

服务机器人决策中因果推理的应用优化

白慧源

原力无限科技控股（浙江）有限公司 浙江 杭州 310000

【摘要】：服务机器人决策的核心目标是精准匹配不同场景下的用户诉求，实现灵活自适应的需求响应。传统关联推理支撑的决策模式仅能挖掘要素间相关性，因果推理在决策合理性与可解释性上具备明显优势，已在多类服务机器人决策模块中得到应用。当前应用仍存在因果知识图谱不完整、动态场景下推理实时性不足、用户意图因果建模存在偏差等问题，可通过多源数据融合补全知识图谱、构建部署轻量化推理模型、搭建用户意图动态模型迭代机制实现优化。

【关键词】：服务机器人；因果推理；决策优化；因果知识图谱

DOI:10.12417/2705-0998.26.05.038

引言

服务机器人是民用智能服务场景的核心落地载体，决策模块的性能直接决定服务供给的适配性与用户满意度。传统关联推理支撑的决策模式仅能挖掘不同要素间的相关性，无法厘清行为背后的深层逻辑，也难以对决策结果提供清晰的解释路径，难以满足复杂场景下的自适应决策需求。因果推理凭借可解释性与决策合理性优势，已逐步应用到教育辅助、家庭陪伴等多类服务机器人的决策流程中，但现有落地应用仍存在多重瓶颈，直接制约服务机器人的实际应用价值。针对现存瓶颈梳理适配性优化路径，可为服务机器人决策性能的升级提供理论参考，也能为因果推理在智能终端的落地应用拓展可行方向。

1 服务机器人决策中因果推理的应用现状与理论基础

服务机器人决策的核心目标，是精准匹配不同场景下的用户诉求，来实现灵活、自适应的用户需求响应。传统决策模式大多选用关联推理作为核心支撑，其决策逻辑仅能挖掘不同要素间的相关性，难以厘清行为背后的深层逻辑，也无法为决策结果提供清晰的解释路径。相较于关联推理，因果推理能够梳理要素间的因果关联，在决策合理性以及可解释性上具备明显优势。当前因果推理已经在教育辅助机器人、家庭陪伴机器人等多个领域的决策模块中得到运用，相关研究也围绕场景适配性开展了多维度探索。但现有应用仍然存在因果知识体系搭建不完整、动态场景下推理响应速度不足、用户意图匹配存在偏差等潜在问题，这些问题直接限制了服务机器人的决策效果，也为后续的问题分析以及优化路径探索明确了方向。

2 服务机器人决策中因果推理应用的现存问题

2.1 因果知识图谱构建的不完整性问题

服务机器人决策环节需要运用的因果知识囊括用户行为因果、环境变化因果以及任务执行因果等多个类别，不同类别的因果知识共同为决策环节提供底层支撑。当前多数服务机器人的因果知识图谱构建选用的数据源较为单一，仅依托固定场景下的预设交互数据来开展知识抽取工作，对动态生成的用户

反馈信息以及环境变量信息的整合度较低，知识抽取的覆盖范围也存在明显缺口。这类问题会直接导致因果知识图谱的内容存在盲区，服务机器人在处理超出预设范围的决策需求时，容易把相关性关联错判为因果性关联，进而引发决策偏差，极大程度上降低服务的适配性，所以补全因果知识图谱是优化服务机器人决策能力的首要前提。

2.2 动态场景下因果推理的实时性不足

服务机器人的应用场景普遍具备较强的动态性，用户的实际需求会伴随场景变化发生调整，环境中的各类变量也可能出现无规律的突变，这就要求决策模块在极短的时间内输出合理的判断结果。当前多数搭载因果推理模块的服务机器人，选用的推理模型参数规模较大，在处理动态流入的非结构化数据时，需要耗费较多的运算资源去处理多维度的因果校验工作，极易出现响应延迟的问题，直接导致决策输出滞后于场景的实际变化。这类问题的核心技术瓶颈囊括推理算法的运算效率较低、端侧部署的算力支撑不足等，如果不能得到有效解决，会极大程度上限制服务机器人的实际应用价值，使其难以适配高频变化的民用服务场景。

2.3 用户意图因果建模的偏差问题

用户意图因果建模的核心内涵，是借助对用户表层行为的因果关系挖掘，判断其行为背后的真实服务需求，是保障服务机器人决策契合用户预期的核心环节。当前的用户意图因果建模工作普遍存在样本偏差问题，数据采集的范围多限定于特定群体的共性行为数据，特征选择环节也多侧重可量化的表层行为特征，缺乏对用户个性化隐性特征的因果分析。这类偏差会直接导致推理得出的用户需求和实际诉求存在明显出入，使服务机器人输出的决策内容无法匹配用户的实际需要，所以纠正建模偏差对提升服务机器人的决策精准度具备极高的必要性，是优化用户体验的核心切入点。

2.4 动态环境下因果推理的适应性挑战

服务机器人的工作场景往往具有动态变化的特点，用户的行为模式、环境中的干扰因素都可能随时间发生改变，这对因

果推理模型的适应性提出了更高要求,比如家庭场景中用户突然改变的用餐时间、临时添加的宠物照顾任务,或者公共服务场景里突发的人群聚集、设备故障导致的环境变化,甚至是用户因身体不适而临时改变的服务需求,这些都需要模型能及时捕捉因果关系的动态调整。现有的因果推理模型多基于静态数据训练,难以快速响应场景中的突发变化,像用户在不同时间的需求优先级调整(如从优先处理清洁任务转为优先照顾儿童)、环境中出现的新干扰因素(如临时出现的障碍物、用户情绪的突然波动,或者突然响起的噪音影响用户指令的传达)等,这些情况会导致模型的推理结果与实际场景需求脱节,影响服务机器人决策的及时性和准确性,此外,模型的更新机制也存在不足,多数模型需要依赖大量新数据重新训练才能适应变化,这不仅消耗计算资源和时间,还会导致决策延迟,无法满足实时服务的需求,比如在医院场景中,服务机器人需要快速响应患者的紧急呼叫,但模型更新的延迟可能会导致无法及时调整服务策略,同时,模型在设计时往往忽略了因果关系的动态演化特性,缺乏对变量间关系变化的实时跟踪能力,比如用户偏好的逐步转变(如从喜欢咖啡转为喜欢茶)或环境中新增因素的因果影响(如新增的家具改变了机器人的移动路径),都需要模型能在不重新训练整个系统的情况下进行局部调整,而如何在保证推理精度的前提下,实现模型的快速动态调整,成为当前服务机器人因果推理应用中需要重点探索的问题。

3 服务机器人决策中因果推理应用的优化路径

3.1 基于多源数据融合的因果知识图谱补全方法

开展多源数据的整合采集工作,采集的数据源囊括用户交互过程中生成的全量行为数据、机器人传感器模块采集的环境感知数据以及公开领域的服务场景专业知识数据。选用 PC 算法以及因果森林等因果发现算法,从结构化与非结构化混杂的多源数据中挖掘潜在的因果关联关系,把不同维度下的关联关系按照因果逻辑进行分类筛选,排除仅具备相关性的无效关联条目。开展知识图谱补全的系列工作,首先对挖掘得到的因果要素进行实体链接,把同源不同表述的实体进行统一标识,再开展关系推理工作,补全实体之间缺失的因果连接路径,同时对存在冲突的因果关系进行校验修正。该方法能够有效拓展因果知识图谱的覆盖范围,填补预设数据覆盖不足的内容盲区,避免服务机器人把相关性关联错判为因果性关联的问题,极大程度上提升因果知识图谱的完整性,为服务机器人的决策环节提供更全面的底层知识支撑。

3.2 轻量化因果推理模型的构建与部署

明确轻量化因果推理模型的设计原则,重点围绕参数压缩以及模型蒸馏两个方向开展模型优化工作,在不损失核心推理准确率的前提下,削减冗余参数的数量,简化多维度因果校验的运算流程,其中参数压缩可采用结构化剪枝与权重量化等方

式,去除模型中对服务机器人决策非必要的连接与参数,模型蒸馏则通过教师模型向学生模型的知识迁移,保留核心的因果关系推理逻辑与关键决策能力,把原有参数规模较大的复杂因果推理模型,转化为适宜服务机器人嵌入式系统运行的轻量化版本,保留核心的因果关系判断逻辑,剔除模型中适配非服务场景的冗余功能模块,比如针对工业机器人的复杂环境感知模块或大规模数据处理模块,这些模块在服务机器人场景下使用率低且占用大量资源。开展模型部署环节的优化工作,选用硬件加速适配方案对模型的运算流程进行针对性调整,比如适配服务机器人常用的 ARM 嵌入式芯片,优化模型的指令集与内存访问方式,同时引入边缘计算架构,把高频次的基础推理运算放在机器人端侧完成,仅把复杂程度较高的特殊推理需求上传至云端进行处理,该方法能够有效降低因果推理环节的运算资源消耗,缩减动态场景下非结构化数据的处理时长,避免决策输出滞后于场景变化的问题,极大程度上提升因果推理的实时性,保障服务机器人的决策输出能够契合动态场景的实际需求,比如在家庭场景中,服务机器人能够快速响应用户的临时指令,如递取物品或调整环境设置,而不会因运算延迟导致反应缓慢。

3.3 用户意图动态因果模型的迭代更新机制

搭建基于用户反馈的模型迭代更新框架,框架包含用户反馈数据的常态化采集、模型推理效果的定期评估以及模型参数的动态调整三个核心环节。选用在线学习算法,借助实时流入的用户交互数据对用户意图因果模型进行动态更新,及时修正模型中不符合用户实际需求的因果判断逻辑。结合用户的长期行为数据以及短期交互反馈开展模型的个性化优化工作,在保留群体共性行为因果判断逻辑的基础上,补充不同用户的个性化隐性特征的因果关联,避免模型仅关注可量化的表层行为特征的问题。该机制能够有效纠正用户意图因果建模过程中的样本偏差问题,缩小模型推理得出的用户需求与用户实际诉求之间的差距,极大程度上提升服务机器人决策的精准度,保障决策内容能够契合不同用户的个性化服务需求。

4 结语

因果推理在服务机器人决策领域的应用落地,是突破传统决策模式性能瓶颈的核心方向。针对当前应用阶段存在的底层知识支撑不足、动态场景实时响应滞后、用户需求匹配偏差等问题,三类优化路径可分别从知识体系搭建、运算效率升级、需求建模精准度三个维度补齐现有短板,为不同场景下服务机器人的决策模块迭代提供通用性参照,后续可围绕家庭服务、医疗辅助、商业接待等细分场景的差异化需求,进一步细化优化方案的适配性——比如在家庭场景中需考虑老人行动不便的特点与儿童的安全防护需求,在医疗场景中要结合患者的实时生理指标与临床诊疗规范,在商业场景中需兼顾客户的个性化服务体验与场景运营的高效性,通过这样的场景化适配调

整, 推动服务机器人的决策性能适配更复杂的民用服务场景, 务机器人的接受度与依赖度, 也为后续更广泛的民用场景应用让技术落地更贴合实际使用中的各类细节需求, 提升用户对服 打下坚实基础。

参考文献:

- [1] 程羽慧,袁祥勇,蒋毅,曹一男.多感觉整合中因果推断的计算模型及神经机制[J].中国科学:生命科学.
- [2] 刘利龙,刘国明,齐保元,邓雪杉,薛迪展,钱胜胜.实际应用场景中的大模型高效推理技术综述[J].计算机科学.
- [3] 胡志远,高锦涛.因果发现技术研究综述[J].计算机工程与应用.
- [4] 乔少杰,李洲,韩楠,徐泉清,吴涛,袁冠,吴信东.人工智能赋能关系型数据库优化技术:现状与展望[J].计算机学报.
- [5] 张亚莉,李辽辽,丁振斌.组织管理中的人工智能决策:述评与展望[J].外国经济与管理,2024,46(10):18-38.
- [6] 赵婵婵,吕飞,石宝,尉晓敏,杨星辰,岳效灿.面向边缘智能的协同推理方法研究综述[J].计算机工程与应用,2025,61(03):1-20.
- [7] 李荣宸,姜瑛,姒鉴哲.基于线性结构因果模型的服务故障传播路径识别[J].现代电子技术,2024,47(03):97-101.
- [8] 刘拴,艾尔肯·亥木都拉,岳凡.基于多策略改进 HHO 算法的机器人路径规划[J].组合机床与自动化加工技术,2025,(06):94-98+103.