变化。综上所述，本研究通过脑电实验探究服务机器人拟人化特征影响用户行为意图。这为服务机器人的设计提供了实际的指导，有助于设计师根据用户大脑活动，打造出更符合用户期望、接受度的机器人产品。

1.3 研究内容、技术路线与研究方法

1.3.1 研究内容

本文以医疗服务场景中的服务机器人为研究对象，旨在通过脑电实验的方式详细探讨了其拟人化特征如何影响用户行为意图、神经加工活动。拟人化特征主要分为两大类别：拟人化外观设计和拟人化角色设计。首先，拟人化外观设计方面细分为三个维度。具体来说，一是拟人化程度。根据服务机器人外观与人类相似度将其分为高度拟人化、中度拟人化和低度拟人化。第二，性别特征。根据服务机器人的外观特征，将其分为女性机器人和男性机器人。其次，拟人化角色类型方面，本文将服务机器人分为仆人型服务机器人和伙伴型服务机器人两种类型。

具体研究内容如下：

（1）服务机器人拟人化程度对用户行为意图影响研究。

该部分研究的对象是在线医疗服务机器人。基于恐怖谷理论，该部分探究类人程度的机器人外观。因此，该部分探讨其拟人化外观因素（拟人化程度）对用户使用意图和神经加工活动的影响。1）先筛选出符合要求的机器人，在进行专家小组讨论的方式确定机器人。2）对于机器人的类人程度进行操作性检验，对于年龄特征进行小组讨论的方式确定年龄评分范围。3）脑电实验开展，设计 e-prime 程序，收集脑电实验数据。4）脑电实验预处理，然后进行统计分析，揭示拟人化程度对用户的使用意图、神经加工活动影响。

（2）服务机器人性别特征对用户行为意图影响研究。

该部分研究的对象是虚拟聊天服务机器人，如淘宝客服、私人助理。该部分探讨人机交互中性别效应的影响。具体而言，虚拟聊天机器人的性别如何具体影响用户的态度和使用意图？在人机交流中是否存在参与者性别的影响？人机交流中性别特征背后的具体神经机制是什么？1）从机器人库中筛选出符合要求的

机器人，再进行小组讨论的方式确定实验刺激材料。2) 设计 oddball 的实验范式的脑电实验，并收集处理脑电实验。3) 对预处理后的脑电实验数据进行统计分析，揭示用户对于虚拟服务机器人性别的使用意图、神经加工活动差异以及揭示用户性别差异影响虚拟服务机器人使用意图、神经加工活动。

(3) 服务机器人拟人化角色对用户行为意图影响研究。

该部分研究的对象是医疗服务机器人。研究方法主要是通过脑电实验的方式探究机器人角色类型差异如何影响用户的大脑神经活动、接受度。1) 拟人化角色的文本设计，参照了先前的研究并设计符合自己要求，进行了小组讨论。2) 通过角色操纵性检验，将其文本编码至 pepper 机器人平台，并设计了脑电实验。3) 收集并处理脑电数据。4) 统计分析不同角色类型的脑电指标结合用户接受度量表，揭示不同拟人化角色引起的用户接受度以及神经加工活动。

1.3.2 技术路线

本文研究具体开展如下：

(1) 研究的初始阶段

通过广泛浏览服务机器人相关的文献资料，我们发现了拟人化特征方向具有较高的研究价值。因此，我们确定了服务机器人在医疗场景中的应用为研究主题，并聚焦其拟人化特征对用户行为意图影响。因而，本文通过脑电实验的方式探究服务机器人拟人化特征如何影响用户行为意图以及其神经加工活动。

(2) 研究的交互阶段

1) 服务机器人拟人化程度对用户行为意图影响研究。该部分研究，首先，收集、设计机器人的拟人化外观，并对拟人化程度的机器人外观进行操纵性检验；其次，设计、开展脑电实验，并收集、预处理脑电数据；最后，分析用户对在线医疗服务机器人拟人化外观使用意图、其神经加工活动。

2) 服务机器人性别特征对用户行为意图影响研究。该部分研究，首先，先进性虚拟服务机器人的外观筛选。其次，进行脑电实验的设计与开展，并收集、整理脑电实验数据。最后，分析服务机器人的性别特征对用户的行为意图、以及神经活动的影响。

3) 服务机器人拟人化角色对用户行为意图影响研究。该部分研究首先进行

服务机器人的拟人化角色文本设计并进行了操作检验；其次，进行机器人的编程设计，并开展脑电实验以及收集整理数据。最后，分析拟人化角色的医疗服务机器人对用户接受度以及其神经加工活动。



图 1-2 技术路线图

1.3.3 研究方法

本文使用的研究方法包括以下五种：

(1) 文献研究法：系统检索并深入阅读了与本研究方向相关的文献，旨在掌握相关理论、实验方法，并全面把握近年来的研究热点和发展趋势。通过对文献资料的综合分析，结合对服务机器人应用情况的实地调研，本研究明确了研究内容、目的、意义，并制定了具体的技术路线。

(2) 情景实验法：在本研究中，情景实验法被用于模拟真实环境中服务机器人的应用场景，以深入探究用户与服务机器人之间的交互行为。通过设计一系列的服务机器人情景，本研究观察并记录用户在各种情景下的行为反应、生理反应和使用意愿。情景实验法有助于模拟真实环境，并提供可靠的数据支持，从而更准确地揭示拟人化特征对用户行为意图、神经加工活动的影响。

(3) 问卷调查法：本研究采用问卷调查法，以收集用户对服务机器人拟人

化特征的态度。通过设计科学、合理的问卷，向目标用户群体发放问卷，收集他们在情景环境中对服务机器人拟人化外观、拟人化角色等方面的问卷数据。这有助于本研究全面地了解用户对服务机器人拟人化特征的行为意图以及神经加工活动。

（4）实验研究法：本研究通过脑电实验（EEG 实验）的方法来深入探究服务机器人拟人化特征对用户行为意图以及神经加工活动的影响。脑电实验是一种利用脑电技术记录大脑神经电活动的非侵入性研究方法，能够直接反映大脑在处理信息时的神经活动模式。通过脑电实验的方式，能够更深入地揭示服务机器人拟人化特征对用户神经活动的影响，为设计更符合用户需求的服务机器人提供科学依据。

（5）统计分析法：在本研究中被用来深入探究服务机器人拟人化特征对用户行为意图以及其神经加工活动的影响。具体来说，本研究采用了重复测量方差分析。重复测量方差分析是一种用于处理重复测量数据的统计方法，它能够评估在不同条件下（拟人化特征）用户神经活动反应和使用意图、接受度的变化。通过这种方法，本研究能够比较不同拟人化特征（如拟人化程度、性别特征、拟人化角色）下用户神经活动反应的差异，以及如何影响用户的行为意图。

1.4 论文框架

本文的论文框架安排如下：

第一章，引言。本章共有五个部分。首先阐述本文的研究背景；接着阐述本文的研究意义，以理论意义和现实意义分别展开；紧接着介绍本文的研究内容并以五种研究方法作为本研究的主要的研究方法；最后阐述本文的创新性。

第二章，相关理论基础。首先介绍了本文的支撑理论，详细长阐述了相关理论；接着通过 VOSviewer 软件对文献进行计量分析揭示服务机器人未来研究趋势；最后对服务机器人相关文献进行综述，为后续研究奠定基础。

第三章，服务机器人拟人化程度对用户行为意图影响研究。首先，详细阐述脑电实验设计的具体内容；其次，介绍脑电数据处理的过程与分析方法；接着，对拟人化外观的结果进行深度分析；紧接着对于结果进行讨论，分析其原因；最后，给出结论。

第四章，服务机器人性别特征对用户行为意图影响研究。首先，阐述虚拟服务机器人的脑电实验设计思路。其次，详细阐述虚拟聊天服务机器人的脑电分析过程和统计方法。最后，深入分析虚拟服务机器人性别如何影响用户的大脑认知、接受度。

第五章，服务机器人拟人化角色对用户行为意图影响研究。首先，介绍拟人化角色（仆从型 vs 伙伴型）的脑电实验设计。其次，详细阐述实验数据的预处理及统计分析的方法。最后，分析机器人角色差异对用户的神经加工活动及接受度影响。

第六章，结论与展望。对本文的主要研究内容的结论进行总结，提出现有研究不足之处，对未来的研究做出展望。

1.5 论文创新性

本研究的主要创新点体现在对服务机器人拟人化特征对用户行为意图影响的深入探索。相较于过往研究，本研究的贡献体现在以下几个方面：

第一，本研究详细分析了拟人化特征各个组成部分，特别是拟人化外观设计和拟人化角色设计，如何具体作用于用户的行为意图。本研究揭示了这些拟人化特征与用户行为意图之间的复杂关系，为理解用户与服务机器人之间的交互提供了新的视角。

第二，本研究丰富了用户行为意图的相关理论。通过探讨服务机器人的拟人化特征，本研究为用户行为意图的研究增添了新的维度，进一步拓展了该领域的理论体系。这一贡献不仅有助于提升理论深度，也为后续研究提供了重要的理论基础。

第 2 章 相关理论基础

2.1 相关理论

2.1.1 SOR 理论模型

刺激-有机体-反应理论（又称 SOR）是 Woodworth 于 1926 年提出的一种认知心理学的基础理论，随后于 1976 年 Mehrabian 和 Russell 提出用户流失行为模型（又称 UBM），即通过刺激因素对用户有机体产生影响^[11]。该理论指的是“刺激-有机体-反应”理论，包括三部分：刺激因素（S）、有机体变化（O）和用户反应行为（R），解释了环境刺激对用户行为产生影响的机制，如图 2-1。吕兴洋等（2021）基于此模型分析服务失败后聊天机器人共情能力高低对顾客信任感、创新感以及购买意愿的影响^[12]。可见，SOR 理论被广泛应用于用户行为意图的相关研究。因此，本研究使用 SOR 模型作为整个研究的指导理论。



图 2-1 SOR 理论模型

2.1.2 恐怖谷理论

日本的森政弘教授在 1970 年提出了著名的“恐怖谷理论”^[13]，即人对机器人的好感度会随着机器人和人的相似度增加而提高，当相似度达到一定程度时，人的情感反应会突然转为负面，机器人和人的差别会被放大，显得非常恐怖，但随着相似度的继续增加，人的情感反应会由负转正，在好感度和相似度的关系图里，突然逆转时的低谷称为恐怖谷。在这个低谷范围内的机器人会给人以“僵尸”、“尸体”、“假肢”的不适感，直到突破这个临界点后才能再次获得类人、拟人的感觉。恐怖谷理论指出了机器人造型设计与用户情感体验之间的关系^[14]，如图 2-2 所示。Yogeeswaran 等人研究发现，当机器人的外观拟人度非常高时，会使人将其视作对人类自身独特性、生存安全、社会资源及工作机会的威胁^[15]。这个低谷被称为“恐怖谷”，是进行拟人化特征时不可避免的一个设计障碍。因此，本文

基于恐怖谷理论作为整个研究的指导理论。

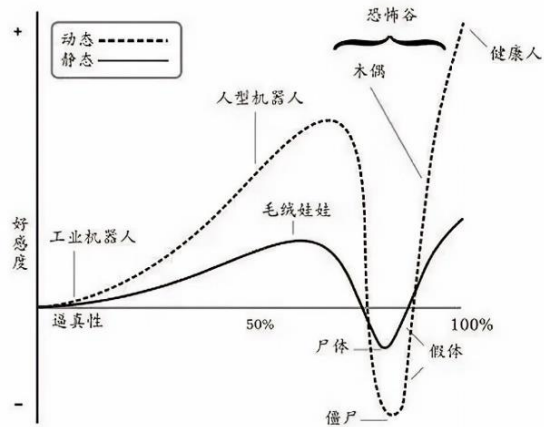


图 2-2 恐怖谷曲线

2.1.3 社会角色理论

社会角色理论是社会研究的经典理论之一，旨在讨论人们社会交往中的互动行为模式以及个人与社会的关系^[16]。其中，“角色”一词最初是指演员在戏剧和其他表演活动中展示出来的形象，后来被社会学所吸收。该理论关注社会行为的发生，认为社会成员在日常生活的不同场景中有着不同的社会身份，并且他们的行为方式会因其社会角色和互动环境的不同而变化。随着社会角色理论在各领域的不断演进，其逐渐孕育出具有标志性的理论观点，如功能主义、符号互动主义以及认知角色理论等。其中，功能主义将角色视为社会对个体的期望，这种期望包括任何社会地位的占有者相对其他人的权力、义务与责任^[17]。符号互动主义认为，由于不同的社会角色有着对应的社会期待，社会成员可以在社会互动中通过表演和展示不同的角色符号使得自己的社会角色被别人感知^[16]。随着服务机器人的出现，社会角色理论在服务机器人领域的应用也得到学者们的广泛关注。因此，本文将社会角色理论作为分析服务机器人与人类交互行为的理论框架。

2.2 相关文献综述

2.2.1 文献检索情况

2.2.1.1 相关文献来源

数据来源主要是 web of science (WOS) 和知网 (CNKI) 两大数据库。选取 WOS 的核心数据集并设置以下检索条件：第一，以“service robot”OR“humanoid robot”OR“anthropomorphic robot”为话题检索；第二，设置检索时间宽度为 2010 年 1 月 1 日至 2024 年 3 月 1 日；第三，文件类型设定为论文、综述论文、会议论文。通过检索获得符合主题的文章 2611 篇。选取 CNKI 数据库并设置一下检索条件：第一，以服务机器人为主题进行检索；第二，同样时间宽度设置为 2010 年 1 月 1 日至 2024 年 3 月 1 日；第三，文章类型设定为学术期刊。通过检索符合主题的文章 1969 篇。本节将选择 VOSviewer 软件对国内外文献进行计量分析。从年发文量，关键词共现网络等方面进行数据汇总，整体分析服务机器人相关的研究现状。

2.2.1.2 文献检索情况分析

年度发文量的高低在一定程度上反映了该研究领域的发展历程和变化规律，也是确定为热点研究的重要体现^[18]。国内 CNKI 数据统计结果显示，自 2010 年至 2018 年，服务机器人领域的发文量呈现出稳健的上升态势，其中 2018 年更是达到了发文量的巅峰，共计 244 篇。随后的五年里，这一领域的发文量却出现了明显的下滑趋势。2022 至 2023 年，发文量已稳定维持在约 140 篇的水平，如图 2-3 (a) 所示。国外 WOS 的统计折线图显示，近 15 年来，国外学者关于服务机器人的研究热情持续高涨，发文量呈现出显著的上升趋势。特别是从 2020 年至 2023 年，每年的发文量均稳步增长，尽管 2023 年有所下降，但依然维持在较高的水平，如图 2-3 (b) 所示。综合国内外的研究趋势，可以看出服务机器人领域的研究在全球范围内均呈现出积极的发展态势，尽管在某些时期可能存在一定的波动，但整体上仍保持着稳健的增长。

机器人等关键词的崛起,表明服务机器人在医疗领域的应用正逐渐受到广泛关注。根据 WOS 的关键词聚类结果表明,人形机器人(humanoid robot(s))、人机交互(human-robot interaction)和服务机器人(service robot)等关键词同样占据显著地位,显示出国际学术界对这些领域的持续关注。此外,从机器人层面来看,外观、身份等关键词逐渐受到重视,揭示研究者们开始探讨机器人的外观(performance)和身份认同(identification)问题。同时,行为(behavior)和感知(perception)等关键词的关注度也在上升,这反映出学者们正逐渐探索机器人在与人类交互过程中的行为模式和感知能力。

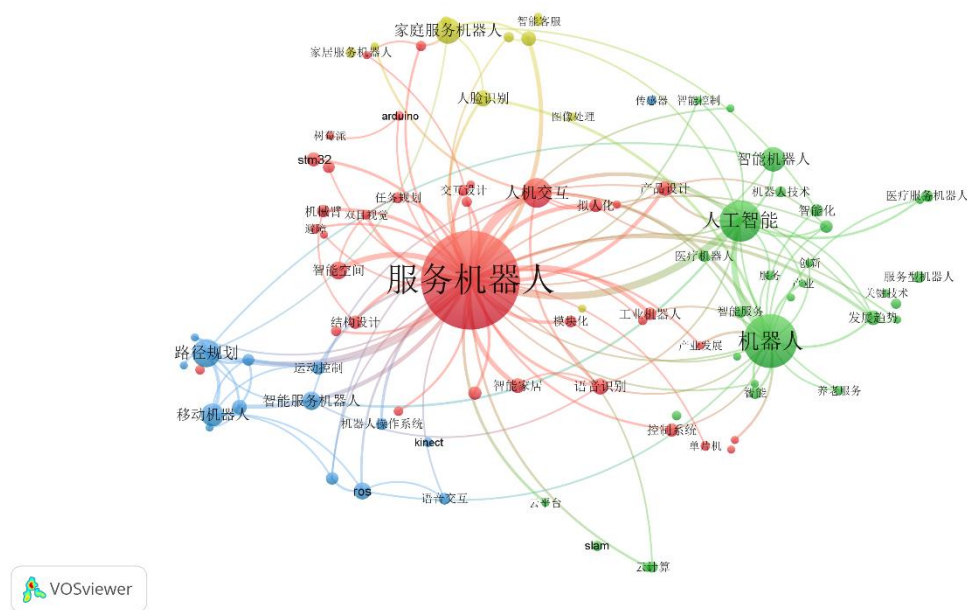


图 2-5 关键词共现图 (CNKI)

外，能够为人类或设备执行有效服务的机器主体。服务机器人可以根据不同的服务场景进行应用，其中医疗机器人主要用于导诊服务和治疗，接待机器人则广泛应用于酒店、商场等场所提供接待和咨询服务，而物流机器人则负责货物的自动搬运和配送。服务机器人也可根据服务情境的不同提供相应的服务属性，它们可以以实体形态存在，同样也可以以虚拟形态呈现。据 Data Bridge Market Research (DBMR) 公司 2023 年 5 月发布的数据，2022 年，全球医疗机器人市场规模约为 135 亿美元，预计到 2030 年将达到 450 亿美元，2023—2030 年复合年均增长率为 16.2%。可见医疗服务机器人正呈现出越来越好的发展趋势，市场规模也在稳步增长。拟人化可以增加个体对机器人的自然反应，促进人与机器人之间的互动^[20]。实际上，从“机器”向机器“人”转变的过程中，拟人化特征发挥着巨大的作用^[21]。目前，服务机器人拟人化特征主要呈现两种形式：拟人化外观和拟人化角色。因此，本文以服务机器人在医疗场景的应用（如在线医疗服务机器人，虚拟服务机器人，医疗服务机器人）为研究对象，研究服务机器人拟人化特征对用户行为意图影响。

2.2.3 服务机器人拟人化外观研究综述

拟人化特征是将人类的特征、动机、意图、行为或情感等赋予真实或者是想象的非实体（如机器人、计算机和动物）的一种方式^[22]。拟人化外观可以提升用户对机器人的信任感^[23]。拟人化程度作为机器人外观设计的关键特征之一，对用户使用机器人的情感体验和行为意图有着重要的影响。然而，恐怖谷效应揭示了一个有趣的现象：当人类与具有拟人化外观的机器人互动时，随着机器人拟人化程度的逐渐提高，人们的好感度也会相应增加。然而，当拟人化程度达到某一特定区间时，机器人可能会引发人们产生诸如“僵尸”、“尸体”或“假肢”等不适感。然而，一旦拟人化程度越过这个临界值，人们的好感度又会再次提升^[13]。因此，机器人的拟人化外观不仅在学术界引发了广泛讨论，在机器人公司也备受关注。事实上，日本早稻田大学的加藤一郎教授早在 1972 年就成功研制了可行走的双足人形机器人 WABOT-1，随后机器人公司也陆续设计出较高程度拟人化的机器人，如软银的人形机器人 Pepper、万科的数字化员工崔晓盼、中国科学技术大学交互机器人“佳佳”等。然而，学术界对于不同拟人化程度的机器人影响

用户行为意图并未达成一致。一些研究表明,虚拟助手拟人化会减少玩家的感知自主性,进而降低游戏的享受程度,机器人拟人化能够积极影响顾客的感知和行为意图^[24]。另一些研究表明,与人类相似程度较低的机器人会产生相对更积极的态度^[25];机器人越像人类,它们就变得越陌生,越难以理解^[26],会在人机互动中产生负面影响^[27]。综上所述,拟人化程度的机器人外观设计的应用及其对用户行为意图的影响是一个复杂的话题。尽管有大量研究探讨了这一领域,但学术界对于拟人化程度的机器人对用户行为意图的影响仍未达成一致。未来可以进一步探索拟人化程度以及在不同场景下用户行为意图的影响。

服务机器人的使用日益普遍,越来越多的服务机器人采用拟人化特征,摒弃了简单的机械化外观。例如,拉斯维加斯的酒店使用女性的 Pepper 拟人化服务机器人与酒店客人互动。此外,苹果的 Siri、亚马逊的 Alexa 主要或默认都是女声,三星的虚拟助手山姆(Sam)同样以一个女性形象呈现。这进一步凸显了性别特征在拟人化外观设计中的核心地位。性别是个人自我概念和身份的中心维度,使其成为一个关键的人类属性,显著影响人们如何与他人建立联系^[28]。与性别相关的社交线索可以最大限度地减少互动过程中对额外信息寻求的需求^[29]。机器人的性别促进了用户和机器人之间的共同理解感,从而导致更自然和直观的人机交互^[30,31]。一些研究表明,聊天机器人的性别可能会影响用户行为^[32,33]。

在探索性别特征在人机交互中的作用时,一个不容忽视的方面是性别刻板印象。人们普遍认为女性更适合照顾儿童或老人,男性外科医生比女性外科医生更有能力^[34,35]。这一现象反映了性别刻板印象的存在。实际上,性别刻板印象是一个持久的概念,强调性别线索产生的社会后果^[29]。例如,苹果的 Siri 和亚马逊的 Alexa 通常使用女性的声音^[36],三星的 Sam 则呈现了一个女性的化身。这些实践证明,女性特征被广泛应用于非人类代理中。Abdulquadri 的研究发现,新兴市场银行的聊天机器人经常被贴上女性性别的标签^[37]。相反,Behrens 进行的一项研究表明,人们倾向于信任男性机器人而不是女性机器人^[38]。同样,Ahn 也发现,参与者对男性人工智能代理的能力评分高于女性人工智能代理^[39]。在回顾了现有的关于人机交流中性别影响的研究后,我们发现对机器人性别特征的认知仍然存在争议。因此,本研究旨在进一步探讨服务机器人(虚拟聊天机器人)的性别特征对用户使用意愿的影响。

2.2.4 服务机器人拟人化角色研究综述

随着相关技术的快速发展和社会环境中对人力资源的需求不断增加,机器人有望在各种社会环境中扮演通常由人类填补的角色^[40]。于是,开始出现了各种拟人化角色机器人。三只松鼠的虚拟客服以仆人角色与顾客进行交流,故宫的淘宝虚拟服务机器人以皇帝的角色方式与买家交流,智能语音助手天猫精灵通常会说:“主人,有事请随时呼叫我,我随时都在”,以仆人的方式陪伴着我们。随着它们融入生活,人们与机器人的互动过程中,更愈发主动将服务机器人视为社会行动的参与者,并与机器人建立社会关系^[41]。机器人的社会应用使它的机器人属性和类人属性相结合^[42]。它提供了一个机会,让人们思考机器人在社会互动的角色。社会角色理论认为人们能通过人机交互中较少的社会线索作出相应的社会反应,将人机交互过程视为准社会交往过程,从而感受到机器的社会角色,甚至感觉到类人的人际吸引。拟人化角色也是拟人化特征其中一种。赋予智能助手特定的社会角色后,用户在与其互动时,会基于该角色的社会期望展现出相应的沟通方式^[43]。这种符合角色规范的人机互动不仅能提升用户与智能产品的沟通效率,还能增强用户对智能产品的满意度。

拟人化角色在营销领域备受学者瞩目,作为一种有效的营销手段,其在产品与个体关系的构建中扮演着举足轻重的桥梁角色^[44]。过往研究表明,品牌在沟通中定位的不同角色默认了其为消费者不同的关系类型,其中目前被学界较为广泛地进行研究的品牌角色为伙伴角色和仆人角色^[45,46]。这表明了两种不同的人际关系,其中,伙伴表示利益的共同创造者,仆人表示利益外部的提供者。研究表明,不同的品牌角色会引发消费者不同的行为反应。例如,当拟人化品牌使消费者做出行为启动时,若消费者把品牌看作是伙伴,消费者会模仿拟人化品牌做出相同的行为,但当拟人化品牌被看作是仆人时,消费者则不会模仿做出相同行为^[45]。此外,对于物质主义者而言,他们希望自己与他人的关系是主导关系,进而对仆人角色(vs.伙伴角色)的拟人化品牌有更高的偏好^[46]。服务机器人在塑造拟人化角色方面拥有得天独厚的优势。通过编程技术,机器人可以灵活调整声音、说话方式,从而赋予其独特的角色特质。然而,尽管服务机器人在塑造拟人化角色方面具有显著优势,且研究者对此的关注已从技术层面深化至社会和心理层面^[45],

但关于人机交互过程中机器人的拟人化角色如何影响交互体验的研究仍然相对较少。因此，本文研究服务机器人拟人化角色对用户行为的影响。

2.2.5 用户行为意图研究综述

用户行为意图指用户执行某种行为的可能性。一般而言，如果用户执行某种行为拥有较强的意图，该行为发生的可能性就相对较大^[47]。早在 1986 年，Davis 提出技术接受模型(TAM)用来预测个体对某一特定信息系统的接受和使用行为^[48]。这一传统的技术接受模型为后续研究提供重要启示，特别是在机器人接受度方面。随后，针对机器人接受度的模型也逐渐被开发并得到验证。例如，Almere 模型研究感知有用、感知愉悦等变量于老年用户对辅助性服务机器人的行为意图的关系^[49]。SIRM 模型研究的是社交互动机器人的用户接受行为^[50]。而 SRAM 模型进一步指出，用户对服务机器人的接受度三类期望的影响^[51]。

目前多数研究采用上述技术模型来探究用户行为意图，但鲜有学者运用神经工效学方法来研究用户行为意图。神经工效学作为一种跨学科的研究方法，有助于我们更深入地理解用户行为意图的神经活动反应。其中，脑电图(EEG)是神经工效学中最常用的生理技术。通过分布在头部特定位置的电极，脑电图(EEG)能够记录脑细胞自发电位的变化^[8]。这种测量方法可以没有时间延迟可以实时监测大脑活动^[9]，并可用于研究用户的偏好、决策行为^[10,52]。而事件相关电位(ERPs)是使用平均技术从脑电图(EEG)中提取^[53]，反映与对刺激进行的信息处理相关的神经活动。ERPs 能够深入分析用户对刺激的大脑情感过程，同时对行为意图和决策过程的研究也具有重要意义^[53-55]。

用户行为的神经加工活动能够深入揭示用户在感知拟人化特征、进行用户行为评估以及形成行为过程中的认知过程和规律^[56]。学者们已经开始运用脑电方法对这一领域进行了研究。例如，Ding 等人采用 ERPs 方法，研究了参与者浏览不同智能手机设计时，根据品牌和价格评估用户行为意图^[57]。在另一项研究中，Ding 等人通过 EEG 的技术，探索了用户在使用两部智能手机完成不同任务时的大脑信号变化，以了解用户对智能手机的体验^[58]。此外，Liu 等人利用 ERPs 技术探究用户对网站的第一印象对其后续的行为、态度影响研究，揭示网页的复杂性、顺序性会影响用户大脑的神经活动反应^[59]。近年来，拟人化特征在脑电研究

领域也引起了广泛关注。例如，Cao 等人通过 ERPs 技术探究拟人化图标对用户吸引力行为神经加工反应^[60]。同时，已有研究将拟人化概念引入机器人设计领域，并通过 ERPs 技术展开研究。例如，Matthias 等人通过脑电实验发现非拟人化机器人在社交互动中也能激活人类的最小神经元系统，从而建立其作为社交实体的地位^[61]。Guo 等人使用脑电技术探究人形服务机器人外观的用户情感偏好认知机制^[56]。Li 等人进一步研究使用脑电技术探究人形服务机器人语音的情感偏好的神经活动反应^[62]。而 Wilson 等人通过 ERPs 技术探究类人机器人的信任问题^[63]。

综上所述，虽然目前有研究研究服务机器人拟人化特征对用户的行为意图，但它们是在探究拟人化的存在是否影响用户行为、拟人化机器人的语音，动作等其他因素对于用户行为影响。然而，鲜有研究深入探究服务机器人在医疗服务场景中，其拟人化程度、性别特征以及拟人化角色因素如何影响用户行为意图以及神经加工活动。因此，本文旨在通过脑电实验的方式，探究服务机器人拟人化特征对用户行为意图以及神经活动反应的影响，特别是在医疗服务场景中，考察拟人化程度、性别特征以及拟人化角色因素影响用户行为意图以及神经活动反应。

第 3 章 服务机器人拟人化程度对用户行为意图影响研究

拟人化作为机器人设计的重要特征，能够提升消费者对机器人的信任感^[23]。拟人化特征是将人类的特征、行为或情感等赋予真实的非实体^[22]。例如香港汉森公司的机器人索菲亚，或是日本大阪大学教授石黑浩创造的 ERICA。尽管目前已有研究关注拟人化对用户行为意图的影响^[60]，但探讨拟人化程度对用户行为意图存在不足。因此，本章的研究对象是以在线医疗服务机器人为对象，探究其拟人化程度如何影响用户行为意图。

3.1 脑电实验设计

3.1.1 被试

本章使用 G*Power^[64]进行预先计算，以确定所需的样本量。计算结果显示，在具有 95% 的统计功效和 0.05 的错误概率的两因素重复测量方差分析(ANOVA)中，至少需要 20 个样本量来检测大的效应量 ($f=0.4$)。本研究通过微信平台招募 30 名来自不同专业的安徽工程大学的学生，其中包括 17 名男生和 13 名女生。实验前被试均未参加过相关研究。所有参与者均为右撇子、视力正常或矫正视力正常、听力正常、无脑外伤或遗传疾病史。一名男生被试因放大器出现电源问题，中断了实验并导致脑电数据丢失。因此，本次实验收集了 29 名被试（16 名男生和 13 名女生）的脑电数据，并收集了 30 名被试的问卷数据。被试年龄从 19 岁到 28 岁不等(平均年龄=22.1 岁，标准差=2.468)。实验地点位于安徽工程大学外国语 ERP 实验室。该实验于 2022 年 12 月 2 日开始，于 2023 年 3 月 1 日完成。所有被试在实验前签署知情同意书，并获得 50 元报酬。

3.1.2 实验设备

实验设备为 BrainProducts 公司的 BrainVisionEEG 系统，由硬件和软件两部分组成。硬件包括一台 HP 电脑，ACTiChamp 放大器(采样率:50KHz/通道，频率带宽 DC-20,000Hz，共模抑制比>100dB)，64 通道有线湿弹性网格脑电图帽，GREENTEK 医用导电膏，Nuprep 医用擦洗膏，注射器，尺子和记号笔。软件部

分：E-prime 心理实验软件、Brian Vision Recoder 软件。

3.1.3 实验材料

为了获取在线医疗服务机器人拟人化外观头像的实验材料，我们从网站上精心挑选了 30 张机器人图片。随后，我们组织了一个由 3 名老师和 4 名研究生参与的小组讨论，从中筛选出了 3 组共计 10 张具有不同拟人化程度的机器人图片。为了确保高度拟人化的实验材料拟人效果，我们还特别邀请了艺术学院的同学参与，他们利用专业地将其中 6 张图片按照索菲亚的模样进行了精细处理，使这些机器人图片达到高度拟人化程度的要求。实验材料刺激集为 10 张非目标刺激机器人图片和 3 张目标刺激花朵图片。每张图片的大小为 1920*1150 像素

为了保证拟人化操纵性检验有效，我们对在线医疗服务机器人拟人化程度进行了前测实验。本次问卷设置了情景：假设您最近因感冒感到不适，于是打开了美团买药网站。在该网站上，您可能会看到拥有不同外观头像的机器人。问卷改编自 Mathur 和 Reichling^[65]李克特量表。参与者被要求用 1-7 的评分标准对机器人的外观与人类的相似程度进行评分，分数越高表示类人程度的外观越高。本研究共调查了安徽工程大学 87 名学生，其中 1 个无效样本为 86 个有效样本。统计结果显示，10 个在线医疗机器人的类人程度的外观评分分别为 M1=3.66、M2=4.07、M3=4.85、M4=4.93、M5=6.17、M6=6.24、M7=6.01、M8=6.26、M9=6.22、M10=5.92。根据机器人外观相似度，我们将机器人外观从低到高分三类： $M_L=3.87$ 、 $M_M=4.89$ 、 $M_H=6.14$ 。显著性检验结果显示，拟人化操作是有效的（ $p<0.05$ ）。因此，M1 和 M2 为低度医疗服务机器人，M3 和 M4 为中等医疗服务机器人，M5、M6、M7、M8、M9 和 M10 为高度医疗服务机器人。

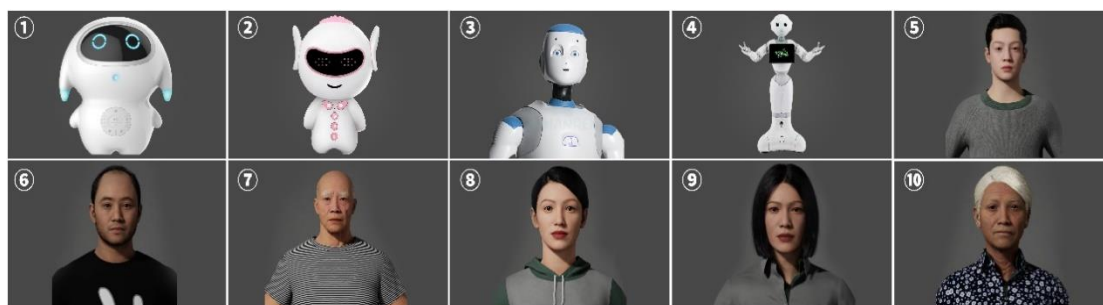


图 3-1 在线医疗服务机器人的刺激材料

3.1.4 实验过程

实验分为两个不同的阶段：一个阶段是 oddball 实验，一个阶段使用意图的问卷调查。在第一阶段开始 oddball 的实验范式之前，所有被试必须将目光固定在屏幕的中心，瞳孔位于距离显示器中心约 80 厘米的位置，并保持 4°的水平视角。主试者向被试介绍了实验过程和任务。oddball 实验开始时，被试先进行预实验，以熟悉实验流程和要求。在完成预实验后进入正式实验，被试被要求记住花图片(目标刺激)出现的次数，而在线医疗服务机器人图像作为非目标刺激，则无需关注，“+”图像是为了集中参与者注意力。每个刺激的持续时间为 1000-1200 毫秒，刺激的顺序是随机的。正式实验期间，被试有一次休息时间，休息结束后将继续实验直至全部完成。整个实验流程如图 3-2 所示。第二阶段通过问卷评估机器人的使用意愿。被试被要求评估非目标刺激的使用意图。使用意图是基于 Agarwal 和 Karahanna^[66]的三个题项。分别是：“我计划使用该医疗服务机器人”、“我打算继续使用该医疗服务机器人”和“我期望将来使用该医疗服务机器人”。

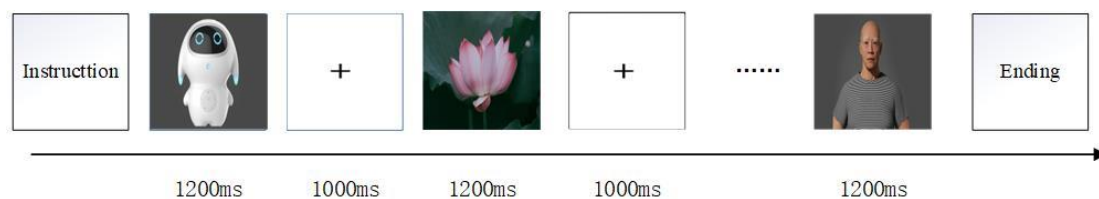


图 3-2 在线医疗服务机器人的脑电实验流程图

3.2 数据采集、预处理与分析

3.2.1 脑电采集

本章使用 64 个活性 Ag/AgCl 电极的 NeuroScanEEG 系统连续记录 EEG 信号。图 3-3 是 10-20 国际系统版本，其中头皮电极点之间的相对距离为 10%和 20%。该系统使用了两条参考线：矢状线和冠状线。以 FCz 为参考电极，将各活性电极与参考电极之间的电位差作为各自的电位值。为了消除伪影，在 ERP 旁边记录垂直眼电图（VEOG）和心电图（ECG），并记录水平眼电图（HEOG）来监测眼球运动。导电膏可将皮肤电阻降低到小于 5kΩ。ActiCHamp 放大器（actiCAP,BrainProductsGmbH,Germany）放大共模抑制比（CMRR）≥100db，通

频带 0.05Hz-70hz 的脑电图信号，采样频率为 1000Hz。使用 Brain Vision Recorder 软件（BrainProductsGmbH,Germany）记录和存储脑电图信号。

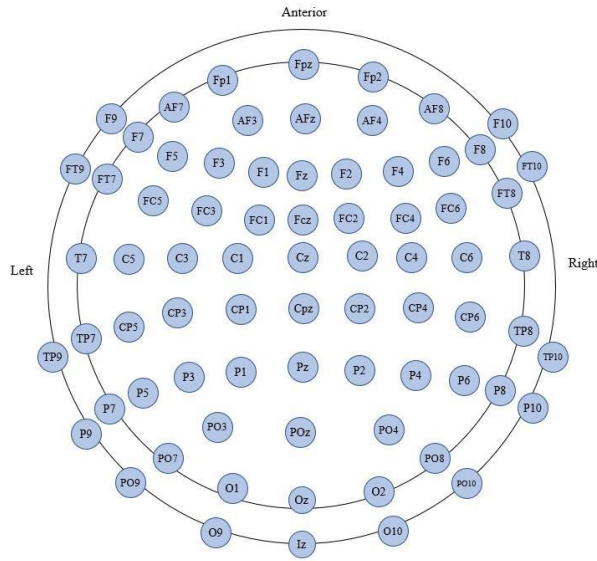


图 3-3 10-20 国际系统版本

3.2.2 脑电预处理

本章通过使用 MATLAB（R2020b）中的开源工具箱^[67]EEGLAB（2019.0 版本）对采集的脑电数据进行离线分析。具体处理过程如下：

（1）脑电数据导入。将每个被试的脑电数据 VHDR 格式导入 EEGLAB，确认各电极的通道位置。

（2）转换参考电极。双侧耳垂电极离其他电极远且记录大脑活动少。因此采取双侧乳突参考作为参考电极。参考电极从 FCz 转换为 TP9 和 TP10。转换后任意电极处 A 的幅值为：

$$a' = a - (l + r) / 2 \quad (3-1)$$

其中 a 为电极 A 的原始幅值 A 与原始参考电极幅值 x 之间的电压差，l 为转换后的左侧参考电极幅值，r 为转换后的右侧参考电极幅值。

（3）降低采样率。将采样率 1000HZ 降低至 500HZ。

（4）设置带通滤波。其作用会保留某个特定频率范围内的信号，去除在此之外的信号。我们设置带通滤波为 0.1-30HZ，以确保仅保留 0.1 至 30HZ 之间的脑电信号，从而消除缓慢的非神经元运动和 50/60Hz 电路噪声。

（5）建立 Binlist。根据不同的拟人化程度刺激类型建立 binlist，便于后续的

统计分析。具体而言，Binlist1=LA，Binlist2=MA，Binlist3=HA。

(6) 脑电分段。首先，在进行独立成分分析(ICA)前进行大分段操作。依据拟人化程度刺激类型对原始脑电数据进行分段。我们提取刺激呈现前-500ms至刺激呈现后的 3000ms 的脑电片段。其次，在完成独立成分分析(ICA)后进行小分段处理。我们提取相关刺激类型的片段，涵盖了刺激呈现前-200ms 至刺激呈现后 1000ms 的时间段。

(7) 独立成分分析(ICA)。其作用是去除脑电噪声。ICA 的基本原理是将多通道脑电信号看作是由多个独立的信号源线性混合而成。假设 N 个通道的脑电信号可以表示为一个 N 维向量 $X(t)$ ，其中 t 表示时间。那么，

$$X(t)=AS(t) \quad (3-2)$$

这里 $S(t)=[S1(t), S2(t), \dots, SC(t)]$ ， $S(t)$ 是 K 个独立成分的时间序列， K 小于等于 N 。

(8) 剔除伪迹成分：剔除脑电信号中的肌电伪迹、眼动伪迹与其他伪迹。

(9) 总平均处理。根据刺激类型即低度拟人化、中度拟人化、高度拟人化，我们对所有被试的脑电数据进行总平均，获取总平均波形、总平均地形图。

3.2.2 统计分析

本章旨在探究在线医疗服务机器人的拟人化程度对用户的 ERP 成分及使用意图影响。我们采用双因素重复测量方差分析方法，将拟人化、大脑位置作为关键变量。所有数据的统计分析均通过 SPSS22.0 软件进行。如果分析过程存在违反球形检验，那么使用 Greenhouse-Geisser 校正进行调整，以确保统计结果的准确性。同时，我们将统计检验的显著性水平设定为 0.05。

3.3 数据结果分析

3.3.1 主观结果分析

本章对量表的信度和效度进行测试。结果显示，拟人化程度的在线医疗服务机器人用户使用意图的 Cronbach's α 值为 0.790，这表明该量表具有较高的内部一致性。本章进行使用意图因子分析对模型的结构进行探究。。在最大方差法旋

转后，拟人化程度的使用意图的 KMO 值为 0.654。此外，Bartlett 球形度检验在 0.001 水平上显著，这进一步表明问卷结构效度良好。

本章采用重复测量方差分析揭示不同拟人化程度的在线医疗服务机器人对用户的使用意图研究。如表 3-1 所示，分析结果表明，机器人的拟人化程度呈现出明显的主效应 $[F(2,58)=11.881, p<0.001, \text{partial-}\eta^2=0.291]$ 。进一步的成对比较显示，低度拟人化的使用意图显著高于中度拟人化（ $p=0.001$ ），低度拟人化的使用意图显著高于高度拟人化（ $p=0.001$ ）。中度拟人化和高度拟人化之间没有显著差异（ $p=0.779$ ）。

表 3-1 重复方差测量结果

	自由度	F	P	partial- η^2
拟人化程度主效应	2,58	11.881	<0.001	0.291

3.3.2 电生理学结果分析

根据过往相关研究^[57,58]结合拟人化程度的 ERP 波形（图 3-4）和地形图（图 3-5）进行分析，本章选择 P200 和 P300 成分进行分析。波形图表示被试在不同电极上的平均振幅。地形图表示被试在不同时间点的神经活动表现。地形图中不同颜色表示不同神经活动，更接近红色的暖色表示神经活动更活跃，更接近蓝色的冷色表示神经活动较少。9 个电极被分为三个组：前额叶（AF3、AFz、AF4）、额叶（F3、Fz、F4）、中央叶（C3、Cz、C4）。对于 P200 和 P300 成分，将拟人化程度作为因素进行分析（低度拟人化、中度拟人化、高度拟人化），并在大脑位置的三个组上（前额叶、额叶和中央叶）进行分析。P200 成分在前额叶、额叶和中央 140-200 毫秒时间窗口中捕获。P300 成分在前额叶、额叶和中央 220-320 毫秒时间窗口中捕获。

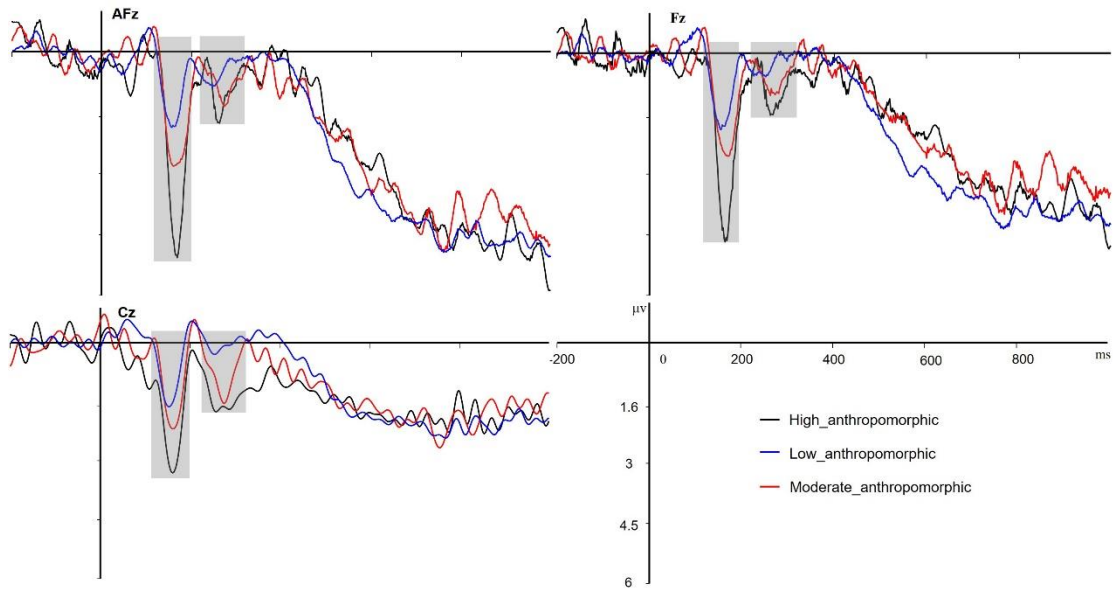


图 3-4 拟人化程度的在线医疗服务机器人波形图

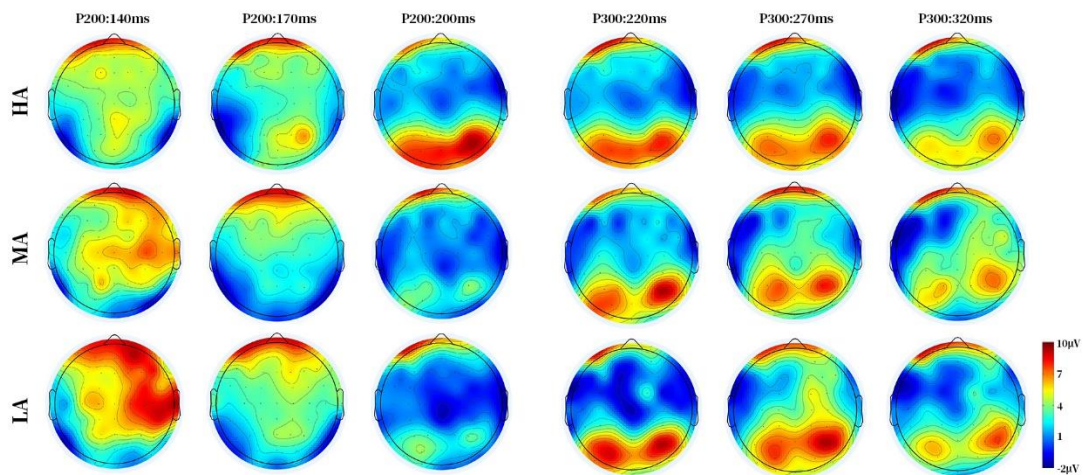


图 3-5 拟人化程度的在线医疗服务机器人地形图

(注释：“HA”表示高度拟人化的服务机器人；“MA”表示中度拟人化的服务机器人；“LA”表示低度拟人化的服务机器人。)

3.3.2.1 P200 结果分析

拟人化程度的在线医疗服务机器人重复测量方差结果，如表 3-2 所示。结果显示，在前额叶、额叶和中央叶，服务机器人的拟人化程度存在显著影响[前额叶： $F(1.598, 44.743)=12.746$, $p<0.001$, $\text{partial-}\eta^2=0.313$ ；额叶： $F(2, 56)=8.658$, $p=0.001$, $\text{partial-}\eta^2=0.236$ ；中央： $F(1.542, 43.186)=12.571$, $p<0.001$, $\text{partial-}\eta^2=0.31$]

0]。大脑位置并未表现出显著主要影响[前额叶: $F(2,56)=0.738$, $p=0.482$, $\text{partial-}\eta^2=0.026$;额叶: $F(2,56)=0.014$, $p=0.986$, $\text{partial-}\eta^2<0.001$; 中央叶: $F(2,56)=1.127$, $p=0.331$, $\text{partial-}\eta^2=0.039$]。服务机器人的拟人化程度与大脑位置之间亦无显著交互影响[前额叶: $F(3.223,90.249)=1.403$, $p=0.145$, $\text{partial-}\eta^2=0.061$; 额叶: $F(4,112)=8.658$, $p=0.238$, $\text{partial-}\eta^2=0.048$; 中央叶: $F(4,112)=0.325$, $p=0.861$, $\text{partial-}\eta^2=0.011$]。成对比较结果显示, 服务机器人的低度拟人化诱发 P200 波幅大于高度拟人化[前额叶: $p=0.001$; 额叶: $p=0.003$; 中央叶: $p=0.001$], 而中度拟人化诱发的 P200 波幅大于高度拟人化[前额叶: $p=0.001$; 中央叶: $p=0.007$] (如图 3-8 所示)。

表 3-2 P200 成分重复测量方差结果

因素	自由度	F	P	$\text{partial-}\eta^2$
拟人化程度 (低、中、高)	1,598,44.743	12.746	<0.001	0.313
大脑位置 (前额叶)	2,56	0.738	0.482	0.026
拟人化程度*大脑位置	3.223,90.249	1.818	0.145	0.061
拟人化程度 (低、中、高)	2,56	8.658	0.001	0.236
大脑位置 (额叶)	2,56	0.014	0.986	<0.001
拟人化程度*大脑位置	4,112	1.403	0.238	0.048
拟人化程度 (低、中、高)	1.542,43.186	12.571	<0.001	0.310
大脑位置 (中央叶)	2,56	1.127	0.331	0.039
拟人化程度*大脑位置	4,112	0.325	0.861	0.011

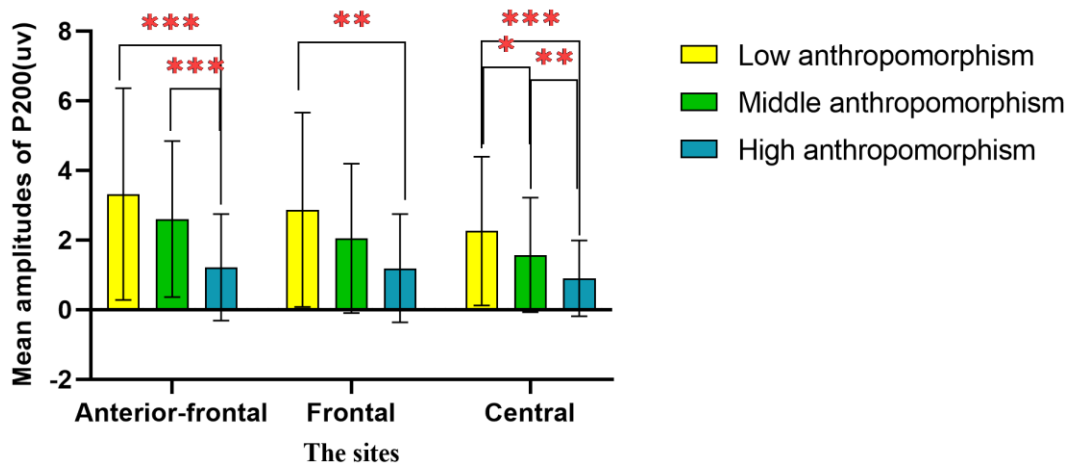


图 3-6 P200 成分的平均振幅

3.3.2.2 P300 结果分析

拟人化程度对 P300 成分的重复测量方差结果，如表 3-4 所示。结果显示，拟人化程度在前额叶、额叶均不存在显著主效应[前额叶: $F(2,56)=1.225$, $p=0.302$, $\text{partial-}\eta^2=0.042$; 额叶: $F(2,56)=0.952$, $p=0.392$, $\text{partial-}\eta^2=0.033$]，大脑位置也不存在显著主效应[前额叶: $F(2,56)=2.417$, $p=0.098$, $\text{partial-}\eta^2=0.079$; 额叶: $F(1.639,45.890)=2.933$, $p=0.061$, $\text{partial-}\eta^2=0.095$]。服务机器人的拟人化程度与大脑位置之间也无显著交互效应[前额叶: $F(2.498,69.950)=2.003$, $p=0.132$, $\text{partial-}\eta^2=0.067$; 额叶: $F(2.450,68.609)=1.514$, $p=0.203$, $\text{partial-}\eta^2=0.051$; 中央叶: $F(2.501,70.039)=0.727$, $p=0.516$, $\text{partial-}\eta^2=0.025$]。然而服务机器人的拟人化程度在中央叶存在显著主效应[中央叶: $F(2,56)=6.337$, $p=0.003$, $\text{partial-}\eta^2=0.185$]以及大脑位置在中央叶也存在显著主效应[中央叶: $F(2,56)=3.587$, $p=0.034$, $\text{partial-}\eta^2=0.114$]。成对比较结果显示，低度拟人化服务机器人诱发的 P300 平均振幅大于高度拟人化[中央叶: $p=0.017$]，而中度拟人化服务机器人诱发的 P300 平均振幅大于高度拟人化[中央叶: $p=0.022$]（图 3-10）。

表 3-4 P300 成分重复测量方差结果

因素	自由度	F	P	partial- η^2
拟人化程度（低、中、高）	2,56	1.225	0.302	0.042
大脑位置（前额叶）	2,56	2.417	0.098	0.079
拟人化程度*大脑位置	2.498,69.950	2.003	0.132	0.067
拟人化程度（低、中、高）	2,56	0.952	0.392	0.033
大脑位置（额叶）	1.639,45.890	2.933	0.061	0.095
拟人化程度*大脑位置	2.450,68.609	1.514	0.203	0.051
拟人化程度（低、中、高）	2,56	6.337	0.003	0.185
大脑位置（中央叶）	2,56	3.587	0.034	0.114
拟人化程度*大脑位置	2.501,70.039	0.727	0.516	0.025

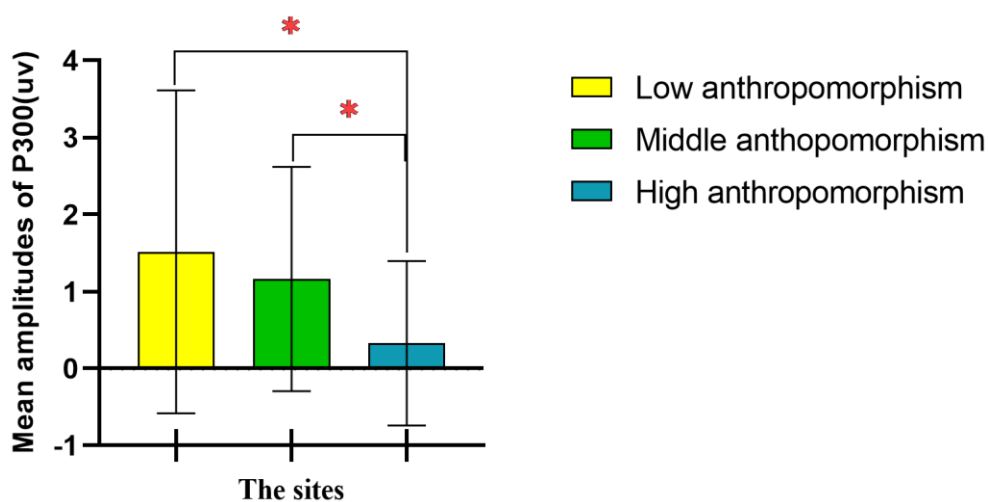


图 3-7 中央叶 P300 成分的平均振幅

3.4 讨论

外观是产品信息的外在表现，也是用户最直接和稳定的认知对象^[68]。虚拟代理的情绪面部表情可以影响其触感知觉^[69]。机器人的适度拟人化外观可以提高用户感知^[70]，激发更强烈的互动欲望^[71]。本研究利用 EEG 实验探索用户对在线医疗服务机器人使用意愿的神经加工活动。此外，采用 Mathur 和 Reichling 的五点李克特量表收集用户对于医疗服务机器人使用意图的评价。

在主观结果方面，本章揭示拟人化程度对用户使用意图具有显著主效应。这表明拟人化特征会影响用户与在线医疗服务机器人的交互。一种可能的原因是拟人化特征赋予了机器人人性特征和情感属性，从而建立了与机器人的信任关系。成对结果表明，低度拟人化在线医疗服务机器人使用意图方面显著高于中度、高度拟人化机器人。这表明并非拟人化程度越高对用户的使用意愿就越高。这与恐怖谷理论不一致，该理论指出用户对仿真机器人（中度机器人）的好感度较高。一种合理的解释，与医疗服务场景有关，用户害怕自己的隐私被人窥探，更愿意与低度拟人化机器人交互。此外，中度拟人化和高度拟人化之间在用户使用意图方面没有显著差异，这也进一步支持了上述解释。

在神经活动反应方面，P200 是一种正电位，延迟约为 200 毫秒。它反映了外源性“注意捕捉”的早期阶段^[72]。P200 成对比较结果表明，与中度和高度拟人化程度相比，用户需要在低度拟人化程度在线医疗服务机器人中投入更多的认知资源来进行信息处理。同样地，用户必须在中度拟人化程度的服务机器人中投入更多的认知资源，而不是在高度拟人化程度的医疗服务机器人。Guo 证明，与非首选人形机器人相比，首选人形机器人引发了积极的影响并获得了更多的关注^[62]。因此，与高度和中度拟人化程度的医疗服务机器人相比，用户更喜欢低度拟人化程度的医疗服务机器人，这可能导致了用户对低度拟人化程度医疗服务机器人有更大的使用意愿；与高度拟人化程度医疗服务机器人相比，用户更喜欢中度拟人化程度机器人。一种可能的解释是，低度拟人化程度的医疗服务机器人可能比中度和高度拟人化程度的服务机器人更舒适，而中度拟人化程度服务机器人可能看起来更亲近比高度拟人化程度机器人。

P300 是一种正电位，延迟约为 300 毫秒，反映了对任务相关刺激和行为意图的注意分配^[73]。研究结果表明，低度拟人化在线医疗服务机器人引发的 P300 显著高于高度拟人化的机器人，中度拟人化在线医疗服务机器人引发的 P300 也显著高于高度拟人化。这表明相较于高度拟人化在线医疗服务机器人，低度和中度拟人化吸引用户更多的注意力。一种可能的原因，在医疗这一特定场景下，用户可能更加注重隐私保护，担心个人信息泄露或被他人知悉。因此，拟人化程度较低的机器人给人一种更为亲切、信任感。当看到低度和中度拟人化程度的服务机器人时，用户为其分配更多注意力资源。先前的研究已经证实，增加的 P300

可能表明注意力进一步朝向用户偏好倾斜^[57]。因此，在医疗场景中，用户可能更倾向于与那些拟人化程度适中进行交互。

3.5 本章小节

本章通过脑电实验的方式揭示了拟人化程度对在线医疗服务机器人使用意图影响。研究结果显示，无论在使用意图方面还是在神经加工活动方面，拟人化都具有显著主效应，这表明拟人化会影响用户与服务机器人之间的交互。具体来说，在神经加工活动方面，在刺激出现初期，用户对于低度拟人化的服务机器人分配了更多的注意力资源，随着刺激持续，低度拟人化、中度拟人化服务机器人同样吸引了用户更多的注意力资源。在使用意图方面，用户对于低度拟人化服务机器人更有使用意图。综上所述，本章的研究结果为我们更好理解拟人化特征在医疗领域的影响提供了视角。

第 4 章 服务机器人性别特征对用户行为意图影响研究

早在 1960s 年代, Joseph Weizenbaum 便发明世界上第一台聊天机器人, 开辟了人机交互的新纪元。如今, 虚拟聊天机器人已经深度融入人们的日常生活, 无论是淘宝客服还是像聊天机器人小冰, 都成为了人们生活中不可或缺的一部分。性别是个人自我概念和身份的中心维度, 也是一个关键的人类属性, 对于人们如何与他人建立联系有着显著影响^[28]。尽管类人程度一直是学者们研究的热点, 但关于虚拟聊天机器人性别对用户行为意图的影响却鲜有研究。因此, 本章以虚拟服务机器人为研究对象, 借助脑电技术探究服务机器人性别特征对用户行为意图影响。

4.1 脑电实验设计

4.1.1 被试

本章使用 G*Power3.1^[64]软件进行事先计算确定所需的样本量。计算结果显示, 在推荐的统计效力 β 为 95% 和错误概率 α 设定为 0.05 条件下, 至少需要 12 个样本 (效应量 $f=0.4$)。我们通过微信平台招募了 33 名被试 (16 名女生和 17 名男生)。然而, 在 ERP 实验过程中, 由于两名女生因放大器故障, ERP 实验过程中断。因此, 仅有 31 名被试 (17 名男生, 14 名女生) 的 ERP 数据被纳入分析。所有被试都是安徽工程大学的学生, 平均年龄为 21.6 岁。他们都是右撇子、视力正常或经过矫正。在实验之前, 被试在过去 24 小时内有充足的睡眠, 并且没有神经或精神障碍的历史, 也没有饮酒。所有被试在实验前签署了知情同意书, 并在实验后获得了 70 元人民币作为报酬。该研究获得了安徽工程大学认知心理学研究所伦理委员会的批准。

4.1.2 实验材料

本章采用 3.1.3 部分所述的高拟人化机器人图像作为虚拟聊天机器人的刺激材料。本次刺激集共包含 6 张非目标图像, 其中 3 张男性特征的机器人、3 张女性特征的机器人, 以及两张以花朵为主题的目标刺激图像。为了强化用户对性别

印象的感知，本章研究为所有男性虚拟聊天机器人赋予男性名字威廉，而为所有女性虚拟聊天机器人赋予女性名字莉莉。所有图像都设计为 1920*1150 像素的尺寸。

4.1.3 实验过程

该实验在专业的 ERP 实验室中进行，实验室分为准备室和观察控制室（图 4-1）。准备室提供一个适宜环境，具有较好的隔音、适当的光线、温度和湿度，以及最小的外部干扰。观察控制室允许实验者控制实验过程并观察参与者的任何异常情况。被试在准备阶段被告知洗头并吹干头发。然后他们进入准备室，坐在离计算机屏幕大约 80 厘米的椅子上，目光集中在屏幕中央。根据国际 10-20 系统原则，通过连接双侧耳垂和从鼻子到枕骨的线的交点确定 Cz 电极位点。随后，佩戴适当的电极帽。准备完成后，被试被告知实验的说明。

在实验开始时，被试被告知这是一个基于情境的任务。情境如下：假设你好朋友的生日即将到来，你想买一件短袖衬衫作为生日礼物。然而，你不知道你朋友的衣服尺码，你只知道他们的身高和体重。所以，你打开淘宝浏览了一个你喜欢的短袖衬衫设计。为了获取尺码信息，你决定咨询两种类型的虚拟聊天机器人威廉和莉莉。莉莉是一个女性虚拟聊天机器人，具有明显的类人的女性面部特征，而威廉则是一个男性虚拟聊天机器人，具有明显的类人的男性面部特征。在下面的问卷和脑电实验中，所有男性虚拟聊天机器人均命名为威廉，所有女性虚拟聊天机器人均命名为莉莉。

脑电实验由 E-prime3.0 编程和演示。实验采用 oddball 范式，刺激材料包括一个虚拟聊天机器人非目标刺激（180 次）和一个花朵目标刺激（60 次）。刺激随机呈现，每个刺激持续时间为 1200 毫秒，中间有一个“+”注视点，在两个刺激之间显示 500 毫秒。实验过程中有一个休息时间（如图 4-2 所示）。参与者被指示记住所有目标刺激的出现。

实验结束时，参与者被要求评估他们对六个非目标刺激使用虚拟聊天机器人的使用意图。使用意图是基于 Agarwal 和 Karahanna（2000）^[66]的工作提出的三个问题进行评估的：“我计划使用虚拟聊天机器人”，“我打算继续使用虚拟聊天

机器人”，和“我期望将来使用虚拟聊天机器人”。使用意图是用五点李克特量表评价的，“1”表示强烈不同意，“5”表示强烈同意。填写完量表后，整个实验结束。

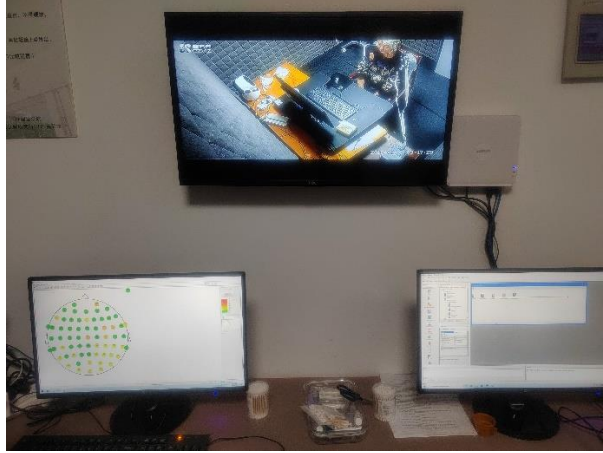


图 4-1 实验室环境图

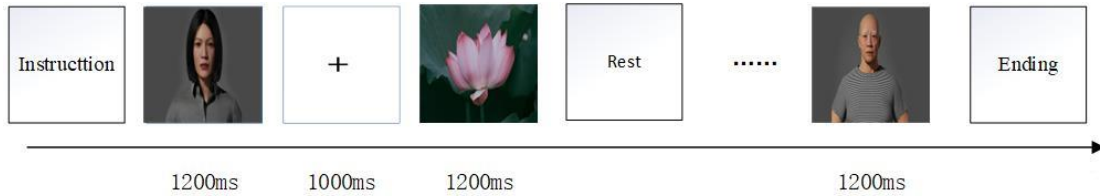


图 4-2 实验流程图

4.2 数据采集、预处理与分析

4.2.1 数据采集和预处理

本章使用 BrainactiCHamp 放大器（BrainProductsGmbH，德国慕尼黑）以及配备国际 10-20 系统的 64 个 g/AgCl 电极帽进行 EEG 数据记录。在数据收集过程中，Cz 电极作为参考电极。EEG 数据以 1000Hz 的采样率进行连续采样，并进行了 0.05 到 70Hz 的带通滤波。同时，头皮和电极之间的阻抗被保持在 $5K\Omega$ 以下。

在数据预处理时，本章使用 Delorme 和 Makeig（2004）开发的开源工具箱 EEGLAB（2019.0 版本）^[67]，预处理的步骤基本遵循 3.2.2 章节中脑电预处理步骤。然而，本章在数据预处理过程中有两点主要的区别：第一，在建立 Binlist 时，我们根据刺激材料类型特征，分别设置 Bin1=女性虚拟服务机器人，Bin2=男性虚拟服务机器人；第二，总平均处理时，本章不仅对所有被试进行总平均处

理、还分别对女性被试和所有男性被试进行总平均处理，以便在后续分析中考虑被试性别因素。

4.2.2 统计分析

本章对 ERP 的平均振幅、主观数据的使用意图分别进行了重复测量方差分析。采用 2（虚拟聊天机器人性别：男性和女性） $\times$ 3（脑区：中央-顶叶、顶叶、顶叶-枕叶、枕叶）的重复测量方差分析。此外，研究考虑被试性别对 ERP 和使用意向数据的影响，我们分别对男性/女性被试在虚拟聊天机器人性别和脑部区域这两个因素上进行了分析，同样对 ERP 的平均振幅和使用意图数据进行重复测量方差分析。如果分析过程违反球形检验，那么使用 Greenhouse-Geisser 校正进行调整，以确保统计结果的准确性。显著性水平设定为 0.05。所有统计分析均使用 SPSS22.0 进行。

4.3 数据结果分析

4.2.1 主观结果分析

本章使用 SPSS22.0 软件对使用意图量表的可靠性和有效性进行检验。结果显示，该量表的 Cronbach's α 系数为 0.855，这表明该量表的内部一致性非常好。为进一步验证量表的有效性，我们使用探索性因子分析（EFA）进行评估。在经过 Promax 旋转提取因子后，我们得到 Kaiser-Meyer-Olkin（KMO），其值为 0.608。同时，球形性的 Bartlett 检验结果非常显著，这表明数据适合进行因子化。

采用重复测量方差分析虚拟聊天机器人和被试性别之间的使用意图差异。根据表 4-1 结果显示，虚拟聊天机器人性别存在显著主效应 $[F(1.000,32.000)=14.827, p=0.001, \text{partial-}\eta^2=0.317]$ 。考虑被试性别因素，对于女性被试而言，虚拟聊天机器人性别也存在显著主效应 $[F(1.000,15.000)=7.737, p=0.014, \text{partial-}\eta^2=0.340]$ 。对于男性被试而言，虚拟聊天机器人同样存在显著主效应 $[F(1.000,16.000)=7.101, p=0.017, \text{partial-}\eta^2=0.307]$ 。成对比较的结果显示，女性虚拟聊天机器人比男性虚拟聊天机器人引起更大的用户使用意图[被试: $p=0.001$ ；女性被试: $p=0.014$ ；男性被试: $p=0.017$]。

表 4-1 使用意图的重复测量方差结果

被试	机器人因素	自由度	F	P	partial- η^2
不区分	性别主效应	1.000,32.000	14.827	0.001	0.317
女性被试	性别主效应	1.000,15.000	7.737	0.014	0.340
男性被试	性别主效应	1.000,16.000	7.101	0.017	0.307

4.2.2 电生理学结果分析

基于脑电波形图（图 4-3）、地形图（图 4-4）和现有研究^[57,62,74]，我们选择中央-顶叶区域（CP1, CPZ, CP2）、顶叶区域（P3, PZ, P4）、顶枕叶区域（PO3, POZ, PO4）和枕叶区域（O1, OZ, O2）作为后续脑电分析的电极点。如图 3 所示，我们选择了顶叶、顶枕和枕叶区域在 90-105ms 的时间窗内的 P100 成分。我们选择了顶叶、顶枕和枕叶区域在 170-270 毫秒的时间窗内的 P200 成分。我们选择了中央顶叶区域在 100-110 毫秒的时间窗内的 N100 成分。12 个电极被分为四个组：中央-顶叶组（CP1, CPZ, CP2）、顶叶组（P3, PZ, P4）、顶枕组（PO3, POZ, PO4）和枕叶组（O1, OZ, O2）。

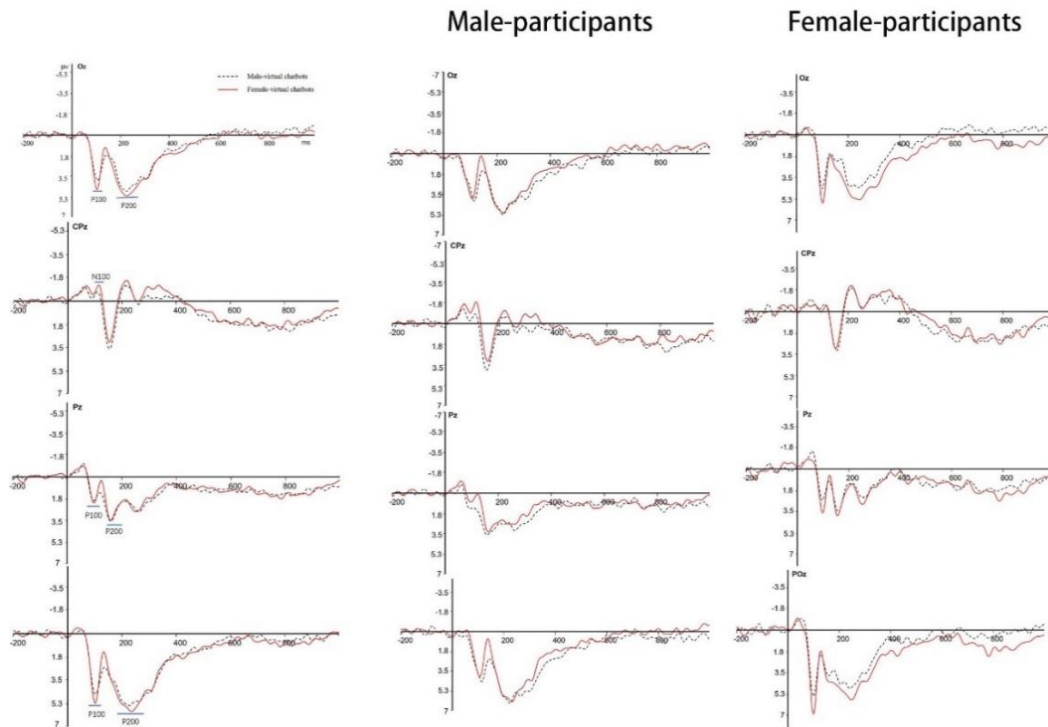


图 4-3 虚拟聊天服务机器人波形图

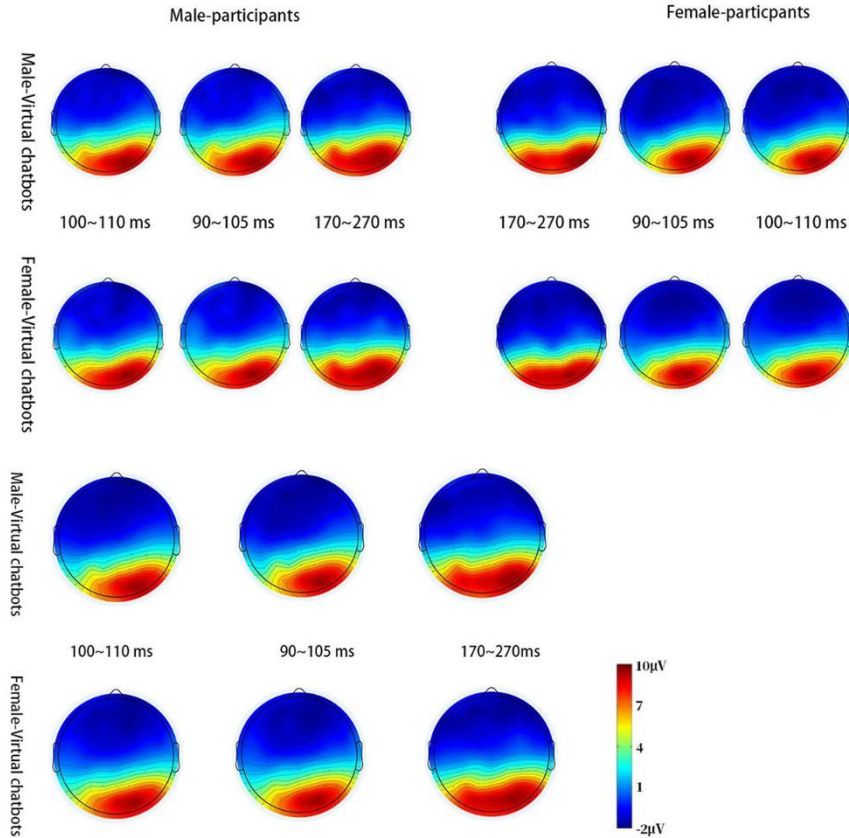


图 4-4 虚拟聊天服务机器人地形图

4.2.2.1 N100 结果分析

被试与不同性别的虚拟聊天机器人互动时，对虚拟聊天机器人有不同感知。根据表 4-2 中的重复方差测量结果，我们发现脑部区域的主效应显著[中央-顶叶: $F(1.383, 42.869)=9.437$, $p=0.001$, $\text{partial-}\eta^2=0.254$]，虚拟聊天机器人性别没有显著主效应[中央-顶叶: $F(1.000, 31.000)=0.124$, $p=0.727$, $\text{partial-}\eta^2=0.004$]，虚拟聊天机器人性别与脑部区域交互效应也没有显著影响[中央-顶叶: $F(1.124, 32.540)=1.071$, $p=0.336$, $\text{partial-}\eta^2=0.033$]。在考虑被试性别后，男性被试与虚拟聊天机器人互动时，虚拟聊天机器人性别存在显著主效应[中央-顶叶: $F(1.000, 16.000)=4.725$, $p=0.045$, $\text{partial-}\eta^2=0.228$]。成对比较结果显示，虚拟聊天机器人引起的 N100 波幅较女性虚拟聊天机器人更大（如图 4-5 所示）。女性被试与虚拟聊天机器人互动时，脑部区域存在显著主效应[中央-顶叶: $F(2, 28)=8.109$, $p=0.002$, $\text{partial-}\eta^2=0.367$]。其他方面未发现显著影响。

表 4-2 N100 成分的重复测量方差结果

被试（性别）	因素	自由度	F	P	partial- η^2
不区分	性别	1.000,31.000	0.124	0.727	0.004
	脑部区域（中央-顶叶）	1.383,42.869	9.437	0.001	0.254
	性别*脑部区域	1.124,32.540	1.071	0.336	0.033
女性被试	性别	1.000,14.000	0.917	0.354	0.062
	脑部区域（中央-顶叶）	2,28	8.109	0.002	0.367
	性别*脑部区域	1.284,17.973	1.123	0.321	0.074
男性被试	性别	1.000,16.000	4.725	0.045	0.228
	脑部区域（中央-顶叶）	1.176,18.814	3.398	0.076	0.175
	性别*脑部区域	1.425,21.692	0.464	0.570	0.028

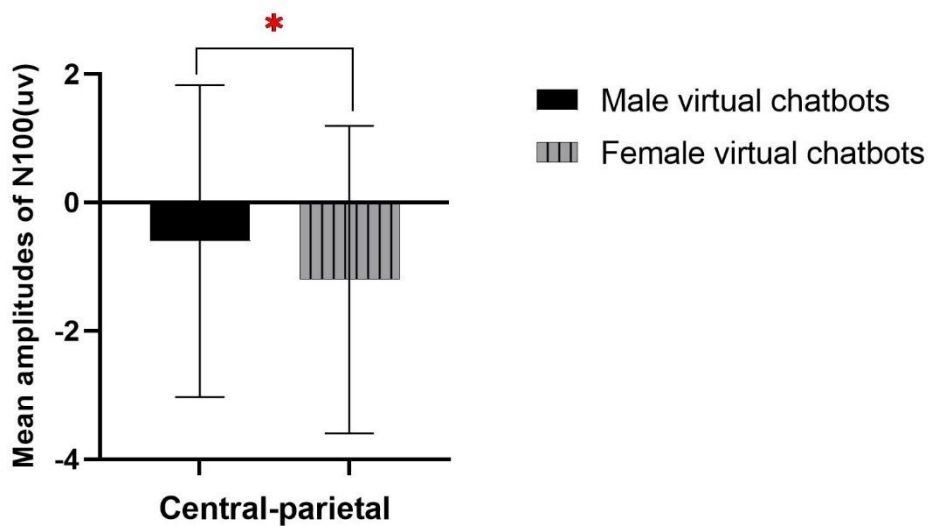


图 4-5 中央-顶叶区域的 N100 的平均振幅

注: “****” 表示 $P \leq 0.001$; “***” 表示 $0.001 \leq P \leq 0.01$; “*” 表示 $0.01 \leq P \leq 0.05$; “ns” 表示不显著。

4.2.2.2 P100 结果分析

根据表 4-3 重复测量方差结果显示, 虚拟聊天机器人的性别在顶枕叶、枕叶产生了显著主效应[顶枕叶: $F(1.000,31.000)=4.809$, $p=0.036$, $\text{partial-}\eta^2=0.134$; 枕叶: $F(1.000,31.000)=5.062$, $p=0.032$, $\text{partial-}\eta^2=0.140$], 脑部区域在顶叶、顶枕

叶、枕叶的主效应显著[顶叶: $F(1.461,45.282)=15.379$, $p<0.001$, $\text{partial-}\eta^2=0.332$; 顶枕叶: $F(2,62)=31.039$, $p<0.001$, $\text{partial-}\eta^2=0.500$; 枕叶: $F(1.289,39.949)=20.327$, $p<0.001$, $\text{partial-}\eta^2=0.396$], 以及虚拟聊天机器人性别与脑部区域在枕叶的交互效应显著[枕叶: $F(1.742,53.994)=6.734$, $p=0.002$, $\text{partial-}\eta^2=0.178$]。然而, 在顶叶区并未观察到虚拟聊天机器人性别的主效应显著 [顶叶: $F(1.000,31.000)=0.385$, $p=0.539$, $\text{partial-}\eta^2=0.012$], 虚拟聊天机器人性别与脑部区域的交互作用在顶叶、顶枕叶也不显著[顶叶: $F(1.440,44.631)=0.027$, $p=0.936$, $\text{partial-}\eta^2=0.001$; 顶枕叶: $F(1.620,50.221)=0.062$, $p=0.908$, $\text{partial-}\eta^2=0.002$]。成对比较结果显示, 女性虚拟聊天机器人引起的 P100 波幅明显高于男性虚拟聊天机器人[顶枕叶: $p=0.036$] (如图 4-6 (a) 所示)。简单效应显示, 女性虚拟聊天机器人引起的 P100 波幅显著高于男性虚拟聊天机器人[O1: $p=0.008$; Oz: $p=0.008$] (如图 4-6 (b) 所示)。

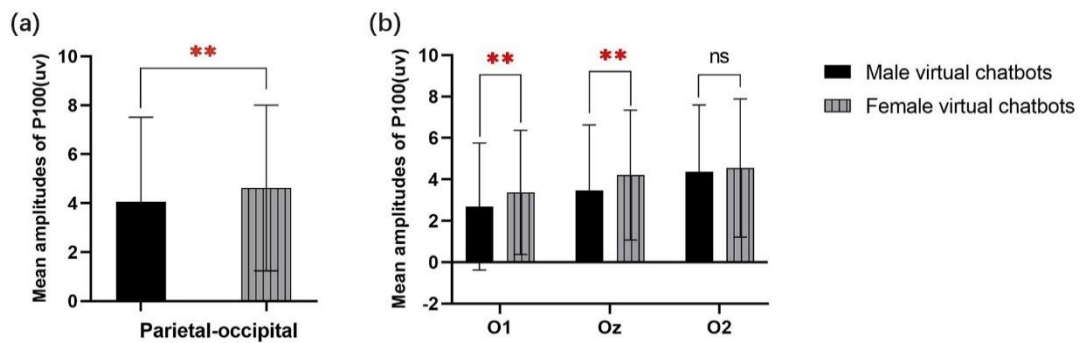


图 4-6 顶枕叶、枕叶区域的 P100 平均振幅

在女性被试和虚拟聊天机器人之间的交互过程中, 根据表 4-3 重复测量方差结果显示, 虚拟聊天机器人的性别产生了显著主效应[顶枕叶: $F(1.000,14.000)=6.094$, $p=0.027$, $\text{partial-}\eta^2=0.303$], 以及脑部区域的主效应[顶叶: $F(1.406,19.680)=6.987$, $p=0.010$, $\text{partial-}\eta^2=0.333$; 顶枕叶: $F(2,28)=17.745$, $p<0.001$, $\text{partial-}\eta^2=0.559$; 枕叶: $F(1.238,17.335)=15.361$, $p=0.001$, $\text{partial-}\eta^2=0.201$]。成对比较结果显示, 女性虚拟聊天机器人引起的 P100 波幅明显高于男性机器人[顶枕叶: $p=0.027$] (如图 4-7 (a) 所示)。对于枕叶, 虚拟聊天机器人性别与脑部区域的交互作用效应显著[$F(2,28)=5.292$, $p=0.011$, $\text{partial-}\eta^2=0.274$]。简单效应显示, 女性虚拟

聊天机器人引起的 P100 波幅较大于男性虚拟聊天机器人[O1: $p=0.023$] (如图 4-7 (b) 所示)。在其他区域并未发现显著主效应。

表 4-3 P100 成分的重复测量方差结果

被试 (性别)	因素	自由度	F	P	partial- η^2
不区分	机器人性别	1.000,31.000	0.385	0.539	0.012
	脑部区域 (顶叶)	1.461,45.282	15.379	<0.001	0.332
	性别*脑部区域	1.440,44.631	0.027	0.936	0.001
	机器人性别	1.000,31.000	4.809	0.036	0.134
	脑部区域 (顶枕叶)	2,62	31.039	<0.001	0.500
	性别*脑部区域	1.620,50.221	0.062	0.908	0.002
	机器人性别	1.000,31.000	5.062	0.032	0.140
	脑部区域 (枕叶)	1.289,39.949	20.327	<0.001	0.396
	性别*脑部区域	1.742,53.994	6.734	0.002	0.178
	机器人性别	1.000,14.000	3.357	0.088	0.193
	脑部区域 (顶叶)	1.406,19.680	6.987	0.010	0.333
	性别*脑部区域	2,28	1.920	0.165	0.121
女性被试	机器人性别	1.000,14.000	6.094	0.027	0.303
	脑部区域 (顶枕叶)	2,28	17.745	<0.001	0.559
	性别*脑部区域	1.288,18.028	1.818	0.195	0.115
	机器人性别	1.000,14.000	3.511	0.082	0.201
	脑部区域 (枕叶)	1.238,17.335	15.361	0.001	0.523
	性别*脑部区域	2,28	5.292	0.011	0.274

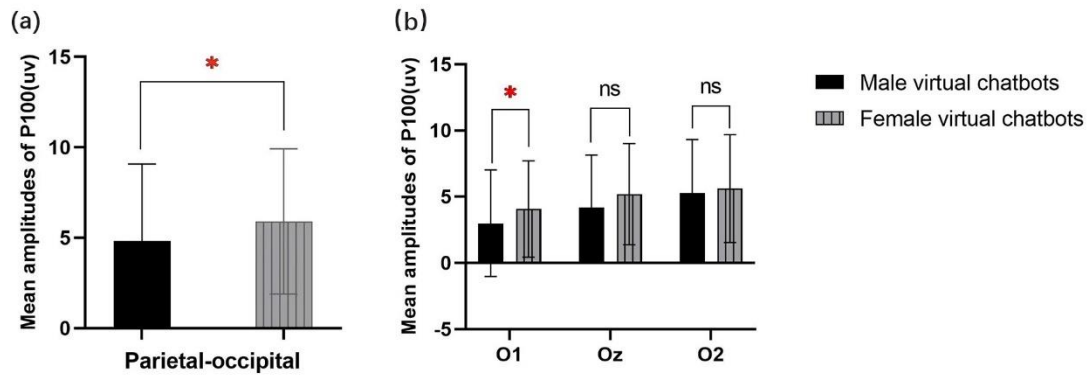


图 4-7 女性被试的 P100 平均振幅

4.2.2.3 P200 结果分析

除了枕叶之外，在其他脑区没有显著差异。根据表 4-4 重复测量方差结果，我们发现到虚拟聊天机器人性别和脑部区域之间存在显著的交互效应 $[F(1.605, 49.769)=3.471, p=0.048, \text{partial-}\eta^2=0.101]$ 。简单效应结果显示，女性虚拟聊天机器人引起的 P200 波幅较大于男性虚拟聊天机器人，且差异接近显著 $[O1: p=0.136; Oz: p=0.119]$ （如图 4-8 所示）。

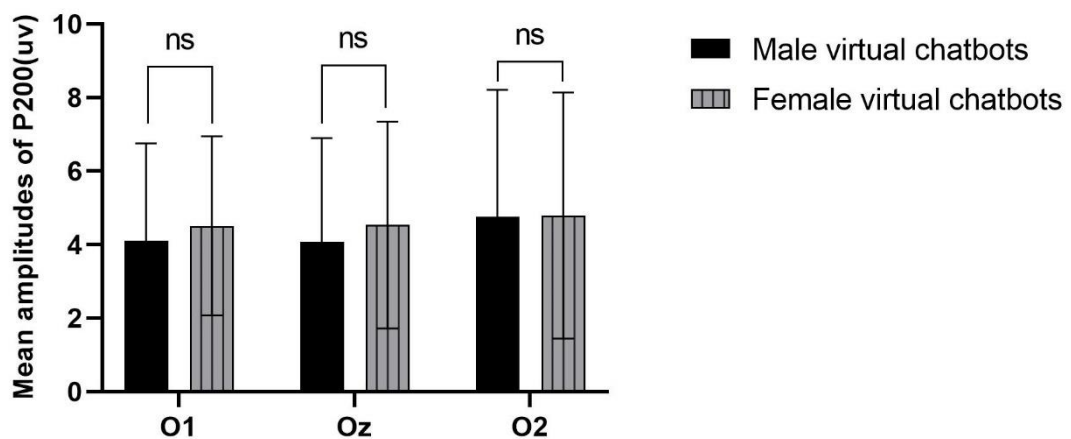


图 4-8 枕叶区域的 P200 平均振幅

当女性被试与虚拟聊天机器人进行互动时，虚拟聊天机器人性别主效应在枕叶是显著的 $[F(1.000, 14.000)=4.756, p=0.047, \text{partial-}\eta^2=0.254]$ 。成对结果显示，女性机器人比男性机器人诱发更大的 P200 成分 $[p=0.047]$ （如图 4-9 所示）。在其他区域，虚拟聊天机器人的性别、脑部区域以及它们之间的交互作用效应都不显著。当女性参与者与虚拟聊天机器人进行互动时，在其他区域也没有发现显著的

效应。

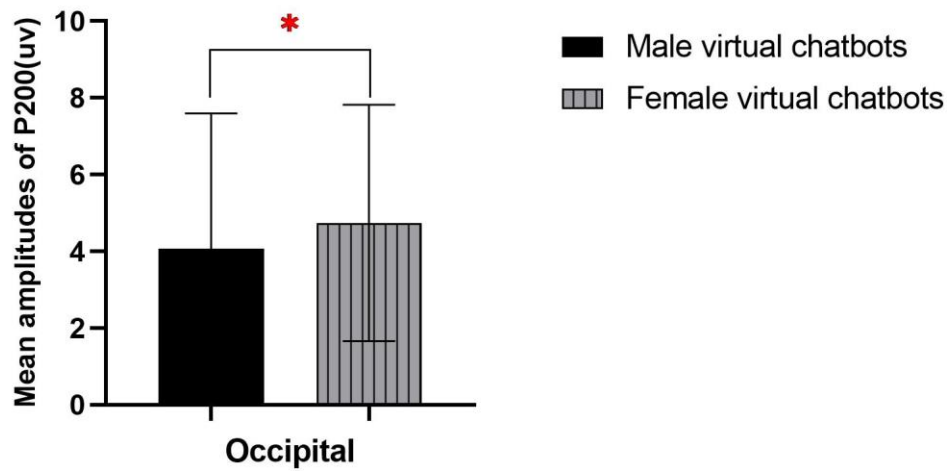


图 4-9 女性被试的 P200 平均振幅

表 4-4 P200 成分的重复测量方差结果

被试	因素	自由度	F	P	partial- η^2
不区分	机器人性别	1.000,31.000	1.280	0.267	0.040
	脑部区域（枕叶）	1.241,38.484	1.654	0.208	0.051
	性别*脑部区域	1.605,49.769	3.471	0.048	0.101
女性被试	机器人性别	1.000,14.000	4.756	0.047	0.254
	脑部区域（枕叶）	1.085,15.195	0.164	0.712	0.012
	性别*脑部区域	2,28	1.859	0.175	0.117

4.3 讨论

在使用意图方面，我们发现虚拟聊天机器人的性别显著影响用户的使用意图。主观评价显示，不考虑被试的性别特征时，人们倾向于使用女性虚拟聊天机器人。然而，当考虑到被试的性别特征时，男性和女性被试都表现出更高的使用女性虚拟聊天机器人的意图，而不是男性虚拟聊天机器人。一个可能的解释是，虚拟聊天机器人长期以来一直被认为是以女性为主，而不是男性^[75]。这与我们的结果一致，即女性虚拟聊天机器人引起了更大的使用意图。因此，无论被试是男性还是女性，他们使用女性虚拟聊天机器人的意图都比男性虚拟聊天机器人高。

在神经活动反应方面,性别差异在认知及其潜在的大脑机制方面越来越受到关注^[76]。本研究利用 ERP 技术分析虚拟聊天机器人性别的评估过程。我们发现,无论是否考虑被试性别因素,虚拟聊天机器人的性别因素都会影响 N100、P100 和 P200。

N100 与物理刺激特征的敏感性有关,并可以反映注意资源的分配^[77,78]。对于男性被试,结果显示,在刺激呈现的早期,虚拟聊天机器人的性别特征影响了 N100 的振幅,这意味着机器人的性别特征吸引了用户的注意力。具体而言,与女性虚拟聊天机器人相比,男性虚拟聊天机器人引发了更大的 N100 振幅。这一结果揭示,男性被试会更关注男性虚拟聊天机器人。这与相似性-吸引范式^[79]一致,即男性更倾向于与男性虚拟聊天机器人进行交流,这需要将更多的注意资源分配给男性虚拟聊天机器人。与先前的研究支持我们的发现。例如,Bakar(2014)研究人-人之间的性别一致性,他发现主管与下属之间的性别一致性导致下属的工作满意度和承诺更高^[80]。这种性别一致性在人与机器人互动中同样存在。Pitardi(2023)的研究进一步证实,人-机器人的性别一致性能产生更积极的效果^[81]。因此,当男性被试看到同性机器人时,男性虚拟聊天机器人引起了更大的 N100 振幅,这可以反映它们引发积极情绪的能力。

P100 与处理视觉刺激的早期阶段的注意资源分配有关^[82]。统计结果显示,刺激呈现的早期阶段,虚拟聊天机器人性别特征在枕叶、顶枕叶会显著影响 P100 成分,表明虚拟聊天机器人性别特征的物理属性可以被检测出来。结果表明,与男性虚拟聊天机器人相比,女性虚拟聊天机器人诱发更大的 P100 振幅,表明女性机器人分配了更多的用户的注意力资源。一种可能的解释,女性在服务环境中往往比男性服务员表现出更好的态度,而女性 AI 代理人被认为比男性同行更温暖^[36,75]。换句话说,与男性虚拟聊天机器人相比,女性虚拟聊天机器人显得更加温暖和积极,这导致吸引更多用户注意。正如 Seo(2022)的研究表明,女性虚拟聊天机器人比男性虚拟聊天机器人产生更多的愉悦和满意感^[33]。因此,当用户关注刺激信息时,女性虚拟聊天机器人会引发更高的 P100 并获得更多的注意力。

女性被试的结果显示,在早期处理阶段,女性虚拟聊天机器人在枕叶、顶枕叶比男性虚拟聊天机器人引发了更高的 P100 振幅。一个合理的解释是,由于女性被试与自己性别相同的聊天机器人(即女性聊天机器人)感到更相似,女性虚

拟聊天机器人吸引了比男性虚拟聊天机器人更多的注意力资源^[32]。我们的结果与 Eyssel (2012) 的研究一致^[30]，他发现当与同性别的虚拟聊天机器人互动时，参与者产生了更好的印象，并报告了更大的心理亲近感。这支持了相似性-吸引范式^[79]。因此，与男性虚拟聊天机器人相比，女性被试会将更多的注意力分配给女性聊天机器人。

P200 与情绪和注意力唤醒的研究相关^[83]。研究发现，女性虚拟聊天机器人比男性虚拟聊天机器人在枕叶引发了更大幅度的 P200。这表明女性虚拟聊天机器人吸引更多的注意资源。这可能是，由于女性虚拟聊天机器人被认为具有良好的人性（例如友好、温暖和值得信赖）^[84]。即使刺激呈现一定时间，用户仍然倾向于对女性虚拟机器人分配更多的注意力资源。早期的研究证实，使用女性声音的计算机比使用男性声音的计算机更具吸引力^[85]。最近的研究也揭示，当使用女性系统时，参与者能够感到更加舒适、自信和不那么紧张^[86]。此外，被试认为具有女性身形的机器人比具有男性身形的机器人更具亲和力、认知信任和情感信任^[87]。这些研究也进一步支持了我们的研究结果。女性虚拟聊天机器人比男性虚拟聊天机器人唤醒被试更多的积极情绪。因此，女性虚拟聊天机器人诱发更大的 P200 振幅。

女性被试的统计结果显示，女性虚拟聊天机器人在枕叶引发了比男性虚拟聊天机器人更高 P200 振幅，这意味着女性被试比男性被试更关注女性虚拟聊天机器人。这个结果符合相似性-吸引范式^[79]，即女性被试倾向于与符合其性别的聊天机器人互动。研究人员发现，人们更容易接受与现有的基于性别和人格的角色类型相一致的机器人。因此，该结果表明，与男性虚拟聊天机器人相比，女性虚拟聊天机器人吸引了更多的注意资源和积极情绪。

4.4 本章小节

本章利用 ERP 技术探讨了服务机器人中的虚拟聊天机器人对用户行为意图影响。我们旨在更深入地了解性别在人机沟通中的影响。结果显示，用户对女性虚拟聊天机器人的使用意图比男性虚拟聊天机器人更强烈。女性被试表现出更高的使用同性虚拟聊天机器人的意愿，而男性被试则相对不愿意使用同性机器人，更愿意使用异性机器人。研究发现，在人机交互过程中，性别效应存在于神经水

平上，而非主观问卷中。虚拟聊天机器人性别特征对用户神经活动过程的影响如下：（1）约在 100 毫秒左右，出现了一个视觉知觉的初始阶段，被试感知虚拟聊天机器人性别的物理属性。女性虚拟聊天机器人比男性虚拟聊天机器人吸引了更多的注意资源。女性被试为同性机器人分配了更多的注意资源，而男性被试也对同性机器人表现出更大的注意力资源。（2）在 170 至 270 毫秒之间，进行了一个评价和判断阶段。被试仍然检测虚拟聊天机器人性别的物理属性。与男性虚拟聊天机器人相比，女性虚拟聊天机器人被分配了更多的注意力，评估女性虚拟聊天机器人的使用意愿强度。女性被试对女性虚拟聊天机器人分配了更多的注意资源；同样，男性参与者对男性虚拟聊天机器人分配了更多的资源。我们的研究结果为虚拟机器人外观设计奠定了基础。设计师可以更好地了解用户对虚拟机器人性别的神经活动，从而创造出更好的产品。

第 5 章 服务机器人拟人化角色对用户行为意图影响研究

随着技术的发展，机器的主体性日益凸显，它们已经从单纯的工具性向社交性转变。如今，服务机器人不仅能够与人对话参与社会交往，还能够表达情感并建立社会联系。这都展现出机器人的主体性，三只松鼠的仆人型角色、天猫精灵等便是其中的典型。然而，当前学术界对于机器人拟人化角色在人机交互中的影响研究尚显不足。因此，本章探究医疗服务机器人拟人化角色对用户的使用意愿、神经加工过程的影响，揭示人机交互过程中的用户行为意图影响。为达成此目标，本章采用被试内实验设计，以医疗服务机器人为研究对象，将拟人化角色作为自变量，而用户的使用意愿、脑电指标作为因变量。我们开展人机交互的脑电实验，收集脑电、问卷数据，分析机器人角色对用户的使用意愿和神经加工活动，揭示服务机器人拟人化角色对用户行为意图影响。

5.1 脑电实验设计

5.1.1 被试

实验招募 34 名安徽工程大学在校大学生（16 男生，18 女生）参与实验，被试年龄再 17 至 27 岁不等（ $M=20.68$ ， $SD=3.092$ ）。实验开展的时间为 2024 年 1 月 1 日至 2024 年 1 月 18 日。所有被试均身体健康，听力正常，且在实验前一晚需保证充足的睡眠。此外，为确保实验结果的纯粹性，我们排除了曾参与过相关实验的被试。最终，我们收集脑电数据 27 人，问卷数据 34 人。被试在了解实验内容、自愿签署知情同意后，方可参与正式实验。实验结束后，为感谢被试的参与和付出，每位被试将获得 50 元的补偿费。本实验得到安徽工程大学伦理审查机构的批准。

5.1.2 实验设备

（1）机器人平台

本实验使用的是软银公司开发的交互机器人 Pepper，其在水机交互领域被广泛的应用。Pepper 机器人拥有拟人化的外观设计，如图 5-1 所示。从外观层面来

看，其拥有头部，双臂，躯干。从功能方面，其支持编程、语音识别，这些强大的功能使其能够适应多种场景。2017 年，黑客马拉松活动中 pepper 机器人作为医疗服务机器人为患者提供智能化导诊。基于这一实践，我们设计不同拟人化角色的医疗服务机器人。在本实验中，我们充分利用 Pepper 的交互能力和可编程性，通过编程设定不同的拟人化角色，如仆人型角色、伙伴型角色，与被试进行交互，以探究拟人化角色对用户使用意图的影响。



图 5-1 Pepper 机器人

(2) 脑电设备

实验中使用了 32 通道便携式脑电设备（SmartingPro）来采集用户与 Pepper 机器人交互过程中的脑电信号。该设备由便携式放大器（如图 5-2（a）所示）、32 通道脑电帽图（如图 5-2（b）所示）、PC 端的 Smarting PRO streamer 系统（如图 5-2（c）所示）和蓝牙适配器（如图 5-2（d）所示）组成。脑电帽上共有 34 个电极点，其中一个用作接地极，一个作为参考电极，其余 32 个按照国际 10-20 系统排布。便携式放大器尺寸为 82x51x12 毫米，重量小于 75 克，可持续待机 10 小时。蓝牙 5.0 适配器确保可靠的无线连接，同时提供 24 位分辨率的准确信号采集，小于 1V 的输入参考噪声以及大于 140dB 的共模抑制。PC 端的 streamer 系统提供信号预览界面、数据流设置窗口、LSL 设置界面、数据流开启按钮、记

录按钮以及三维头部运动追踪显示等功能，并支持超扫描模式。

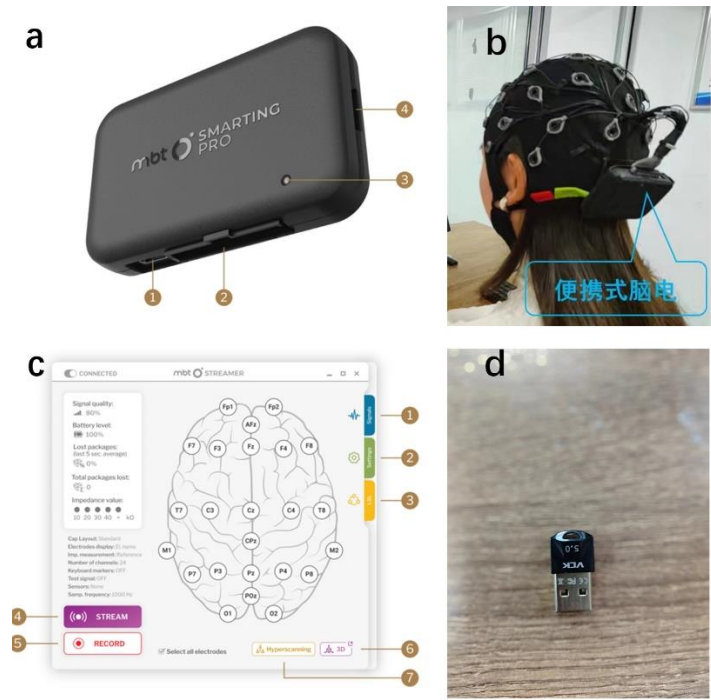


图 5-2 脑电设备

5.1.3 实验材料

本实验的核心在于探究拟人化角色对用户使用意愿以及神经加工活动所产生的影响。为实现这一目标，我们需设计医疗服务机器人的拟人化角色刺激材料，具体分为仆人型服务机器人与伙伴型服务机器人两种类型。

在材料设计过程中，我们充分借鉴了先前的拟人化角色相关研究^[88]，同时结合 Pepper 机器人的功能特性，以医院挂号流程为具体场景背景，构建用户与服务机器人之间关于挂号门诊、挂号医生等信息的查询对话内容。仆人型的对话脚本如表 5-1，伙伴型的见附录 1。为消除文本内容差异可能带来的干扰，我们在设计过程中保持文本的主要内容一致，并尽量使字数相近。此外，在称呼用户时，伙伴型服务机器人采用更为亲近的“老铁”、“你”等称谓，而仆人型服务机器人则使用更为恭敬的“主人”、“您”等称呼，以体现不同拟人化角色的特点。为了将设计的对话内容有效地应用于 Pepper 机器人，本章利用了 Choregraphe 软件。Choregraphe 不仅能够连接 Pepper 机器人，还能实时可视化机器人的状态。

表 5-1 仆人型医疗服务机器人对话文本

发声次序	对话内容
用户	您好
医疗机器人	尊敬的主人，我是航航。这里是芜湖市第二人民医院，流感期间请主人佩戴口罩。请问有什么可以为您效劳的？
用户	我想挂号。
医疗机器人	好的，主人。您可以描述自己的主要症状，航航可以为您推荐相应科室。
用户	我有点发烧，吃饭也没有胃口，咳嗽不停。
医疗机器人	非常抱歉听到主人身体不适。根据主人的情况，我建议您挂全医学科，这是我院 2018 年正式设置的综合性医学专业学科。
用户	好的，那有推荐的专家医生吗
医疗机器人	当然，我向主人推荐杨俊平专家，他是全医学科的专家，副主任医生，拥有丰富的临床工作经验。目前还有 2 个号源可供预约。
用户	好，那我应该怎么预约呢
医疗机器人	老铁，现在你可以用手机微信关注芜湖市第二人民医院公众号，然后点击全医学科，在专家栏点击杨俊平预约即可。
用户	我已经预约成功了。
医疗机器人	非常好！主人。系统已经显示您成功预约了杨俊平专家的门诊。杨俊平专家的门诊在门诊部二楼 201 号诊室。请您按时前往就诊，记得携带相关的身份证明和就诊卡。
用户	谢谢你，航航
医疗机器人	主人，您客气了，这是小的应该做的。

为了检验对医疗服务机器人拟人化角色的操纵效果，在正式实验开展前，研究者采用线上调查的方式对全国各地的 73 名用户进行前测。本次前测采用被试间设计，以确保结果的客观性和有效性。问卷设置了情景：假设您最近因为感冒发烧感到身体不适，急需前往附近的医院进行治疗。幸运的是，这家医院配备了先进的医疗服务机器人，能够协助您完成挂号等任务，从而节省您宝贵的时间与精力，请您想象自己正在与这位机器人一起完成挂号。参与者随机看到 2 个对话脚本的一个，然后要求参与者根据自身感受填写问卷。问卷事项改编自樊亚凤等^[89]的拟人化品牌的操纵性测量，共计 6 个题项，其中 3 个题项测量仆人型机器人，分别为“对我来说，该机器人更像一个仆人”，“该机器人服从于我”，“该机器人和我之间是服务关系”；另外三个题项测量伙伴型机器人“该机器人对我来说，更像一个伙伴”，“该机器人和我一起合作创造价值”，“该机器人和我

之间是合作关系”，此量表为 likert7 点量表。方差结果显示，仆人型机器人的仆人特征得分显著高于伙伴特征得分（ $N=36, M_{\text{伙伴特征}}=4.43, M_{\text{仆人特征}}=5.44, p<0.001$ ），伙伴型机器人的伙伴特征得分显著高于仆人特征得分（ $N=37, M_{\text{伙伴特征}}=5.20, M_{\text{仆人特征}}=3.97, p<0.001$ ）。因此，拟人化角色的操纵性检验成功。

5.1.4 实验流程

本实验在安徽工程大学人因工程实验室进行，实验室光照良好，且无噪声干扰，并配备完善的脑电设备。实验人员邀请被试进入实验室后，首先向其详细地介绍实验内容，在确认被试自愿参与后，签署实验知情同意书。

脑电实验准备阶段，被试需要现场洗头并吹干头发，然后坐在可调节的靠椅上与 Pepper 机器人保持约 80 厘米距离，如图 5-3 所示。两名助手根据被试的头围佩戴脑电帽，并确定 Cz 点位置。按照国际 10-20 标准，在脑电帽上做相应标记。接着打开 PC 端 stream 系统的开关，观察屏幕显示各电极阻抗情况。使用钝口注射器注射导电膏，观察电极连接情况，直至所有 34 个电极全部连接成功并观察到平稳的 EEG 信号后。再次告知被试找到舒适的坐姿后保持不动，并在整个过程中不要晃动，然后进入正式实验。

实验开始前，被试被告知实验会有一个特定情景（如 5.1.3 中描述的情景）。正式实验包含 2 个试次，分别是仆人型医疗服务机器人、伙伴型医疗服务机器人。首先，被试需要安静 60 秒以放松身体，使得生理状态稳定，然后实验程序会提醒被试开始与机器人交互。被试需按照脚本内容与机器人完成对话内容。交互结束后，要求被试填写接受度问卷，至此整个实验结束。接受度量表是基于 Jiang^[90]等人量表改编的。在实验过程中，先与伙伴型后与仆人型交互。交互过程由一名操作人员在监控室监控，当听到被试语音指令后，通过电脑上的机器人无线控制机器人执行相应的内容。整个实验流程如图 5-4 所示。

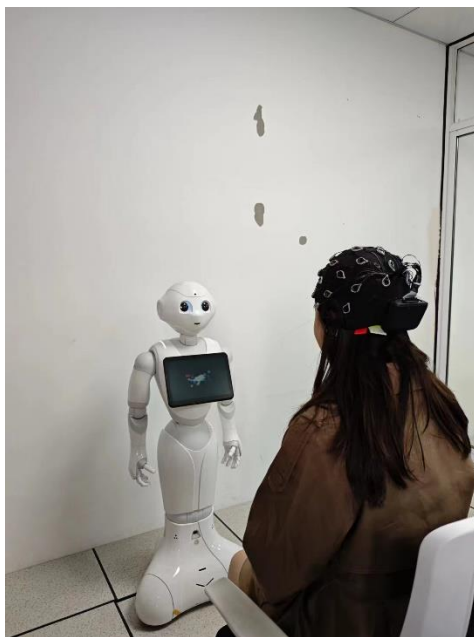


图 5-3 交互实验的场景图

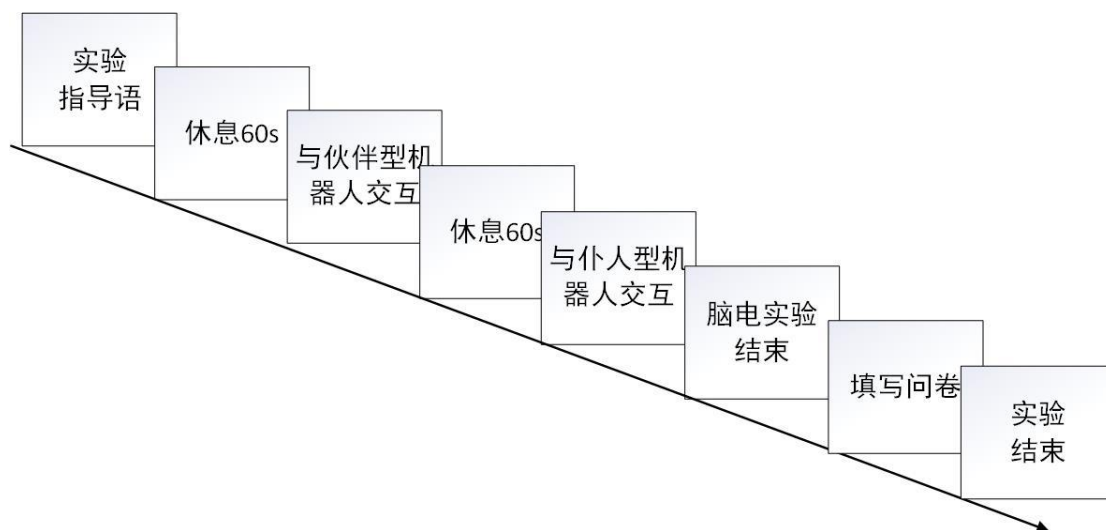


图 5-4 医疗服务机器人拟人化角色实验流程图

5.2 脑电数据预处理及特征提取

5.2.1 脑电数据预处理

本章的脑电(EEG)信号在 EEGLAB(2019.0 版本)^[67]工具箱和 MATLAB2020 软件中完成。EEG 信号的预处理步骤基本遵循 3.2.2，主要的区别在于：

(1) 设置带通滤波。本章设置带通滤波为 0.1Hz~50Hz，设置 0.1Hz 的下限目的在于去除低频噪音和一些生理运动干扰，比如呼吸和心跳等引起的信号，设

置 50Hz 的目的是去除高频噪音，比如电源线频率干扰等。通过这样的设置能够有效地提取出 30-50Hz 的 gamma 波段信号。

(2) 数据分段。将每个含有刺激的连续 EEG 信号分割成 2s 长度的 EEG 信号，使得每个片段都包含特定刺激的信号，以便后续分析处理。

5.2.2 脑电特征提取

依据国际 10-20 定位系统，32 个 Ag/AgCl 电极（FP1、FP2、F7、F8、F3、F4、FZ、FC5、FC6、FC1、FC2、C3、C4、CZ、CP5、CP6、CP1、CP2、P7、P8、P3、P7、PZ、POZ、O1、O2、FT9、FT10、T7、T8、TP9、TP10）被放置在相应的脑区表层，这种电极排布方式为研究大脑功能活动提供了重要的数据基础和分析手段。

经过脑电数据预处理步骤后，可以通过快速傅里叶变换（FFT）将脑电信号分解为不同频带的成分。接着，利用 5-1 公式计算每个频段的功率谱密度。利用 5-2 公式计算不同频段的 α 、 β 、 θ 、 δ 和 γ 节律下的能量特征（ E_α 、 E_β 、 E_θ 、 E_δ 和 E_γ ）。最后，将这些能量特征重新组合，形成 Delta（0.1Hz~4Hz）、Theta（4Hz~8Hz）、Alpha（8Hz~13Hz）、Beta（13Hz~30Hz）和 Gamma（30Hz~50Hz）五个子频带，如表 5-2 所示。

$$P = \frac{2F(X)F^*(X)}{f_s n} \quad (5-1)$$

其中，P 为功率谱密度，X 为 EEG 信号；F 为快速傅里叶变换； $F^*(X)$ 为 $F(X)$ 的共轭； f_s 为采样率，这里取 1000Hz；n 为 EEG 信号采样点个数，这里取 1000。

$$\begin{cases} E_\alpha = \sum_{f_\alpha} P_f \\ E_\beta = \sum_{f_\beta} P_f \\ E_\theta = \sum_{f_\theta} P_f \\ E_\delta = \sum_{f_\delta} P_f \\ E_\gamma = \sum_{f_\gamma} P_f \end{cases} \quad (5-2)$$

式中， P_f 为频率 f 下的功率谱密度值； f_α 、 f_β 、 f_θ 、 f_δ 、 f_γ 分别为 α 、 β 、 θ 、 δ 和 γ 节律频率范围。其中：

$$\begin{cases} 1\text{Hz} \leq f_{\delta} \leq 3\text{Hz} \\ 3\text{Hz} \leq f_{\theta} \leq 8\text{Hz} \\ 8\text{Hz} \leq f_{\alpha} \leq 13\text{Hz} \\ 13\text{Hz} \leq f_{\beta} \leq 30\text{Hz} \\ 30\text{Hz} \leq f_{\gamma} < 50\text{Hz} \end{cases} \quad (5-3)$$

在本研究中，我们运用统计学方法（重复测量方差分析）来系统分析拟人化角色（仆人型与伙伴型）对用户使用意愿量表评分以及脑电指标的影响。如果分析过程违反球形检验，那么使用 Greenhouse-Geisser 校正进行调整，以确保统计结果的准确性。设定统计学显著性水平为 $p < 0.05$ ，数据统计分析软件用 SPSS22.0 版。

表 5-2 脑电指标详情表

指标	定义	单位
Delta 波	δ 波，脑电活动频率位 1-4HZ	HZ
Theta 波	θ 波，脑电活动频率为 4-8HZ	HZ
Alpha 波	α 波，脑电活动频率为 8-14HZ	HZ
Beta 波	β 波，脑电活动频率为 14-30HZ	HZ
Gamma 波	γ 波，脑电活动频率 30HZ 以上	HZ

5.3 结果分析

5.3.1 主观结果分析

接受度的描述统计结果显示，伙伴型医疗服务机器人和仆人型医疗服务机器人的接受度评分分别为 6.373、6.461（表 5-3 所示）。由此可见，用户对于拟人化的医疗服务机器人的接受具有很高的意愿，且它们之间具有一定的差异。为了进一步探究服务机器人在医疗场景，拟人化角色之间是否存在会存在显著差异。为此，我们进行了重复测量方差分析，其结果显示，拟人化角色的主效应不显著 [$F(1.000, 33.000)=2.147, p=0.152, \text{partial-}\eta^2=0.061$]。成对比较结果显示，仆人型医疗服务机器人比伙伴型服务机器人有更大的接受度，差异接近显著 ($p=0.152$)。

表 5-3 接受度重复测量方差分析结果

角色类型	均值	标准差	自由度	F	P	partial- η^2
伙伴型	6.373	0.655	1.000,33.000	2.147	0.152	0.061
仆人型	6.461	0.706				

5.3.2 脑电结果分析

Delta 脑电指标的重复测量方差分析结果，见附录 2 所示。在额颞叶区，医疗服务机器人拟人化角色的主效应接近显著 [$F(1.000,26.000)=2.646$, $P=0.116$, $\text{partial-}\eta^2=0.092$]。大脑位置的主效应不显著 [$F(1.000,26.000)=0.498$, $P=0.487$, $\text{partial-}\eta^2=0.019$]以及服务机器人拟人化角色与大脑位置交互效应也不显著 [$F(1.000,26.000)=0.152$, $P=0.700$, $\text{partial-}\eta^2=0.006$]。成对比较结果显示，仆人型医疗服务机器人比伙伴型更能激发 delta 波段 [$M=149.96$, $M=247.81$, $P=0.116$]。在其他大脑区域未发现显著影响。

Theta 脑电指标的重复测量方差分析结果，见附录 3 所示。在前额叶极皮层区，医疗服务机器人拟人化角色与大脑位置的交互效应显著 [$F(1.000,26.000)=4.471$, $P=0.044$, $\text{partial-}\eta^2=0.147$]，但机器人拟人化角色的主效应不显著 [$F(1.000,26.000)=0.591$, $P=0.449$, $\text{partial-}\eta^2=0.022$]和大脑位置的主效应不显著 [$(1.000,26.000)=1.626$, $P=0.213$, $\text{partial-}\eta^2=0.059$]。简单效应的结果显示，对于伙伴型医疗服务机器人，被试大脑的 FP2 比 FP1 能激发更大的 delta 波段 [$P=0.050$]，而仆人型医疗服务机器人，被试大脑的 FP1 与 FP2 位置的 delta 波段不存在显著影响。对于大脑的 FP1 电极点时，仆人型医疗服务机器人比伙伴型更能诱发 delta 波段 [$P=0.110$]且接近显著。然而在额颞叶区，医疗服务机器人拟人化角色的主效应接近显著 [$F(1.000,26.000)=2.713$, $P=0.112$, $\text{partial-}\eta^2=0.094$]。大脑位置的主效应不显著 [$F(1.000,26.000)=0.007$, $P=0.936$, $\text{partial-}\eta^2<0.001$]以及服务机器人拟人化角色与大脑位置交互效应也不显著 [$F(1.000,26.000)=1.171$, $P=0.289$, $\text{partial-}\eta^2=0.043$]。此外，成对比较结果显示，仆人型服务机器人比医疗型服务机器人诱发更大的 θ 波，且接近显著 [$P=0.112$]。在其他大脑区域未发现显著影响。

Alpha 脑电指标的重复测量方差分析结果，见附录 4 所示。在前额叶极皮层、枕叶区，医疗服务机器人拟人化角色与大脑位置存在明显的交互效应[前额叶极

皮层： $F(1.000,26.000)=4.468$, $P=0.044$, $\text{partial-}\eta^2=0.147$ ；枕叶： $F(1.000,26.000)=4.597$, $P=0.042$, $\text{partial-}\eta^2=0.104$]。服务机器人的拟人化角色并未表现出明显的主效应[前额叶极皮层： $F(1.000,26.000)=0.013$, $P=0.909$, $\text{partial-}\eta^2=0.001$ ；枕叶： $F(1.000,26.000)=0.614$, $P=0.441$, $\text{partial-}\eta^2=0.023$]。大脑位置也未有明显的主效应[前额叶极皮层： $F(1.000,26.000)=1.975$, $P=0.172$, $\text{partial-}\eta^2=0.071$ ；枕叶： $F(1.000,26.000)=3.031$, $P=0.094$, $\text{partial-}\eta^2=0.104$]。简单效应结果显示，对于伙伴医疗服务机器人而言，被试的 FP2 要比 FP1 诱发更大的 α 波 [$P=0.052$]，而在 O1 与 O2 之间并未表现出差异；而仆人型机器人，被试在 FP2 与 FP1 之间并未表现出明显的差异 [$P=0.632$]，但在 O1 与 O2 之间存在明显差异且 O1 比 O2 诱发更大的 α 波。然而在额颞叶区，医疗服务机器人拟人化角色的主效应接近显著 [$F(1.000,26.000)=2.303$, $P=0.141$, $\text{partial-}\eta^2=0.081$]。大脑位置的主效应不显著 [$F(1.000,26.000)=0.055$, $P=0.817$, $\text{partial-}\eta^2=0.002$] 以及服务机器人拟人化角色与大脑位置交互效应也不显著 [$F(1.000,26.000)=1.439$, $P=0.241$, $\text{partial-}\eta^2=0.052$]。此外，成对比较结果显示，仆人型医疗服务机器人比伙伴型诱发更大的 α 波 [$P=0.141$]，且接近显著。在大脑其他区域未发现显著影响。

Beta 脑电指标的重复测量方差分析结果，见附录 5 所示。在中央-额叶，医疗服务机器人拟人化角色与大脑位置存在明显的交互效应 [$F(1.000,26.000)=6.523$, $P=0.017$, $\text{partial-}\eta^2=0.201$]。服务机器人的拟人化角色并未表现出明显的主效应 [$F(1.000,26.000)=0.294$, $P=0.529$, $\text{partial-}\eta^2=0.011$]。大脑位置也未有明显的主效应 [$F(1.000,26.000)=1.817$, $P=0.189$, $\text{partial-}\eta^2=0.065$]。在枕区，大脑位置有明显的主效应 [$F(1.000,26.000)=5.045$, $P=0.033$, $\text{partial-}\eta^2=0.163$]。服务机器人的拟人化角色并未表现出明显的主效应 [$F(1.000,26.000)=0.118$, $P=0.734$, $\text{partial-}\eta^2=0.005$]。医疗服务机器人拟人化角色与大脑位置不存在明显的交互效应 [$F(1.000,26.000)=1.413$, $P=0.245$, $\text{partial-}\eta^2=0.052$]。成对结果显示，被试的 O1 比 O2 诱发更大的 β 波 [$p=0.033$]。简单效应结果显示，对伙伴型医疗服务机器人而言，FC2 比 FC1 诱发更大的 β 波 [$p=0.038$]；而被试对于仆人型机器人在 FC1 与 FC2 之间不存在显著差异 [$p=0.940$]。在其他区域未发现显著影响。

Gamma 脑电指标的重复测量方差分析结果，见附录 6 所示。在中央-额叶、中央叶，医疗服务机器人拟人化角色与大脑位置存在明显的交互效应[中央-额叶：

$F(1.000,26.000)=9.081, P=0.006, \text{partial-}\eta^2=0.259$; 中央叶: $F(1.000,26.000)=3.444, P=0.039, \text{partial-}\eta^2=0.117$]。服务机器人的拟人化角色并未表现出明显的主效应 [中央-额叶: $F(1.000,26.000)=0.223, P=0.641, \text{partial-}\eta^2=0.008$; 中央叶: $F(1.000,26.000)=0.356, P=0.555, \text{partial-}\eta^2=0.014$]。大脑位置也未有明显的主效应 [中央-额叶: $F(1.000,26.000)=1.886, P=0.181, \text{partial-}\eta^2=0.068$; 中央叶: $F(1.000,26.000)=2.932, P=0.062, \text{partial-}\eta^2=0.101$]。简单效应结果显示, 对于伙伴型医疗服务机器人而言, 被试的 FC2 比 FC1 诱发更大的 γ 波 [$P=0.022$], 而对于仆人型医疗服务型机器人, 被试在 FC1 与 FC2 之间不存在显著差异 [$P=0.488$]。对于仆人型机器人而言, C3 比 Cz 诱发更大的 γ 波 [$P=0.030$], 而 C3 与 C4, Cz 与 C4 之间无差异。在大脑其他区域未发现显著影响。

5.4 讨论

根据主观结果的分析, 本章发现无论是伙伴型还是仆人型的医疗服务机器人, 用户都展现出了较高的接受度。具体来说, 伙伴型医疗服务机器人的接受度评分为 6.37, 而仆人型医疗服务机器人的接受度评分为 6.46, 两者之间的差异虽然存在, 但并未达到统计学上的显著水平。这结果在一定程度上表明, 在医疗场景中, 用户对于机器人拟人化角色的接受度具有普遍性, 并不特别偏向于某一类型。重复测量方差分析的结果进一步支持了上述观点, 即拟人化角色的主效应不显著。这意味着在本研究的样本和实验条件下, 伙伴型和仆人型医疗服务机器人的拟人化角色本身并没有对用户接受度产生显著影响。这与先前一些研究中关于拟人化对用户接受度具有显著影响的观点存在差异, 可能反映出医疗场景的特殊性和用户对于医疗服务机器人的特殊需求。成对比较的结果显示, 仆人型医疗服务机器人相较于伙伴型服务机器人更有接受度, 尽管这种差异并未达到显著水平 ($p=0.152$)。这一趋势可能暗示着在医疗场景中, 用户对于更加服从、专注于服务任务的机器人角色 (如仆人型) 持有更高的接受度。这种偏好可能与医疗服务的特殊性质有关, 用户可能更倾向于接受那些能够提供稳定、可靠服务的机器人, 而不是那些可能涉及更多情感交流的伙伴型机器人。

根据脑电指标结果的分析, 本章揭示了医疗服务机器人拟人化角色对用户行为意图认知机制研究。在 Delta 脑电指标上, 我们观察到在额颞叶区, 拟人化角

色的主效应接近显著，表明不同类型的医疗服务机器人在该大脑位置对用户的 Delta 波活动产生了不同的影响。Delta 波通常与深度睡眠、无意识状态或放松状态有关^[91]，这意味着拟人化角色在一定程度上影响了用户的放松程度或注意力水平。相较于伙伴型服务机器人，仆人型机器人更诱发更大的 δ 波。因此，仆人型更能让人放松。由于 P 值略高于通常的显著性水平，这一效应仍需要进一步的实验验证。

在 Theta 脑电指标上，统计分析结果表明，在前额叶极皮层区域，拟人化角色与大脑位置共同影响了 Theta 波的活动。Theta 波与记忆、学习以及情感处理有关^[92]。因此，这意味着拟人化角色通过影响前额叶极皮层区的功能，进而影响了用户的认知和情感反应。简单效应分析显示，伙伴型机器人在 FP2 位置诱发的 Theta 波活动高于 FP1，这表明用户对于伙伴型机器人在处理某些任务时具有更高的认知参与度。在额颞叶区域，拟人化角色的主效应接近显著，表明拟人化角色对用户的 θ 波产生不同影响。这意味着拟人化角色在一定程度上影响着用户的认知和情感。此外，成对比较结果表明，仆人型医疗服务机器人会引起更大的 θ 波比伙伴型机器人 ($P=0.112$)。因此，用户对于仆人型有更多的情感认知。这产生的原因可能是，仆人型机器人给人一种更为听话和贴心的感知，使得用户在交互过程中产生了情感共鸣。同样，因 P 值略高于显著性，这一说法仍有待进一步验证。

Alpha 脑电指标的统计结果显示，在前额叶极皮层区和枕叶区，拟人化角色与大脑位置同样存在显著的交互效应。Alpha 波与大脑处于放松或休息状态时的活动有关^[58]，也可能反映了大脑对信息的内部处理过程。在额颞叶区域，拟人化角色的主效应接近显著，其成对结果说明，相较于伙伴型服务机器人，仆人型诱发更大的 α 波。这表明用户与仆人型服务机器人交互进行更多的信息处理。此外，简单效应分析还揭示了不同拟人化角色在特定电极点上的不同影响，即伙伴型医疗服务机器人在 FP2 位置诱发的 α 波比 FP1 更大；仆人型医疗服务机器人在 O1 位置比 O2 位置激发更大的 α 波。这进一步说明拟人化角色对用户大脑活动具有调节作用。

Beta 脑电指标的结果显示，在中央-额叶，拟人化角色与大脑位置存在明显的交互效应。Beta 波通常与注意力以及心理认知等认知过程相关^[93]。简单效应结

果表明, 伙伴型服务机器人在 FC2 比 FC1 诱发更大的 β 波, 这意味着拟人化角色在中央-额叶以不同的方式影响用户的认知过程。因此, 与伙伴型机器人互动时, 用户注意力、思维活跃, 在 FC2 位置比 FC1 位置强, 即在中央-额叶的右侧区比左侧区强。此外枕区的统计结果表明, 大脑位置的主效应显著, 大脑位置本身对 Beta 波活动具有显著影响, 这可能与枕区在视觉处理中的重要作用有关。

最后, 在 Gamma 脑电指标上, 重复测量方差结果显示, 中央-额叶和中央区均出现拟人化角色与大脑位置的交互效应。Gamma 波通常与高级认知过程、记忆以及感知觉整合有关^[94]。简单效应分析说明, 伙伴型医疗服务机器人在 FC2 位置诱发更大的 γ 波比 FC1 位置; 仆人型医疗服务机器人在 C3 位置比 Cz 位置诱发更大的 γ 波。这也揭示了拟人化角色的差异导致在不同大脑区域中产生不同影响 γ 波活动。

5.5 本章小节

本研究通过脑电分析探究了医疗服务机器人拟人化角色对用户行为意图的神经加工活动。首先, 我们观察到拟人化角色在用户的放松状态和无意识状态下具有不同的影响。仆人型服务机器人相较于伙伴型更能诱发更大的 δ 波活动, 这表明用户在与仆人型机器人交互时可能体验到更高的放松程度。其次, 从认知和情感加工的角度来看, 拟人化角色影响用户的认知和情感反应。仆人型机器人比伙伴型诱发更大的 θ 波活动, 这表明用户对于仆人型角色拥有更强的情感认知参与。我们发现拟人化角色影响了前额叶极皮层区, 进而影响了用户的认知和情感过程。此外, 不同拟人化角色对用户大脑活动的具有不同调节作用。然后, 在信息加工处理方面, 仆人型服务机器人相较于伙伴型诱发更大的 α 波活动, 这揭示着用户在与仆人型机器人交互时进行了更多的信息处理。同时 α 波的简单效应分析也揭示了不同拟人化角色在特定电极点上的不同影响。最后, Beta 和 Gamma 脑电指标的结果进一步支持了拟人化角色对用户认知过程的影响。用户在与拟人化角色互动时表现出不同的注意力集中、思维活跃度和高级认知过程。综上所述, 在神经加工活动方面, 拟人化角色可以诱发用户更大的兴趣。相较于伙伴型服务机器人, 仆人型机器人在情感认知、信息处理加工、认知整合等方面都表现出优势。这也充分的揭示了用户接受意图认知机制。用户对于拟人化角色的高接受度,

不仅体现在行为层面的偏好上，更在神经层面上得到了验证。相较于伙伴型机器人，用户更倾向于接受仆人型机器人，这与其在情感认知、信息处理加工以及认知整合等方面的优势密切相关。

第 6 章 结论与展望

6.1 结论

本文通过脑电技术探究服务机器人拟人化特征对于用户行为意图以及神经加工活动的影响。其主要结论包括以下三个方面：

首先，针对服务机器人拟人化程度的用户使用意图影响研究。研究发现，在神经加工活动层面，与中度或高度拟人化的在线医疗服务机器人相比，低度拟人化的机器人诱导的 P200 和 P300 振幅更大，导致注意资源增加。与高度拟人化的在线医疗服务机器人相比，中度拟人化的机器人吸引了更多的注意力，P200 和 P300 也更大。在使用意图方面，用户对低度拟人化在线医疗服务机器人表现出较强的使用意图。

其次，针对服务机器人性别特征的用户行为意图影响研究。研究发现，在神经加工活动方面，女性虚拟聊天机器人比男性虚拟聊天机器人诱发的 P100、P200 振幅更大，说明女性虚拟聊天机器人被分配了更多的注意力资源，引发了更强的使用意愿。考虑到参与者的性别，对于女性被试而言，女性虚拟聊天机器人显著影响 N100、P100 和 P200。结果显示，女性虚拟聊天机器人比男性虚拟聊天机器人诱导的 P100 和 P200 更高，这表明女性被试对同性伴侣的性别表现出更积极的情绪，并表现出更大的使用同一伴侣的意愿。对于男性被试而言，男性虚拟聊天机器人比女性虚拟聊天机器人诱导的 N100 更大。男性被试将更多的注意力资源分配给同性伴侣，但他们对异性伴侣的使用意愿更高。

最后，针对服务机器人拟人化角色的用户行为意图影响研究。研究发现，在神经加工活动方面，不同类型的拟人化角色在用户的神经活动上产生了影响，即仆人型医疗服务机器人诱发更大的 δ 波、 θ 波、 α 波比伙伴型机器人且接近显著效果。这表明仆人型服务机器人在情感认知、信息加工处理方面有更大的优势。同时研究还发现，不同拟人化角色对用户大脑活动产生调节作用，即与伙伴型医疗服务机器人交互，在前额叶极皮层区、前额叶区，用户大脑右侧的 θ 波、 α 波、 β 波比左侧大脑更强的能量；而在枕叶区与仆人型机器人交互，用户的左侧大脑诱发的 α 波比右侧强。

6.2 局限性

本文针对服务机器人拟人化特征在医疗服务场景应用的研究,虽然取得了一定研究成果,但还存在一定的局限性,主要包括以下方面:

首先,在研究人群的选择上还存在一定不足。本文选择在校大学生作为研究群体虽然便于操作,但由于他们的背景相似且对新技术接受度较高,可能无法完全代表更广泛的社会群体。为了获得更具普遍性的结果,未来的研究应该考虑包括不同年龄、教育背景和职业群体的人,以更全面地了解不同人群对服务机器人拟人化特征的接受度和使用习惯。

其次,另一个局限性是可能缺乏对实际医疗服务场景的深入考察。尽管本文进行了情景实验研究,但真实场景中的复杂性和多变性可能无法完全通过情景实验的方法来取代。未来的研究应该通过实地观察、访谈和调研等方式,深入了解医疗服务场景中患者的需求、医护机器人实际应用中的工作状态。

6.3 研究展望

首先,被试的多样性和年龄层分布。除了招募在校大学生外,我们还将招募校外人员,包括患者、社会各界人士以及涵盖不同教育背景和职业群体。此外,我们还将特别关注不同年龄层的被试,探究它们对医疗服务机器人的态度。这将有助于更全面地了解不同人群对于医疗服务机器人的需求,可以为服务机器人在医疗场景的应用提供更准确的指导意见。

其次,在未来的研究进一步考虑扩大样本量。通过增加样本量,我可以提高研究的普适性,使得我们的研究结果更具有说服力。我可以通过多种渠道来招募被试,例如,在社交媒体上发布招募信息等。通过此尽可能的扩大样本的覆盖范围。

参考文献

- [1] Bowen J, Morosan C. Beware hospitality industry: the robots are coming[J]. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, 2018, 10(6): 726-733.
- [2] Xu J, Hsiao A, Reid S, et al. Working with service robots? A systematic literature review of hospitality employees' perspectives[J]. *International Journal of Hospitality Management*, 2023, 113: 103523.
- [3] Gray H M, Gray K, Wegner D M. Dimensions of mind perception[J]. *science*, 2007, 315(5812): 619-619.
- [4] Spatola N, Kühnlenz B, Cheng G. Perception and evaluation in human–robot interaction: The Human–Robot Interaction Evaluation Scale (HRIES)—A multicomponent approach of anthropomorphism[J]. *International Journal of Social Robotics*, 2021, 13(7): 1517-1539.
- [5] Lu L, Zhang P, Zhang T C. Leveraging “human-likeness” of robotic service at restaurants[J]. *International Journal of Hospitality Management*, 2021, 94: 102823.
- [6] Van Doorn J, Mende M, Noble S M, et al. Domo arigato Mr. Roboto: Emergence of automated social presence in organizational frontlines and customers' service experiences[J]. *Journal of service research*, 2017, 20(1): 43-58.
- [7] 姚亚男,孙文强,吕晓将.人工智能机器拟人化对顾客接受意愿的影响——思维感知的中介作用与性别角色的调节作用[J].*技术经济*,2022,41(08):70-80.
- [8] 汪意,丁一,陈明双等.VDT 模拟作业的脑功能网络分析及脑力负荷识别研究[J]. *工业工程与管理* ,2021,26(05):91-99.DOI:10.19495/j.cnki.1007-5429.2021.05.012.
- [9] Khurana V, Gahalawat M, Kumar P, et al. A survey on neuromarketing using EEG signals[J]. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 2021, 13(4): 732-749.
- [10] Berns G S, Moore S E. A neural predictor of cultural popularity[J]. *Journal of Consumer Psychology*, 2012, 22(1): 154-160.

- [11] Mehrabian A, Russell J A. An approach to environmental psychology[M]. the MIT Press, 1974.
- [12] 吕兴洋,杨玉帆,许双玉等.以情补智:人工智能共情回复的补救效果研究[J].旅游学刊,2021,36(08):86-100.DOI:10.19765/j.cnki.1002-5006.2021.08.012.
- [13] Mori M, MacDorman K F, Kageki N. The uncanny valley [from the field][J]. IEEE Robotics & automation magazine, 2012, 19(2): 98-100.
- [14] 李洁,郭士杰,朱立爽.基于需求动态论的服务机器人造型设计研究[J].机械设计,2018,35(07):109-113.DOI:10.13841/j.cnki.jxsj.2018.07.019.
- [15] Yogeewaran K, Złotowski J, Livingstone M, et al. The interactive effects of robot anthropomorphism and robot ability on perceived threat and support for robotics research[J]. Journal of Human-Robot Interaction, 2016, 5(2): 29-47.
- [16] 许馨芷.“看,机器人!”——人工智能机器人在服务实践中的多元角色构建[J].科学与社会,2022,12(01):37-64+136.DOI:10.19524/j.cnki.10-1009/g3.2022.01.037.
- [17] Lynch K D. Modeling role enactment: Linking role theory and social cognition[J]. Journal for the theory of social behaviour, 2007, 37(4): 379-399.
- [18] 田华,陈杰.基于 Web of Science 文献计量学分析的全球老年食品研究进展[J].农业工程学报,2021,37(05):324-332.
- [19] 刘金秋,张东,马文明等.基于文献计量学分析的草地植被灌丛化研究现状[J].中国草地学报,2024,46(02):121-133.DOI:10.16742/j.zgcdxb.20230028.
- [20] Duffy B R. Anthropomorphism and the social robot[J]. Robotics and autonomous systems, 2003, 42(3-4): 177-190.
- [21] 张仪,王永贵.服务机器人拟人化对消费者使用意愿的影响机理研究——社会阶层的调节作用[J].外国经济与管理,2022,44(03):3-18.DOI:10.16538/j.cnki.fem.20210818.102.
- [22] 许丽颖,喻丰,邬家骅,等.拟人化:从“它”到“他”[J].心理科学进展,2017,25(11): 1942.

- [23] Leite I, Pereira A, Mascarenhas S, et al. The influence of empathy in human–robot relations[J]. *International journal of human-computer studies*, 2013, 71(3): 250-260.
- [24] Blut M, Wang C, Wunderlich N V, et al. Understanding anthropomorphism in service provision: a meta-analysis of physical robots, chatbots, and other AI[J]. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 2021, 49: 632-658.
- [25] Akdim K, Belanche D, Flavián M. Attitudes toward service robots: analyses of explicit and implicit attitudes based on anthropomorphism and construal level theory[J]. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 2023, 35(8): 2816-2837.
- [26] Aggarwal P, McGill A L. Is that car smiling at me? Schema congruity as a basis for evaluating anthropomorphized products[J]. *Journal of consumer research*, 2007, 34(4): 468-479.
- [27] Yu C E. Humanlike robots as employees in the hotel industry: Thematic content analysis of online reviews[J]. *Journal of Hospitality Marketing & Management*, 2020, 29(1): 22-38.
- [28] Freimuth M J, Hornstein G A. A critical examination of the concept of gender[J]. *Sex Roles*, 1982, 8: 515-532.
- [29] Tay B, Jung Y, Park T. When stereotypes meet robots: the double-edge sword of robot gender and personality in human–robot interaction[J]. *Computers in Human Behavior*, 2014, 38: 75-84.
- [30] Eyssel F, Kuchenbrandt D, Bobinger S, et al. 'If you sound like me, you must be more human' on the interplay of robot and user features on human-robot acceptance and anthropomorphism[C]//*Proceedings of the seventh annual ACM/IEEE international conference on Human-Robot Interaction*. 2012: 125-126.
- [31] Powers A, Kramer A D I, Lim S, et al. Eliciting information from people with a gendered humanoid robot[C]//*ROMAN 2005. IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, 2005. IEEE, 2005: 158-163.

- [32] Zogaj A, Mähner P M, Yang L, et al. It'sa Match! The effects of chatbot anthropomorphization and chatbot gender on consumer behavior[J]. Journal of Business Research, 2023, 155: 113412.
- [33] Seo S. When female (male) robot is talking to me: Effect of service robots' gender and anthropomorphism on customer satisfaction[J]. International Journal of Hospitality Management, 2022, 102: 103166.
- [34] Eagly A H. Sex differences in social behavior: A social-role interpretation[M]. Psychology Press, 2013.
- [35] Ashton-James C E, Tybur J M, Grießer V, et al. Stereotypes about surgeon warmth and competence: the role of surgeon gender[J]. PLoS One, 2019, 14(2): e0211890.
- [36] Chin C, Robison M. How AI bots and voice assistants reinforce gender bias[J]. 2020.
- [37] Abdulquadri A, Mogaji E, Kieu T A, et al. Digital transformation in financial services provision: A Nigerian perspective to the adoption of chatbot[J]. Journal of Enterprising Communities: People and Places in the Global Economy, 2021, 15(2): 258-281.
- [38] Behrens S I, Egsvang A K K, Hansen M, et al. Gendered robot voices and their influence on trust[C]//Companion of the 2018 ACM/IEEE international conference on human-robot interaction. 2018: 63-64.
- [39] Ahn J, Kim J, Sung Y. The effect of gender stereotypes on artificial intelligence recommendations[J]. Journal of Business Research, 2022, 141: 50-59.
- [40] Lee M K, Kiesler S, Forlizzi J. Receptionist or information kiosk: how do people talk with a robot?[C]//Proceedings of the 2010 ACM conference on Computer supported cooperative work. 2010: 31-40.
- [41] Friedman B, Kahn Jr P H, Hagman J. Hardware companions? What online AIBO discussion forums reveal about the human-robotic relationship[C]//Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. 2003: 273-280.

- [42] Alač M, Movellan J, Tanaka F. When a robot is social: Spatial arrangements and multimodal semiotic engagement in the practice of social robotics[J]. *Social Studies of Science*, 2011, 41(6): 893-926.
- [43] Isbister K, Hayes-Roth B. Social implications of using synthetic characters[C]//*Animated Interface Agents: Making Them Intelligent (a workshop in IJCAI-97, Nagoya, JAPAN, August 1997)*. 1997: 19-20.
- [44] 威海峰,于辉,费鸿萍.哪类“人设”更受青睐——智能语音沟通方式对于消费者品牌依恋的影响[J].*营销科学学报*,2023,3(04):22-40.
- [45] Aggarwal P, McGill A L. When brands seem human, do humans act like brands? Automatic behavioral priming effects of brand anthropomorphism[J]. *Journal of consumer research*, 2012, 39(2): 307-323.
- [46] Kim H C, Kramer T. Do materialists prefer the “brand-as-servant”? The interactive effect of anthropomorphized brand roles and materialism on consumer responses[J]. *Journal of Consumer Research*, 2015, 42(2): 284-299.
- [47] 程思宇,阮建海,邓小昭.用户生成内容(UGC)平台用户数字囤积行为影响因素研究——以小红书为例[J].*图书情报工作*,2024,68(04):58-69.DOI:10.13266/j.issn.0252-3116.2024.04.005.
- [48] Davis F D. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology[J]. *MIS quarterly*, 1989: 319-340.
- [49] Heerink M, Kröse B, Evers V, et al. Assessing acceptance of assistive social agent technology by older adults: the almere model[J]. 2010.
- [50] Shin D H, Choo H. Modeling the acceptance of socially interactive robotics: Social presence in human–robot interaction[J]. *Interaction Studies*, 2011, 12(3): 430-460.
- [51] Stock R M, Merkle M. A service Robot Acceptance Model: User acceptance of humanoid robots during service encounters[C]//*2017 IEEE international conference on pervasive computing and communications workshops (PerCom Workshops)*. IEEE, 2017: 339-344.
- [52] Tusche A, Bode S, Haynes J D. Neural responses to unattended products predict later consumer choices[J]. *Journal of neuroscience*, 2010, 30(23): 8024-8031.

- [53] Britton J C, Taylor S F, Sudheimer K D, et al. Facial expressions and complex IAPS pictures: common and differential networks[J]. *Neuroimage*, 2006, 31(2): 906-919.
- [54] Lee H W, Cho H, Lasko E, et al. From knowing the game to enjoying the game: EEG/ERP assessment of emotional processing[J]. *International Journal of Sports Marketing and Sponsorship*, 2020, 21(2): 305-323.
- [55] Frey J, Daniel M, Castet J, et al. Framework for electroencephalography-based evaluation of user experience[C]//*Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2016: 2283-2294.
- [56] Guo F, Li M, Chen J, et al. Evaluating users' preference for the appearance of humanoid robots via event-related potentials and spectral perturbations[J]. *Behaviour & Information Technology*, 2022, 41(7): 1381-1397.
- [57] Ding Y, Guo F, Zhang X, et al. Using event related potentials to identify a user's behavioural intention aroused by product form design[J]. *Applied ergonomics*, 2016, 55: 117-123.
- [58] Ding Y, Cao Y, Qu Q, et al. An exploratory study using electroencephalography (EEG) to measure the smartphone user experience in the short term[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2020, 36(11): 1008-1021.
- [59] Liu W, Cao Y, Proctor R W. The roles of visual complexity and order in first impressions of webpages: an ERP study of webpage rapid evaluation[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2022, 38(14): 1345-1358.
- [60] Cao Y, Zhang Y, Ding Y, et al. Is an anthropomorphic app icon more attractive? Evidence from neuroergonomics[J]. *Applied ergonomics*, 2021, 97: 103545.
- [61] Hoenen M, Lübke K T, Pause B M. Non-anthropomorphic robots as social entities on a neurophysiological level[J]. *Computers in Human Behavior*, 2016, 57: 182-186.
- [62] Li M, Guo F, Chen J, et al. Evaluating users' auditory affective preference for humanoid robot voices through neural dynamics[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2023, 39(20): 3875-3893.

- [63] Wilson L O. Are human-like robots trusted like humans? An investigation into the effect of anthropomorphism on trust in robots measured by expected value as reflected by feedback related negativity and P300[J]. 2023.
- [64] Faul F, Erdfelder E, Buchner A, et al. Statistical power analyses using G* Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses[J]. Behavior research methods, 2009, 41(4): 1149-1160.
- [65] Mathur M B, Reichling D B. Navigating a social world with robot partners: A quantitative cartography of the Uncanny Valley[J]. Cognition, 2016, 146: 22-32.
- [66] Agarwal R, Karahanna E. Time flies when you're having fun: Cognitive absorption and beliefs about information technology usage[J]. MIS quarterly, 2000: 665-694.
- [67] Martínez-Cancino R, Delorme A, Truong D, et al. The open EEGLAB portal interface: High-performance computing with EEGLAB[J]. NeuroImage, 2021, 224: 116778.
- [68] Schaefer K E, Sanders T L, Yordon R E, et al. Classification of robot form: Factors predicting perceived trustworthiness[C]//Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting. Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2012, 56(1): 1548-1552.
- [69] Harjunen V J. Perception of facial emotional expressions and touch in virtual face-to-face interaction[D]. Dissertation], University of Helsinki, Helsinki, Finland, 2019.
- [70] Sundar S S, Jung E H, Waddell T F, et al. Cheery companions or serious assistants? Role and demeanor congruity as predictors of robot attraction and use intentions among senior citizens[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2017, 97: 88-97.
- [71] Stroessner S J, Benitez J. The social perception of humanoid and non-humanoid robots: Effects of gendered and machinelike features[J]. International Journal of Social Robotics, 2019, 11: 305-315.

- [72] Guo F, Ding Y, Wang T, et al. Applying event related potentials to evaluate user preferences toward smartphone form design[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2016, 54: 57-64.
- [73] Polich J. Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b[J]. *Clinical neurophysiology*, 2007, 118(10): 2128-2148.
- [74] Liu W, Cao Y, Liang X, et al. Facing a Trend of Icon Simplicity: Evidence from Event-Related Potentials[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2023: 1-11.
- [75] Fischer E, Gainer B, Bristor J. The sex of the service provider: does it influence perceptions of service quality?[J]. *Journal of Retailing*, 1997, 73(3): 361-382.
- [76] Ramos-Loyo J, González-Garrido A A, Llamas-Alonso L A, et al. Sex differences in cognitive processing: An integrative review of electrophysiological findings[J]. *Biological Psychology*, 2022, 172: 108370.
- [77] Ding Y, Guo F, Hu M, et al. Using event related potentials to investigate visual aesthetic perception of product appearance[J]. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 2017, 27(5): 223-232.
- [78] Guo F, Wang X, Liu W, et al. Affective preference measurement of product appearance based on event-related potentials[J]. *Cognition, Technology & Work*, 2018, 20: 299-308.
- [79] Byrne D. An overview (and underview) of research and theory within the attraction paradigm[J]. *Journal of Social and Personal Relationships*, 1997, 14(3): 417-431.
- [80] Bakar H A, McCann R M. Matters of demographic similarity and dissimilarity in supervisor-subordinate relationships and workplace attitudes[J]. *International Journal of Intercultural Relations*, 2014, 41: 1-16.
- [81] Pitardi V, Bartikowski B, Osburg V S, et al. Effects of gender congruity in human-robot service interactions: The moderating role of masculinity[J]. *International Journal of Information Management*, 2023, 70: 102489.

- [82] Bigman Z, Pratt H. Time course and nature of stimulus evaluation in category induction as revealed by visual event-related potentials[J]. *Biological psychology*, 2004, 66(2): 99-128.
- [83] Schupp H T, Flaisch T, Stockburger J, et al. Emotion and attention: event-related brain potential studies[J]. *Progress in brain research*, 2006, 156: 31-51.
- [84] Borau S, Otterbring T, Laporte S, et al. The most human bot: Female gendering increases humanness perceptions of bots and acceptance of AI[J]. *Psychology & Marketing*, 2021, 38(7): 1052-1068.
- [85] Lee E J, Nass C, Brave S. Can computer-generated speech have gender? An experimental test of gender stereotype[C]//CHI'00 extended abstracts on Human factors in computing systems. 2000: 289-290.
- [86] Niculescu A, Hofs D, Van Dijk B, et al. How the agent's gender influence users' evaluation of a QA system[C]//2010 International Conference on User Science and Engineering (i-USEr). IEEE, 2010: 16-20.
- [87] Bernotat J, Eyssel F, Sachse J. The (fe) male robot: how robot body shape impacts first impressions and trust towards robots[J]. *International Journal of Social Robotics*, 2021, 13(3): 477-489.
- [88] Kim H C, Kramer T. Do materialists prefer the “brand-as-servant”? The interactive effect of anthropomorphized brand roles and materialism on consumer responses[J]. *Journal of Consumer Research*, 2015, 42(2): 284-299.
- [89] 樊亚凤,蒋晶,胡左浩.拟人化品牌关系类型和权力距离对消费者品牌偏好的影响[J]. *中国流通经济*, 2020,34(06):63-73.DOI:10.14089/j.cnki.cn11-3664/f.2020.06.006.
- [90] Jiang J, Kahai S, Yang M. Who needs explanation and when? Juggling explainable AI and user epistemic uncertainty[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2022, 165: 102839.
- [91] Léger P M, Davis F D, Cronan T P, et al. Neurophysiological correlates of cognitive absorption in an enactive training context[J]. *Computers in Human Behavior*, 2014, 34: 273-283.

- [92] 谢莹,刘昱彤,陈明亮等.品牌消费旅程中消费者的认知心理过程——神经营销学视角[J].心理科学进展,2021,29(11):2024-2042.
- [93] Nacke L E. Wiimote vs. controller: electroencephalographic measurement of affective gameplay interaction[C]//Proceedings of the international academic conference on the future of game design and technology. 2010: 159-166.
- [94] McMahan T, Parberry I, Parsons T D. Modality specific assessment of video game player's experience using the Emotiv[J]. Entertainment Computing, 2015, 7: 1-6.

附录

附录 1 伙伴型服务机器人对话脚本

发声次序	对话内容
用户	您好
医疗机器人	你好，我是航航。这里是芜湖市第二人民医院，流感期间请佩戴口罩。请问有什么可以帮你的呢？
用户	我想挂号。
医疗机器人	好的，老铁。你可以描述自己的主要症状，航航可以为你推荐相应科室。
用户	我有点发烧，吃饭也没有胃口，咳嗽不停。
医疗机器人	非常抱歉听到你身体不适。根据你的情况，我建议您挂全医学科，这是我院 2018 年正式设置的综合性医学专业学科。
用户	好的，那有推荐的专家医生吗
医疗机器人	老铁，我推荐杨俊平专家，他是全医学科的专家，副主任医生，拥有丰富的临床工作经验。目前还有 2 个号源可供预约。
用户	好，那我应该怎么预约呢
医疗机器人	老铁，现在你可以用手机微信关注芜湖市第二人民医院公众号，然后点击全医学科，在专家栏点击杨俊平预约即可。
用户	我已经预约成功了。
医疗机器人	非常好！系统已经显示你成功预约了杨俊平专家的门诊。杨俊平专家的门诊在门诊部二楼 201 号诊室。请你按时前往就诊，记得携带相关的身份证明和就诊卡。
用户	谢谢你，航航
医疗机器人	不客气，老铁。如需其他需要。都可以告诉我。祝你就诊顺利！

附录 2 Delta 的重复测量方差分析表

因素	自由度	F	P	partial- η^2
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	1.125	0.299	0.041
大脑区域（额叶极皮层）	1.000,26.000	1.342	0.257	0.049
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	2.401	0.133	0.085
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.688	0.414	0.026

大脑区域（额叶）	1.229,31.941	0.295	0.638	0.011
拟人化角色*大脑区域	1.245,32.370	0.051	0.872	0.002
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.314	0.580	0.012
大脑区域（中央叶-额叶）	1.000,26.000	1.819	0.286	0.044
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.034	0.855	0.001
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.116	0.737	0.004
大脑区域（中央叶）	1.186,30.824	0.456	0.537	0.017
拟人化角色*大脑区域	1.611,41.880	0.715	0.466	0.027
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.140	0.712	0.005
大脑区域（中央叶-顶叶）	1.000,26.000	0.005	0.946	<0.001
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.160	0.693	0.006
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.386	0.540	0.015
大脑区域（顶叶）	2,52	1.360	0.266	0.050
拟人化角色*大脑区域	2,52	0.510	0.601	0.019
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.0420	0.523	0.016
大脑区域（枕叶）	1.000,26.000	1.998	0.169	0.071
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	3.033	0.093	0.104
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	1.141	0.295	0.042
大脑区域（颞叶）	1.000,26.000	0.957	0.337	0.036
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.165	0.688	0.006
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	2.646	0.116	0.092
大脑区域（额颞叶）	1.000,26.000	0.498	0.487	0.019
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.152	0.700	0.006

附录 3 Theta 的重复测量方差分析表

因素	df	F	P	partial- η^2
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.591	0.449	0.022
大脑区域（额叶极皮层）	1.000,26.000	1.626	0.213	0.059
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	4.471	0.044	0.147

拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.836	0.369	0.031
大脑区域（额叶）	1.265,32.897	0.319	0.628	0.012
拟人化角色*大脑区域	1.523,39.603	0.272	0.702	0.010
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.617	0.439	0.023
大脑区域（中央叶-额叶）	1.000,26.000	0.926	0.345	0.034
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.547	0.466	0.021
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.471	0.498	0.018
大脑区域（中央叶）	2,52	1.557	0.225	0.056
拟人化角色*大脑区域	2,52	1.347	0.269	0.049
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.421	0.522	0.016
大脑区域（中央叶-顶叶）	1.000,26.000	0.062	0.805	0.002
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.410	0.527	0.016
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.660	0.424	0.025
大脑区域（顶叶）	2,52	1.632	0.205	0.059
拟人化角色*大脑区域	1.230,31.977	0.203	0.706	0.008
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.588	0.450	0.022
大脑区域（枕叶）	1.000,26.000	1.683	0.206	0.061
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	3.386	0.077	0.115
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.804	0.378	0.030
大脑区域（颞叶）	1.000,26.000	0.935	0.342	0.035
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.178	0.677	0.007
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	2.713	0.112	0.094
大脑区域（额颞叶）	1.000,26.000	0.007	0.936	<0.001
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	1.171	0.289	0.043

附录 4 Alpha 的重复测量方差分析表

因素	df	F	P	partial- η^2
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.013	0.909	0.001
大脑区域（额叶极皮层）	1.000,26.000	1.975	0.172	0.071

拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	4.468	0.044	0.147
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.484	0.493	0.018
大脑区域（额叶）	1.261,32.799	0.218	0.700	0.008
拟人化角色*大脑区域	1.726,44.873	1.245	0.293	0.046
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.779	0.386	0.029
大脑区域（中央叶-额叶）	1.000,26.000	1.067	0.311	0.039
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	<0.001	0.985	<0.001
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.595	0.447	0.022
大脑区域（中央叶）	1.296,33.699	1.144	0.309	0.042
拟人化角色*大脑区域	1.665,43.296	1.982	0.157	0.071
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.481	0.494	0.018
大脑区域（中央叶-顶叶）	1.000,26.000	0.173	0.681	0.007
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	2.782	0.107	0.097
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.638	0.432	0.024
大脑区域（顶叶）	1.115,39.397	1.735	0.195	0.063
拟人化角色*大脑区域	1.253,32.590	1.094	0.319	0.040
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.614	0.441	0.023
大脑区域（枕叶）	1.000,26.000	3.031	0.094	0.104
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	4.597	0.042	0.150
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.575	0.455	0.022
大脑区域（颞叶）	1.000,26.000	1.453	0.239	0.053
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.350	0.559	0.013
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	2.303	0.141	0.081
大脑区域（额颞叶）	1.000,26.000	0.055	0.817	0.002
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	1.439	0.241	0.052

附录 5 Beta 的重复测量方差分析表

因素	df	F	P	partial- η^2
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.530	0.473	0.020

大脑区域（额叶极皮层）	1.000,26.000	2.219	0.148	0.079
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	2.712	0.112	0.094
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	<0.001	0.998	<0.001
大脑区域（额叶）	2,52	0.325	0.724	0.012
拟人化角色*大脑区域	2,52	1.560	0.220	0.057
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.294	0.829	0.011
大脑区域（中央叶-额叶）	1.000,26.000	1.817	0.189	0.065
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	6.523	0.017	0.201
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.337	0.567	0.013
大脑区域（中央叶）	2,52	0.292	0.748	0.011
拟人化角色*大脑区域	1.609,41.841	2.379	0.115	0.084
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.218	0.644	0.008
大脑区域（中央叶-顶叶）	1.000,26.000	0.334	0.568	0.013
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	2.717	0.111	0.095
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.283	0.599	0.011
大脑区域（顶叶）	1.500,39.006	1.871	0.175	0.067
拟人化角色*大脑区域	1.409,36.630	1.499	0.235	0.055
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.118	0.734	0.005
大脑区域（枕叶）	1.000,26.000	5.045	0.033	0.163
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	1.413	0.245	0.052
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.327	0.572	0.012
大脑区域（颞叶）	1.000,26.000	3.377	0.078	0.115
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.212	0.649	0.008
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.339	0.566	0.013
大脑区域（额叶-颞叶）	1.000,26.000	0.380	0.543	0.014
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	1.230	0.278	0.045

附录 6 Gamma 的重复测量方差分析表

因素	df	F	P	partial- η^2
----	----	---	---	-------------------

拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.501	0.485	0.019
大脑区域（额叶极皮层）	1.000,26.000	1.541	0.225	0.056
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	1.981	0.171	0.071
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.593	0.448	0.022
大脑区域（额叶）	1.139,29.609	0.718	0.421	0.027
拟人化角色*大脑区域	1.170,30.413	0.206	0.691	0.008
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.223	0.641	0.008
大脑区域（中央叶-额叶）	1.000,26.000	1.886	0.181	0.068
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	9.081	0.006	0.259
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.356	0.555	0.014
大脑区域（中央叶）	2,52	2.932	0.062	0.101
拟人化角色*大脑区域	2,52	3.444	0.039	0.117
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.155	0.697	0.006
大脑区域（中央叶-顶叶）	1.000,26.000	0.009	0.926	<0.001
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	2.514	0.125	0.088
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.183	0.672	0.007
大脑区域（顶叶）	2,52	1.370	0.263	0.050
拟人化角色*大脑区域	2,52	1.936	0.155	0.069
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.005	0.946	<0.001
大脑区域（枕叶）	1.000,26.000	2.812	0.106	0.098
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.462	0.503	0.017
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.916	0.347	0.034
大脑区域（颞叶）	1.000,26.000	0.347	0.076	0.116
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.299	0.589	0.011
拟人化角色（伙伴型/仆人型）	1.000,26.000	0.030	0.863	0.001
大脑区域（额颞叶）	1.000,26.000	0.374	0.546	0.014
拟人化角色*大脑区域	1.000,26.000	0.792	0.382	0.030

攻读硕士学位期间发表或录用的学术论文

发表论文

- [1] GUO R, DING Y, CAO Y. The Use of physiological measurement for user experience Assessment: A Bibliometric Analysis [M]. 2022.
- [2] 郭冉, 丁一, 杨馨悦等. 基于眼动实验的商品类型与价格促销对消费者购买意愿的影响[J]. 淮阴工学院学报, 2023, 32(01): 82-90.
- [3] Ding Y, Guo R, Bilal M, et al. Exploring the influence of anthropomorphic appearance on usage intention on online medical service robots (OMSRs): A neurophysiological study[J]. Heliyon, 2024.

参与科研项目

教育部人文社会科学青年基金项目《数智化工作场域中人机协作模式及对工作绩效的影响机制研究：基于神经人因学的视角》（项目编号：No.23YJC630032，
参与人）

安徽省高校优秀青年科研项目哲学社会科学项目《面向多模式数据的服务机器人用户体验模型构建、测量及优化策略研究》（项目编号：No.2023AH030023，
参与人）

致谢

在完成这篇硕士论文之际，我深感时光荏苒，岁月如梭。回首这段求学之路，心中充满了无尽的感激之情。在此，我要向所有在我学习、生活和论文写作过程中给予我帮助和支持的人表示衷心的感谢。

首先，我要衷心感谢我的导师丁一副教授。在硕士研究生的学习期间，丁老师不仅在学术上给予我悉心指导，更在生活中给予我无微不至的关怀。正是丁老师渊博的学识和严谨的治学态度，让我深刻领悟到了何为优秀的教师。在丁老师的教诲下，我不仅获得了宝贵的知识，更学会了独立思考和解决问题的能力。在论文的写作过程中，丁老师倾注了大量的心血。从选题到构思，从修改到定稿，每一步都离不开丁老师的精心指导和帮助。在此，我向丁老师表达我最深的敬意和衷心的感谢，感谢您为我付出的一切。

除此之外，我还要特别感谢张文刚老师。张老师不仅在论文方面给予了我宝贵的指导，还对我的生活关怀备至，从各个方面给予我引领和启发。同时，我也要感谢吕伟老师给予我的无私帮助。他们亦师亦友的性格让我受益良多，在学术上，他们是我的良师，在生活上，他们是我的益友。在此，我由衷地向他们表达我最深的感谢，感谢他们一路以来的陪伴、支持与鼓励。

其次，我要感谢我的父母。在我求学的道路上，你们始终是我坚实的后盾。你们的支持和鼓励是我不断前进的动力源泉。

此外，我要特别感谢我的师兄弟们，你们的陪伴与支持让我在学术之路上倍感温暖。感谢大师兄王亚军对我论文的悉心指导，您不仅教会了我脑电数据的处理方法，更是以您丰富的经验和深刻的见解为我指明了方向。尽管您已经毕业，但您的教诲我们始终铭记在心，特别是那句“你不要放在心上”，成为了我面对困难时的力量源泉。感谢活泼可爱的杨馨悦和魏翩，作为我的实验小助手，你们不仅协助我完成了许多繁琐的工作，还带来了无尽的欢乐和正能量。杨馨悦，你的阳光与热情为我们的组营造了一个轻松愉快的氛围。魏翩，感谢你陪我一起打球，那些汗水与欢笑时光将成为我们共同的回忆。田晓月，希望你能够勇敢地担起学术的重担，顺利攻读博士学位，继续为我们师门争光。愿你们三位能够共同扛起师门的大旗，继续传承和发扬我们的学术精神。而我将先行一步，踏上

新的征程。

此外，我还要感谢我的女朋友黄叶琳同学的陪伴与支持。我还要感谢我的室友任标标、张摇军、贺先庆，感谢那些帮助我做实验的同学，感谢班级同学对我的帮助。

最后，我要感谢学校和学院为我提供的良好学习环境和丰富的学术资源。学校的人因工程实验室为我提供了实验条件，使我能够顺利地完成论文的写作。

在此，我再次向所有帮助和支持我的人表示衷心的感谢。我会珍惜这段宝贵的经历，继续努力前行，为实现自己的理想而不断奋斗。