

基于多智能体的多机器人网络控制体系

高永生, 赵杰, 蔡鹤皋

(哈尔滨工业大学机器人研究所, 哈尔滨 150080)

摘要:按照共享控制模式建立基于多智能体的多机器人遥操作系统网络控制体系。设计了具有感知、决策和交互等公共属性的智能体模块化层次结构,给出了各模块的功能描述,阐明了多个智能体之间的交互特性。在此基础上,实现了融合多层分布式黑板模型和智能体节点的多机器人网络遥操作控制体系结构。最后实验测试了状态推理智能体的激活状态,验证了多智能体结构框架下网络遥操作控制体系的有效性。

关键词:智能体;网络体系;黑板结构;多机器人;遥操作

Multi-agent Based Multi-robot Network Control Architecture

GAO Yongsheng, ZHAO Jie, CAI Hegao

(Robotics Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080)

【Abstract】 With shared control mode, agent based network control structure of multi-tele-robot system is built to implement the Internet based multi-robot tele-operation. Agent modular structure is designed to realize the public attributes such as decision-making and interaction. Then functional descriptions of agent modules are given and the interactive characters among them are clarified. On the basis of these, multi-robot tele-operation control architecture supported by agents and distributed multi-layer blackboard model is built. An experiment is designed to test the effectiveness of multi-agent based control architecture of a tele-robots system by measuring the work state of state reasoning agent.

【Key words】 Agent; Network architecture; Blackboard structure; Multi-robot; Tele-operation

Internet网络遥操作机器人拓展了人类的控制能力,并且提高了在未知环境中的操作安全性。为了克服单机器人遥操作系统的局限性,提高完成复杂作业任务的能力和效率,由多个不同种类的机器人按照一定的控制模式和结构关系相结合的多机器人网络遥操作系统成为目前的研究热点^[1]。根据系统中本地端操作者智能参与程度的不同,控制模式可以分成3类:直接控制,共享控制和监督控制。目前的主要工作集中在如何有效利用共享控制模式,集成机器人局部自主性和操作者的智能参与性,达到扩展人类远程控制能力的目的^[2,3]。AI领域中具有计算、决策与合作能力等特点的智能体技术可以与多机器人系统的技术研究相结合,更好地构架系统的控制模式,解决系统中存在的网络传输时延、运动冲突、死锁等不确定问题^[4,5]。Zhang应用智能体理论实现了双臂协作装配,设计了相应的开发工具和传感、执行系统结构^[6]。Wang通过使用基于智能体的控制技术实现机器人挖掘作业^[7]。Danel研究了智能体与黑板模型的交互形式,据此提出了通用控制模型^[8]。

本文在概述智能体理论特点的基础上,分析了智能体结构表达,设计了可以实现决策和交互能力的智能体模块化层次结构,给出各模块的功能描述,并阐明多个智能体之间的交互特性。建立了由各智能节点和分布式黑板模型集成的多机器人网络遥操作系统。设计了双机器人协调辅助医学操作实验,通过测试状态推理智能体效果验证了基于多智能体的多机器人系统的有效性。

1 智能体模型的分析与设计

一般认为智能体是具有自主性、主动性、社交性及反应性的物理或抽象实体,即可以通过自治和服务这两个主要的个体

行为动态完成决策和交互。多智能体系统是多个这样的智能体的集合,研究目标是将复杂系统构造成规模较小、相互协调、具有分布特性的子系统。子系统由多个智能体进行功能表述,而这些独立的智能体可以由一些功能细化的子智能体模块组成,它们之间可以利用黑板结构实现信息交互,协作完成复杂的分布式任务。

结合传统的慎思智能体和反应智能体结构形式和多机器人遥操作系统控制特点,建立复合智能体模型,既体现规划推理,又强调交互反馈,每一个智能体作为一个共享节点而开发相应的行为,实现传感、规划和反应作用等基本功能。

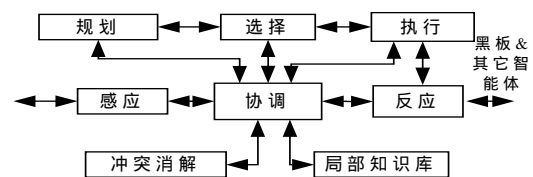


图1 智能体的模块化逻辑组织

Agent在对事物对象的属性和方法认识的基础上,更强调了代表智能化的认知数据结构和推理方法的理解。认知数据结构利用抽象数据类型(ADT)确定了组织访问逻辑和认识领域的数据的规则,而推理方法则通过演绎、归纳和推测等逻辑组合表达理性作用,即自治性。相应地,设计了如图1所示智能体模型结构表示Agent的逻辑组织。每个智能体具

基金项目:国家“863”计划基金资助项目(2001AA422250)

作者简介:高永生(1971-),男,博士、助研,主研方向:多机器人网络控制技术;赵杰,教授、博导;蔡鹤皋,院士

收稿日期:2006-01-25 **E-mail:** gao_ys@hit.edu.cn

有公共域，实现信息管理和子智能体模块之间的协调控制。子智能体模块之间可以直接通信，也可以通过与外部的其他智能体通信进行交互作用。以这样的层次化结构建立智能体复合结构，任务层次清晰，控制智能体间信息流动容易，降低了通信负担；并且减小了节点的任务量和异常状态对全局的影响，增强了系统的强壮性。各子智能体模块解释如下：

(1)协调模块。负责节点的抽象行为，包括总体规划和管理。按照储存在感应模块中的外部工作状态激活全局或局部知识源。如果成功，则激活的知识源会被推入规划模块中。它也可以从子智能体中获得负载和源信息用于维护正确的信息表。按照这张表，利用分配算法，将知识源分配到子智能体中。当不能根据相应的外部信息激活源时，信息由黑板机制传输到其他的节点中。

(2)感应模块。主要功能是从黑板或其他智能体中接收和翻译信息。为了提高互操作性和信息流动管理，定义两个层面上的信息流协议和通信方法。首先是负载信息描述标准，其次是通信协议标准语言，指明传输地址、发送和接收方法。

(3)反应模块。负责发送智能体规划处理的控制指令；当任务完成能力不足时，则分配任务到其他智能体或写入黑板中，以便进一步处理问题。

(4)规划模块。根据反应模块中的信息，结合知识源提供的处理方法，进行问题求解规划。

(5)选择模块。选取规划模块中的规划步骤，将问题的优化处理集调入执行模块中。

(6)执行模块。根据规划模块的信息处理方法，完成局部规划或实时反应。在信息处理过程中，可以通过与其它智能体的协作，动态调整加工过程。执行完成后，将控制指令列送入反应模块中。

(7)冲突消解模块。解决子智能体之间在局部计算中的潜在冲突。当协调模块发现信息不完备、不正确的信息和知识、自治体应用判据不同、推理机制不同、工作目标不同等问题求解的不确定性时会启动它，按照优先级重新进行决策。

2 系统体系结构

2.1 系统物理操作分析

基于 Internet 的多操作者多机器人遥操作是指多个操作者在不同地区通过 Internet 在分布式虚拟环境中操作处于同一工作空间的远端机器人。图 2 中描述了遥操作过程中的信息产生和传递过程：操作者发送控制命令，同时监督远端的机器人状态变化；远端的机器人子系统采集和处理实时状态信息，同时将局部融合信息传送到本地端的操作者虚拟环境中，更新其中显示的机器人状态；操作指令被同步化后，与实时状态信息协调规划，得到规划后的控制指令。由控制器按照控制指令控制机器人和手爪完成运动。由这一过程可知，系统的信息处理过程非常复杂，存在很多危险与不确定因素，必须依靠机器人局部处理能力和操作者的智能参与才能很好地解决复杂作业问题。

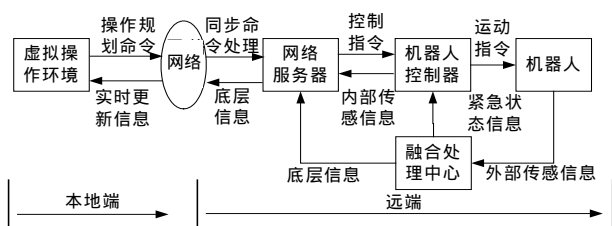


图 2 基于 Internet 多机器人遥操作中的信息流

2.2 基于智能体技术的系统体系结构

按照共享控制模式，多机器人网络遥操作系统可以分成 3 个子系统：人机交互控制，协调规划和实时控制子系统。每个子系统按照功能要求由多个逻辑智能体构成，子系统内部及其之间集成分布式黑板结构，作为共享数据库存放问题求解状态信息和实现信息交互(图 3 描述了基于多智能体结构的多机器人遥操作系统结构)。

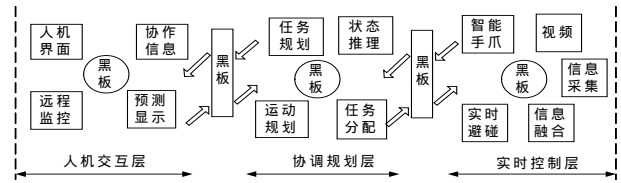


图 3 基于多智能体结构的多机器人遥操作系统结构

人机交互控制子系统主要是为操作者提供工作界面和远程监控。其中，人机界面智能体提供功能良好的工作界面，以便准确、清晰地执行操作任务。远程监控智能体监控实际工作的多个机器人状态，通过侦测实时工作空间信息和利用信息反馈修正的机器人状态信息。操作者可以使用预测智能体在虚拟环境(VE)中判断机器人是否可以成功完成规划的任务。如果在 VR 中机器人位置异常，则给出警告指令，避免传输控制指令到远端机器人系统。协作智能体会帮助操作者之间领会操作意图，避免无效操作。

协调规划子系统作为人机交互控制和实时控制子系统的桥梁，也执行多操作者的命令。其中，任务规划智能体根据时间序列判断操作命令的有效性。状态推理智能体融合实时机器人状态信息和操作者指令，判断机器人工作状态。运动规划智能体实现机器人每一步操作的控制指令。任务分配智能体将规划指令转换成机器人实际操作指令，传送给机器人控制器。

实时控制子系统的作用是保证系统工作过程中准确执行指令和进行安全控制。信息采集智能体感知或接收环境信息，存入相应的黑板结构中。信息融合智能体融合黑板结构的实时信息，并且给出机器人的实时状态信息到其它智能体中。实时避碰智能体接收信息融合智能体传递的实时状态信息，同时也会根据当前指令搜寻机器人相关状态，然后作出机器人间的运动状态判断。当实时避碰智能体检测到危险区域时，会驱动相应的保护机制工作以避免危险，同时将状态信息传送给操作者。智能手爪智能体控制手爪的抓取动作，而视频智能体负责视频的采集、处理和传输控制

2.3 智能体与黑板结构的信息交互

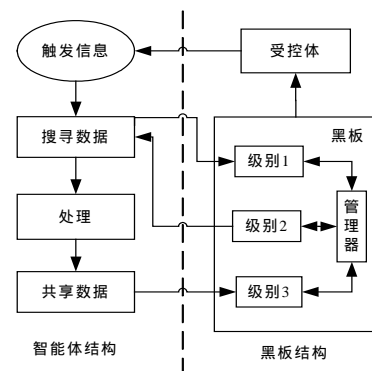


图 4 智能体与黑板结构信息交互

黑板模型设计对于实现存储、控制和有效分配系统信息非常重要。在黑板中登记每个智能体的地址、工作能力和状

态,在工作条件变化时,动态改变相应记录,解决动态连续性问题。黑板模型分配信息给每一智能体节点,使用同步控制机制控制全局知识库中知识源的共享存取。

智能体和黑板之间的交互方式如图 4 所示。智能体根据触发信息搜寻环境信息,将信息在黑板管理器中注册后,保存在相应的级别中。智能体搜索或接收触发信息后,使用局部知识库中的源知识或者通过检查黑板级别中的注册信息与其它智能体合作,处理信息。加工结果作为共享数据在黑板中注册,同时将信息保存在黑板的共享级别中。通过这样一系列的子任务可以最终完成给定的任务。

3 实验

当多个机器人在共享空间中操作时,由于操作过程中具有典型的随机、并行特征,因此设计了多机器人协调操作实验,考察基于智能体技术的多机器人系统网络控制体系的有效性。

3.1 实验系统

本实验系统中使用 Staubli 公司的 RX60 和 RX90 机器人,末端手爪是自行研制的包含多个异构传感器的智能手爪,在机器人运动或抓取物体时可以感知局部环境。另外,在机器人工作空间中,设置了 3 个 CCD 摄像机,可以获得机器人运动空间信息。操作者可以利用鼠标、力反馈手柄或主手在虚拟环境中规划机器人运动。

3.2 实验分析

图 5 给出了实验阶段性快照。其中,图 5 (b)是用 Java3D 语言建立的虚拟操作环境。

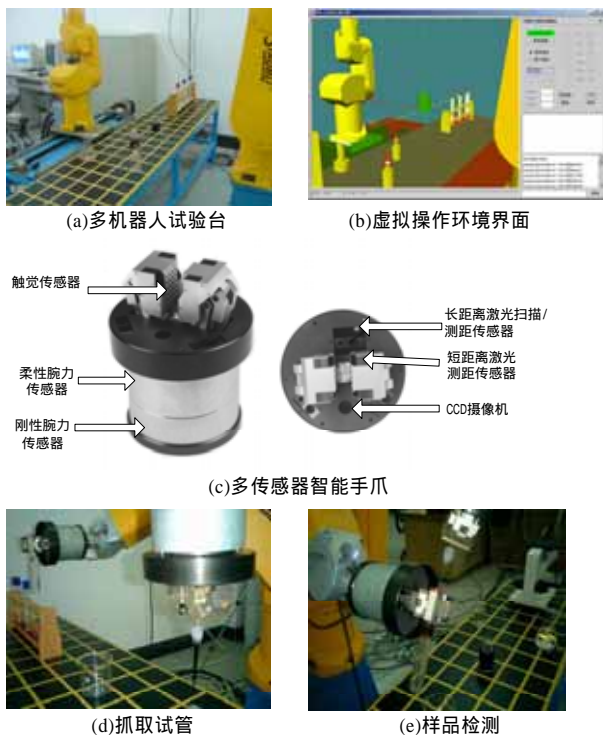


图 5 实验装置及实验过程

为了评价基于多智能体模型的系统操作效果,按照抓起试管、滴定试液、样品检测和显微观察 4 个阶段,将协调操作子系统中的状态推理智能体的激活次数作为指标进行实验统计和分析。由于网络时延是影响机器人遥操作的重要因素,因此利用时延仿真器仿真随机网络时延^[9],与无时延状态进行对比。重

复 20 组实验,在表 1 中记录了不同实验阶段中状态推理智能体的激活次数。

表 1 状态推理智能体的激活次数

阶段 激活次数 时延条件	抓试管	滴试液	样品检测	显微观察
0(s)	1.2	5.3	10.5	9.0
随机时间(s)	3.4	12.7	19.6	17.4

从表 1 的实验结果可见,状态推理智能体在实验的各个阶段都发挥了作用。当第 1 阶段中,2 个机器人分别抓起试管和滴液吸管时,由于工作空间没有重叠,因此状态推理智能体的激活频率很低。随着操作任务的复杂程度和多机器人在同一工作空间中冲突可能性的增加(例如,滴管插入试管中进行滴液),状态推理智能体的激活次数明显增加,融合实时机器人状态信息和操作者指令,判断机器人工作状态。另外,由表 1 可见,网络时延对遥操作的实现具有较大影响。在时延情况下,智能体激活次数大幅度增加,也说明了其在操作过程中减轻时延不利影响的重要作用。

4 结论

智能体技术作为多机器人遥操作系统控制模式的解决手段和方法,可以增强机器人局部自治能力和人机交互能力,具有极大的应用潜力。本文首先根据智能体技术特点建立了智能体模块化层次结构。然后基于共享控制模式,设计了基于智能体节点和多层分布式黑板的系统网络控制体系,并分析了智能体与黑板的交互模型结构。最后建立了基于 Internet 的多机器人网络遥操作系统,作为基础医学辅助操作实验平台。其中,定义了状态推理智能体的激活次数作为性能指标,测试了基于多智能体模型的遥操作系统的可靠性

参考文献

- Luo Ren C, Su Kuo L, Shen Shen H, et al. Networked Intelligent Robots Through the Internet: Issues and Opportunities[J]. Proceedings of the IEEE, 2003, 91(3): 371-382.
- Eckhard F, Jurgen R. The Basic Ideas of a Proven Dynamic Collision Avoidance Approach for Multi-robot Manipulator Systems[C]. Proceedings of the IEEE/RSJ, IROS, 2003-10: 1173-1177.
- Sheridan T B. Telerobotics, Automation and Human Supervisory Control[M]. The MIT Press, 1992: 3-11.
- Weiss G. Multiagent Systems[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1999.
- Wang Liqun, Cheng Shifu. Multi-agent and Multi-problem Harmony Model[J]. Journal of Software, 2002, 13(8): 1637-1643.
- Zhang J, Collani Y V, Knoll. An Interactive Assembly by a Two-arm Agent[J]. Robotic and Autonomous Systems, 1999, 29(1): 91-100.
- Wang Feiyue. Agent-based Control for Fuzzy Behavior Programming in Robotic Excavation[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2004, 12(4): 540-548.
- Corkill D D. Collaborating Software Blackboard and Multi-agent Systems & the Future[C]. Proceedings of the International Lisp Conference, 2003-10.
- 赵明国. 基于 Internet 的遥操作系统的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2001.