

智能控制中的多Agent系统

方 义¹, 熊 璋¹, 王剑昆²

(1. 北京航空航天大学 计算机学院, 北京 100083; 2. 中国航空工业第一集团公司 第304研究所, 北京 100095)

摘要: 根据智能控制的安全、经济和舒适三大目标, 提出一种新的基于 BACnet (楼宇自动控制网络数据通信协议) 的 MAS (多Agent系统) 框架. 此框架通过不同层次、不同功能的 Agent 的自治能力及协作协调, 使得智能控制系统的各个相对分散的子系统能够有效地结合在一起. 全局 Agent 负责整体功能的实现, 而每个子系统均设置自身的 Agent 组. 此外, 还提出了基于 MAS 框架的 SAS (安防自动化系统) 逻辑结构, 同时遵循 FIPA (智能物理 Agent 基金) 标准设计了此 MAS 系统的 Agent 通信语言, 并对 SAS 系统进行了重点分析和研究, 包括 CCTV (闭路电视监控) 系统和基于 Auto-ID (自动识别) 的系统.

关键词: 多Agent系统; 智能控制; 通信语言; BACnet

中图分类号: TP18 **文献标识码:** A

Multi-Agent system in intelligent control

FANG Yi¹, XIONG Zhang¹, WANG Jian-kun²

(1. School of Computer Science and Engineering, BeiHang University, Beijing 100083, China;

2. Research Institute 304, China Aviation Industry Corporation I, Beijing 100095, China)

Abstract: According to the three targets of the intelligent control which includes the safety, economy and comfort, a kind of MAS (multi-agent system) framework based on BACnet (a data communication protocol for building automation and control network) standard is proposed. This MAS framework adopted a layered structure, which makes all sorts of relatively distributed subsystems in the intelligent control system effectively integrated together through the autonomy, coordination and cooperation of different layered and functional agents. Global agents are in charge of the realization of entire functions. Each subsystem has its own agent group. SAS (security automation system) logical structure based on the MAS framework is put forward, and an agent communication language of the MAS is also designed according to FIPA (foundation for intelligent physical agents) standard. Finally, SAS in the intelligent control system including the CCTV (closed circuit television) system and the system based on auto-ID (automatic identification) is analyzed emphatically.

Key words: multi-agent system; intelligent control; communication language; BACnet

1 引言(Introduction)

传统的智能控制系统通常由控制器、总线、计算机以集中式的结构组成, 这与日趋复杂的控制任务, 及分散的控制部件间的互操作需求相矛盾. 因此, 寻求一种更先进、高效且合适的体系结构和控制方法是目前的前沿研究课题. 而 MAS 作为分布式人工智能的典型应用, 在定义各分散自主的 Agent 的基础上研究怎样完成实际任务的求解问题, 各个 Agent 均有自身的追求目标, 它们之间的关系可能是协作的, 但也可能是竞争甚至对抗的. 这些特点与智能控制系统的需求完全吻合, 例如, 安全、经济和舒适是其不断追求的三大目标^[1], 各子系

统通过协调和协作共同实现这些目标.

因此, 近年来将 MAS 引入到智能控制系统已成为人工智能研究的新课题. 其中, MIT 人工智能实验室的 Brooks^[2]提出的“智能居所工程”采用 Agent 技术的控制体系结构设计思想, 通过语音识别和视频监控来判断人的简单行为, 从而为住户提供所要求的信息. Callaghan^[3]提出了一个面向智能建筑的 Agent 体系结构, 采用了基于模糊逻辑的嵌入式 Agent 技术. 该系统根据楼宇自控的特点将 Agent 的行为分为 4 大类, 分别涉及节能、紧急处理、安防、舒适等领域, 并根据不同要求制定 Agent 行为规范. 但是目前所研究的这些体系

结构均没有涉及 BACnet 协议,而作为建筑智能化系统领域中的唯一 ISO 标准 (ISO 16484-5), BACnet 产生的背景^[4]就是将不同厂商、不同功能的产品集成在一个系统中,并实现不同设备之间的互操作。这一点与楼宇智能控制的发展方向相一致,符合其需求。

本文结合 BACnet 标准和 MAS 技术,提出一种基于 MAS 的系统结构框架,并探讨适合于智能控制的 Agent 通信语言。

2 基于 BACnet 的 MAS 系统框架(MAS framework based on BACnet)

智能控制系统涉及各种不同功能的智能子系统,为了达到整体功能的统一协调,必须设计一组负责整体工作的全局管理 Agent。与节能、紧急处理、安防、舒适等特点相对应,包括系统 Agent (system Agent)、紧急事务 Agent (emergency Agent)、安全 Agent (safety Agent)、节能 Agent (economy Agent) 和舒适度 Agent (comfort Agent)。同时,控制区域中的每一个房间是一个天然的控制单元,在此将与房间同样具有统一的控制环境和控制要求的非房间控制区域等效视为一个房间控制单元,如走廊、大堂、停车场、广场等。对于一个房间单元,设置一个区域 Agent(zone Agent),负责该被控区域的整体管理和协调。而对于每一个不同功能的子系统,均设计相应的 Agent。根据以上的分析和设计,本文提出一种适于智能控制的 MAS 系统,其体系结构如图 1。

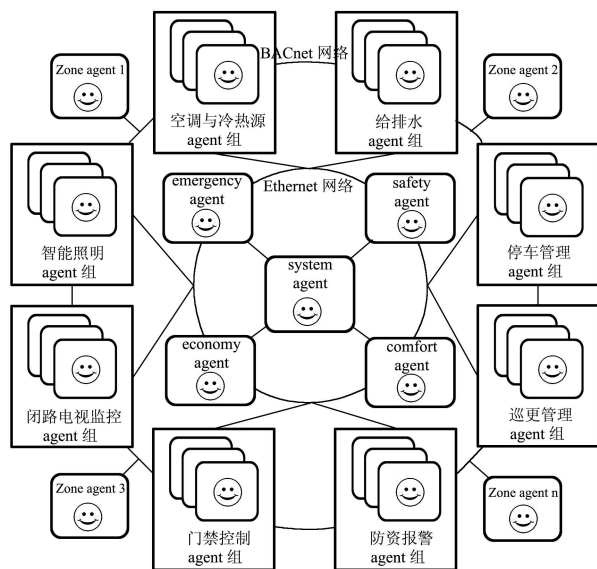


图 1 MAS系统的体系结构

Fig. 1 Architecture of MAS

在图 1 中的每个 Agent 自主地依目标规划相应动作,实现各自功能,同时也可以为其他 Agent 提供服务,通过协调完成共同任务^[5]。

在体系结构的核心层是 5 个管理 Agent,分别是: 1) system Agent,负责系统的管理和协调工作,拥有系统上层的全局重要信息; 2) emergency Agent,负责处理各种突发性的紧急事务,如火灾报警,生命安全等,在行为优先级上具有最高级别; 3) safety Agent,负责有关楼宇安全事务的管理和协调,如非正常或未授权进入、偷盗等。涉及的子系统包括 CCTV 系统、门禁控制系统 (access control system, ACS)、停车场管理系统 (car park system, CPS)、防盗报警系统、巡更管理系统等; 4) economy Agent,节能是智能控制追求的一大目标,实际运行中总是希望尽可能地减少能源消耗,节约成本。楼宇设备自动化系统 (building automation system, BAS) 中空调、通风系统是主要的能耗子系统,即 economy Agent 管理的重要对象; 5) comfort Agent,主要从人体对温度、湿度、室内空气质量 (indoor air quality, IAQ) 等的要求,以及满足各种方便性操作的角度来理解舒适度的含义。舒适度与节能往往构成一对矛盾,因而在很多时候需要 system Agent 的参与,根据用户的具体要求和事先制订的行为规则对二者的行为进行仲裁和协调。

以上是全局控制相关的 Agent 的设计,这些 Agent 使得整个智能控制系统成为一个有组织的自治系统。

对于 zone Agent,一方面与上层 system Agent 进行沟通,了解自身在整体系统中的地位和角色,获得可支配资源的情况;另一方面,掌握本区域内传感器和效应器的分布情况及其隶属的子系统。同时,zone Agent 通过自适应学习能够获得被控区域的一些特征,并根据这些特征,自动调整各功能模块的工作状态和输出参数,以满足特定的人或事物的特殊要求。

而在各智能子系统中所设置的 Agent 组,每一组由于其功能的不同,工作的侧重点也不同,如空调与冷热源 Agent 组则必须重点解决节能问题;而智能照明 Agent 组主要关注照度和舒适度的提供,同时要兼顾系统的节能。对于每一组 Agent,又可以按层次将其分为子类管理 Agent 和功能 Agent (function Agent)。

子类管理 Agent 负责整个子系统的监控、管理和协调。子系统收集到的各种信息,先汇总到子类管理 Agent,并进一步向上提供有用的信息,或其他子系统直接进行沟通、协调完成进一步的联动。如未授权车辆进入停车场时,其管理 Agent 首先通过自动栏杆拦截该目标,并向 safety Agent 报告有目标进入。而 function Agent 主要负责各种信息

的收集、整理和分析,以便向上提供更简洁有用的信息.对于复杂的信息源,可以一个信息源设置一个Agent,如IAQ;而对于较简单的信息源则可以用一个Agent管理多个信息源,如送风湿度、回风湿度等.

以上部分结合智能控制系统的特点,提出了基于BACnet的MAS系统框架,其中各个相对分散的子系统能够有效地结合在一起,通过各种不同的Agent的自治能力及协作协调,实现共同目标.

3 基于MAS系统框架的SAS系统(SAS based on MAS framework)

SAS系统是智能控制系统的重要组成部分,本文以此为例,提出一种基于上述MAS框架的SAS系统的逻辑结构,如图2.

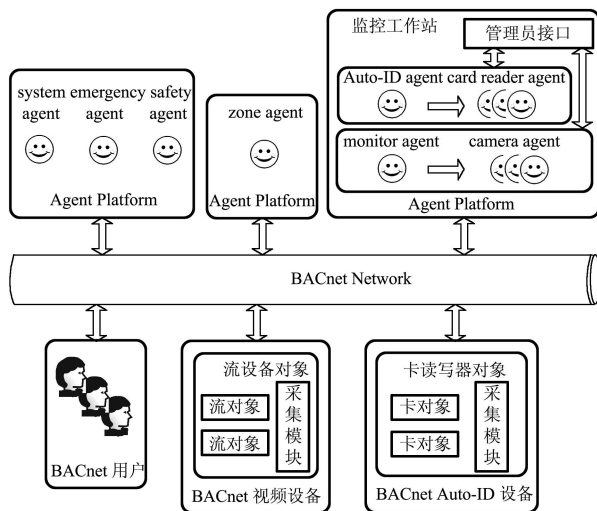


图2 基于MAS框架的SAS系统的逻辑结构

Fig. 2 Logical structure of SAS based on MAS framework

如图2所示,其中,对于SAS中的CPS、ACS、巡更管理系统、考勤管理系统和员工餐厅管理系统等,由于均可通过Auto-ID技术来实现,因此在本文中称上述系统为基于Auto-ID的系统.对于这种系统来说,卡设备和卡读写器设备均可称为BACnet Auto-ID设备,并遵循BACnet标准的规定,分别为二者扩展了卡对象和卡读写器对象^[6].每一个卡读写器对象对应一个具体的卡读写器设备,并具有读写卡设备和存储读写历史记录等功能.而对SAS中的CCTV子系统来说,结合其具体需求和视频流数据的特点扩展了2种对象^[7],分别为:流设备对象和流对象.

考虑到SAS系统的具体特点,在管理层Agent平台(Agent platform)中仅包含system Agent, emer-

gency Agent和safety Agent.而监控工作站所在的Agent平台中分别为基于Auto-ID的系统和CCTV子系统设立子类Agent,即Auto-ID Agent和monitor Agent,以及function Agent,即camera Agent和card reader Agent. Auto-ID Agent和monitor Agent作为Auto-ID系统和CCTV子系统的指挥中枢,其功能包括3个方面:1)与safety Agent沟通,并在其指挥下实现整个系统要求的各项功能;2)与zone Agent合作决定某一具体房间的门禁、考勤、防盗及监控等方案,由于每一个房间的具体要求均不相同,如门禁开放时间、停车场封闭计划及监控设备允许工作的时间等;3)协调各个function Agent之间的工作,实现子系统的各项功能.在CCTV子系统中设置camera Agent用于有效地管理BACnet视频设备的各项工作.而在基于Auto-ID的系统中,通过设置card reader Agent来管理各种BACnet Auto-ID设备.其主要功能是通过适用于Auto-ID的专有服务以及其他BACnet标准服务实现对Auto-ID设备的操作和管理.

以上部分给出了基于BACnet网络的楼宇自控MAS系统的框架及逻辑结构.而MAS内部或不同MAS之间的各个异构Agent必须通过通信,才能实现知识与信息共享,并进行交互和协商,进而分工合作解决复杂的异构性问题.

4 Agent通信语言(Agent communication language)

Agent之间为了通信而使用的语言就是Agent通信语言(Agent communication language, ACL).包括FIPA ACL、KQML(knowledge query and manipulation language)、KIF(knowledge interchange format)等在内的许多著名的Agent通信语言均是基于言语行为理论的^[8].但KQML的言语行为共有35种之多且较为复杂,而FIPA ACL仅有22种,比较适合智能控制系统,因此本文选择FIPA ACL作为基于BACnet的MAS系统框的通信语言.

4.1 Agent言语行为(Agent Communicative acts)

FIPA ACL规范定义一条消息本身表达一个Agent动作,也就是说,Agent通过发送消息企图达到或完成某一特定目的或动作. FIPA ACL定义的消息由通信消息协议、发送Agent标识符、接收Agent标识符、消息本体论、消息内容语言以及消息内容等组成,其消息格式如图3.

(performative	不同类型的语言行为
:sender	发送Agent
:receiver	接受Agent
:reply-to	回应消息的接收者
:content	消息内容
:language	消息内容的语言类型
:encoding	消息内容的编码形式
:ontology	用于理解消息内容的本体论
:protocol	用于ACL消息中的生成机制
:conversation-id	对话标识符
:reply-with	应答Agent指定in-reply-to的内容
:in-reply-to	根据得到消息中的reply-with中内容指定
:reply-by	最迟应答时间

)

图 3 FIPA ACL 的消息格式
Fig. 3 Message format of FIPA ACL

在 FIPA 标准中, 定义了较完备的 Agent 通信语言规范. 然而, 由于智能控制系统与一般的 MAS 系统相比, 存在着不少特殊性, 使得有必要在 FIPA 基础上进行一定的设计和修订, 以适合智能控制的要求. 在 FIPA 2000 标准中共定义了 22 种 Agent 的言语行为, 既包含叙述式形式的描述也有基于模态逻辑的形式化语义描述, 如表 1. 但对于智能控制系统来说, 相当一部分言语行为并不是必需的, 有的与 BACnet 标准存在某种功能上的重复, 如“Subscribe”的功能与 BACnet 标准中“预订COV”(change_of_value)服务有类似之处.

表 1 FIPA ACL 言语行为

分类依据	通信言语行为
信息传递	Confirm, Disconfirm, Inform, Inform, If, Inform Ref
要求信息	Query If, Query Ref, Subscribe
协商	Accept Proposal, Call for Proposal, Propose, Reject Proposal
动作执行	Agree, Cancel, Refuse, Request, Request When, Request Whenever, Propagate, Proxy
错误处理	Failure, Not Understood

经过分析, 本文在选取 FIPA 言语行为的基础上设计了作为智能控制系统的 Agent 言语行为: 1) 请求 (request): 发送者要求接受者执行某一指定动作, 可以是打开阀门、控制开度、打开照明、关闭自动栏杆等; 2) 通知 (inform): 发送者告知接受者其认为正确或真实的某一事物的相关信息; 3) 同

意 (agree): 接收者告知发送者, 愿意执行“request”的动作, 并给出执行的具体情况和前提条件; 4) 拒绝 (refuse): 当接收者因某种主观原因无法执行发送者请求的动作时, 接收者通过“refuse”向发送者表明这一点, 并给出原因解释; 5) 失败 (failure): 当接收者因某种客观原因无法执行发送者请求的动作时, 接收者通过“failure”向发送者表明这一点, 并给出原因解释; 6) 询问有关对象 (query ref): 当发送者想知道关于某一事物的信息时, 向接受者发送该指令, 接收者通过“inform”指令告知发送者所需的内容; 7) 命令 (command): 考虑到智能控制系统的特殊性, 尤其是火灾报警自动化系统、BAS 系统和 SAS 系统, 必须具有高强制性和强切的特点. 而对于这一点, 目前 FIPA ACL 中的言语行为还无法实现, 因此新增一条言语行为. 该言语行为与 BACnet 标准中的“BACnet 操作命令”和 FIPA ACL 中“request”二者有相似之处, 均要求接收者完成一定的动作, 不同之处在于, “command”具有更明确的强制性, 通常要求被接收者无条件接受并执行, 不能在主观上拒绝. 接受者在收到此 Agent 消息后必须在给定时间内应答. 可以由“inform”给出执行结果或由“Agree”表示同意, 并给出相关信息, 如优先级等, 如确实由于某种客观原因无法完成, 由接收者通过“Failure”给出失败原因.

4.2 Agent 内容语言 (Agent content language)

FIPA 标准给出了若干种内容语言规范, 包括 SL (semantic language), CCL (constraint choice language), KIF, RDF (resource description framework) 等. 其中, 由于 SL 语言有很强的描述能力, 能表达各种基本命题、动作和对象. 因此, 本文采用 SL 语言作为内容语言.

如图 3 所示, FIPA ACL 消息的参数 ontology 给出了内容语言所涉及的本体论. 在本文中该参数为基于 BACnet 的智能控制系统, 定义为 BacIBMS. 本体论中的相关对象和函数是内容语言的两大基本要素, 是理解内容语言的基础. 对象是一系列所涉及领域中的各种事物结构的描述, 而函数则是各种对象相关的操作.

4.3 在 SAS 系统中的应用研究 (Application research in SAS)

基于图 2 所给的 SAS 逻辑结构, 并采用 FIPA ACL 作为 MAS 的通信语言, 本文进行了实际应用分析和研究. 各个 Agent 之间的协作关系和对话行为如图 4.

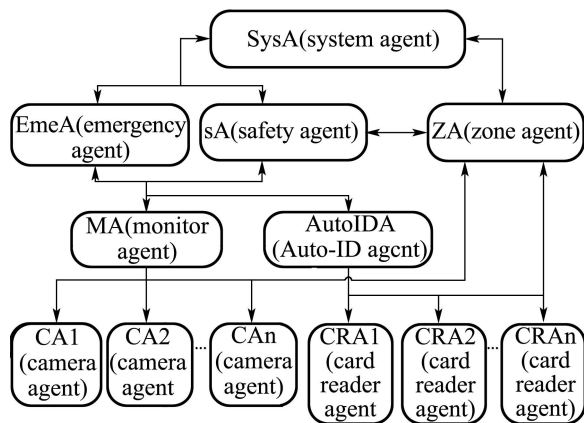


图4 SAS系统中各Agent的逻辑关系

Fig. 4 Logical relationship of Agents in SAS

1) CRA 或 CA向 AutoIDA 或 MA 报告各种情况, 如自身的工作状态、检测到某种异常等。同时 AutoIDA 或 MA 根据各方面的信息指示 CRA 或 CA 完成某一动作, 或通告某一消息。如当 CRA1 或 CA1 检测到一个未授权的目标, 并向 AutoIDA 或 MA 报告, AutoIDA 或 MA 收到消息后, 经过分析, 命令 CRA1 或 CA1 发出警告。下面给出 Auto-ID 系统发现异常目标的消息内容。

(inform

:sender (Agent-identifier :name CRA1)

:receiver (set (Agent-identifier :name AutoIDA))

:content (target-found CRA1

(target :Card reader1 :ID 01 :property person

:known false))

:language FIPA-SL

:ontology BacIBMS)

2) AutoIDA 或 MA 向 SA 报告 SAS 系统所发生的情况, SA 根据具体情况给出指示, 并指挥其他子系统协调工作。如 AutoIDA 或 MA 得知有可疑目标出现后, 将这一消息进一步通知 SA, SA 通过查询 SysA 获得 CRA1 或 CA1 对应的相关设备或具体所在的 ZA, 并通知 ZA 进入安全模式。下面给出 SA 命令 ZA 进入安全模式的消息内容。

(Command

:sender (Agent-identifier :name SA)

:receiver (set (Agent-identifier :name ZA))

:content (action ZA (start-safe-mode true))

:language FIPA-SL

:ontology BacIBMS)

5 结束语(Conclusion)

本文提出了一个适合智能控制系统的 MAS 系统, 它具有很好的层次性和互操作性。同时遵循 FIPA 标准设计了此 MAS 系统的 Agent 通信语言, 并以 SAS 系统, 包括 CCTV 系统和基于 Auto-ID 的系统, 作为重点对象, 对其进行了应用分析和研究。

参考文献(References):

- [1] HAGRAS H, CALLAGHAN V, COLLEY M. A hierarchical fuzzy-genetic multi-Agent architecture for intelligent buildings online learning, adaptation and control[J]. *Information Sciences*, 2003, 150(1): 33 – 57.
- [2] BROOKS R A. The intelligent room project[C] // *Proc of the Second Int Conf on Cognitive Technology Humanizing the Information Age*. Aizu-Wakamatsu City: IEEE Comput. Soc, 1997: 271 – 278.
- [3] CALLAGHAN V, CLARKE G, COLLEY M, et al. A soft-computing DAI architecture for intelligent buildings[M] // *Fuzziness and Soft Computing on Soft Computing Agents*. Berlin: Springer-Verlag, 2002, 117 – 145.
- [4] BUSHBY S T, NEWMAN H M. BACnet today[J]. *Supplement to ASHRAE Journal*, 2002, 44(10): 10 – 18.
- [5] 王艳红, 尹朝万. 一类基于多Agent和分布式规则的敏捷生产调度[J]. *控制理论与应用*, 2004, 21(4): 526 – 530, 536.
(WANG Yanhong, YIN Chaowan. Multi-Agent and distributed-rules based agile production scheduling approach[J]. *Control Theory & Applications*, 2004, 21(4): 526 – 530, 536.)
- [6] 方义, 熊璋, 王剑昆. BACnet的对象及服务扩展[J]. *计算机工程*, 2005, 31(18): 205 – 207.
(FANG Yi, XIONG Zhang, WANG Jiankun. Extension of Objects and Services of BACnet[J]. *Computer Engineering*, 2005, 31(18): 205 – 207.)
- [7] 蒋文斌, 周曼丽, 周宁, 等. 基于BACnet 网络的视频监控系统研究[J]. *华中科技大学学报(自然科学版)*, 2002, 30(12): 26 – 28.
(JIANG Wenbin, ZHOU Manli, ZHOU Nin, et al. Video surveillance system based on BACnet standard[J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology(Nature Science Edition)*, 2002, 30(12): 26 – 28.)
- [8] WOORDRIDGE M J, JENNINGS N R. Intelligent Agent: Theory and practice[J]. *Knowledge Engineering Review*, 1995, 10(2): 115 – 152.

作者简介:

方 义 (1974—), 男, 博士研究生, 主要研究领域为智能控制和BACnet, E-mail: paulfy@buaa.edu.cn;

熊 璋 (1956—), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为多媒体技术和分布式信息处理;

王剑昆 (1959—), 男, 工程师, 主要研究领域为工业控制。