

# 中央空调系统的 MAS 智能控制模型

邓璐娟<sup>1</sup>, 潘凯洁<sup>1,2</sup>, 陈培<sup>1,2</sup>

(1. 郑州轻工业学院 软件学院, 河南 郑州 450002;

2. 郑州轻工业学院 计算机与通信工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**中央空调智能控制是实现空调节能优化调节的一个发展方向,目前是研究的一个热点和难点。文中首先在分布式人工智能领域的 MAS 理论上,对 MAS 的理论和应用进行研究介绍;然后针对目前中央空调控制系统中难于进行整体控制的问题,采用基于 MAS 的建模方法进行整体控制的设想,探讨了多 Agent 技术在空调控制系统中的应用;最后,文中引入了具有学习控制能力的人工智能技术,采用增强学习方法与多 Agent 技术结合起来,实现中央空调系统的整体智能控制与节能。

**关键词:**智能控制;MAS;增强学习

**中图分类号:**TP39

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2012)08-0213-03

## Intelligent Control Model for Central Air-conditioning System Based on MAS

DENG Lu-juan<sup>1</sup>, PAN Kai-jie<sup>1,2</sup>, CHEN Pei<sup>1,2</sup>

(1. Software Institute, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;

2. Sch. of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Intelligent control for central air-conditioning is a development direction of air-conditioning energy saving and optimization control, which is both hot and difficult currently. First, in the field of distributed artificial intelligence based on MAS theory, introduction to the theory and application of MAS was reviewed. Then in view of the current difficulty to overall control for central air-conditioning control system, adopt modeling method based on MAS to implement the tentative plan of overall control, discuss the applications of MAS in central air-conditioning system. Finally, with learning and control technology, use reinforcement learning and MAS to achieve intelligent control and energy saving of central air conditioning system.

**Key words:** intelligent control; MAS; reinforcement learning

## 0 引言

据统计,我国建筑能耗约占总能耗的 35%,其中空调能耗又约占建筑能耗的 50%~70%。如今建筑智能化程度提高很快,几乎所有的中央空调都采用了自动控制系统。如果通过优化控制有效地降低建筑空调能耗,可以对环境资源的保护和国民经济的可持续发展产生巨大的作用。

中央空调系统是由多个子系统构成的复杂系统,反应速度慢,滞后现象较为严重。怎样协调平衡各子系统的运行,来克服系统惯性大、工况复杂、受外部和内部环境影响严重等特点,从而达到中央空调系统的

节能运行是传统控制技术难以解决的问题。当前中央空调控制中存在的问题主要是控制方式单一,没有考虑到设备系统协调工作的综合效果。对于空调系统的控制主要是为回路的单独设计,没有考虑到多个回路之间的关系。在实际的运行中,中央空调系统的多回路之间存在一定的耦合关系,如果对单个回路进行单独调试没有差错,但是在系统整体运行时,还会出现偏差,使系统难于控制、性能不稳定。

多 Agent 系统 (Multi-Agent System, MAS) 是分布式人工智能 (Distributed Artificial Intelligence, DAI) 系统的一种,研究一组 Agent 如何通过相互之间的协调来实现复杂系统的控制,并为空调系统整体协调优化控制的实现提供了一个新思路。

文中提出一个基于 MAS 的中央空调智能控制模型,该模型有较好解决中央空调系统的协调控制问题的能力。

收稿日期:2011-12-15;修回日期:2012-03-22

基金项目:国家自然科学基金项目(61040025)

作者简介:邓璐娟(1964-),女,湖南人,教授,研究方向为自动控制理论与控制工程、计算机控制系统、软件工程、软件测试。

### 1 MAS 的应用

MAS 由 Agent 组成,具有比 Agent 更多的优越性,更加高效、可靠、灵活、健壮和易维护。因此,也提供了复杂问题求解的新方法。

#### 1.1 MAS 的理论模型

MAS 系统的理论研究,包括智能 Agent 和多 Agent 系统两个方面。多 Agent 技术是解决复杂中央空调系统控制的支撑。多 Agent 系统的构成方式有三种,集中式结构(或行政管理组织结构)、分布式结构(或完全自治式结构)和混合式结构(或问题求解组织结构)。Agent 之间的交互,包括通信和协调两个层面。

在多 Agent 系统中,Agent 思维状态模型研究如何描述 Agent 的思维属性和他们之间的联系。一般用 BDI 模型<sup>[1]</sup>描述基本的思维属性,包括信念(Belief)、愿望(Desire)和意图(Intention)。BDI 分析是对思维过程的一种深层次描述,目的是为了适应 MAS 求解过程中复杂多变的环境,保证做出理性的、一致的合作行为。

#### 1.2 MAS 的通信

Agent 之间的通信首先需要研究传输层和语言层。传输层研究 Agent 如何接收和发送消息。语言层研究每条消息所包含的内容。

目前的 Agent 通信语言(Agent Communication Language,ACL),最常用的有 KQML(Knowledge Query and Manipulation Language,知识查询和处理语言)、FIPA-ACL。这两者是典型的通信语言,这些语言本身具有很强的行为能力,可以与应用无关的通信设施进行沟通,以完成一些复杂的任务。KQML 是一种基于消息的通信协议,同时本身也是一种独立的信息交换和协议语言。FIPA-ACL 在语法上与 KQML 非常类似,它们之间最重要的区别在于语用词的集合(即语义框架)。另外,两种 ACL 对于 Agent 的加入和身份认证及通信基础设施的支持不同。

#### 1.3 MAS 在控制中的应用

MAS 在控制领域<sup>[2]</sup>有很多应用,如电网传输、机械制造、机器人控制<sup>[3]</sup>、交通控制、智能建筑等。智能建筑的发展中,张桂青,刘亮等<sup>[4,5]</sup>分析比较了多 Agent 系统的优势,介绍了多 Agent 系统在建筑能源管理方面的应用。在交通仿真方面,Nick Malleson<sup>[6]</sup>使用 Repast 平台构建了 RepastCity 仿真模型,并用于城市盗窃的仿真研究。赵凇,张星辰<sup>[7]</sup>对基于 Repast 平台的城市交通系统仿真建模做了研究,构建出简单的 MAS 系统模型。2008 年,京都大学和 IBM 东京研究实验室合作开发出一套能模拟一定范围内城市交通运输系统的软件,分析包括复杂交通流中上百万的独立车辆,以预测新修建筑可能的交通影响,并帮助规划。

### 2 基于 MAS 技术中央空调控制系统模型

传统的控制理论主要采用微分方程、状态方程及各种数学变换作为研究工具,而人工智能主要采用符号处理、一阶谓词逻辑等作为研究的数学工具。智能控制研究的数学工具是上两方面的结合。

#### 2.1 中央空调控制系统结构

文中提出一个基于 MAS 技术的中央空调学习控制模型,该模型是将 MAS 与学习控制方法结合形成的。系统结构分为三层:系统 Agent、服务 Agent 和现场 Agent,如图 1 所示。

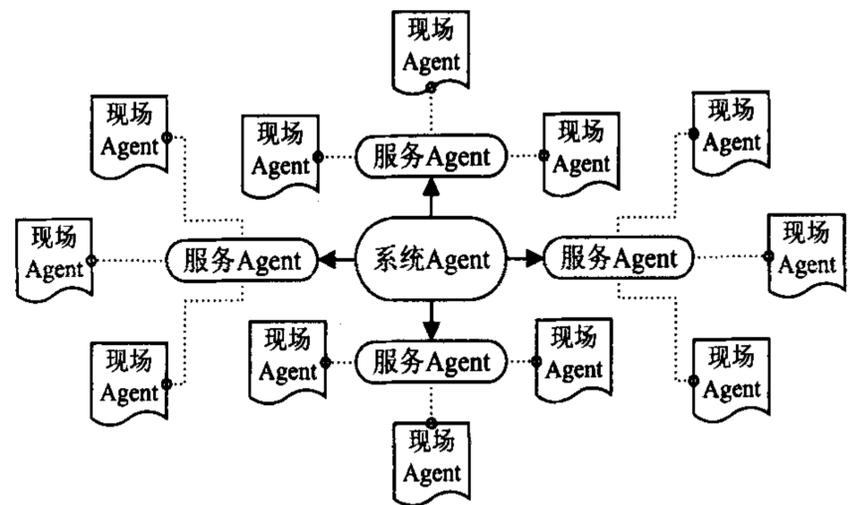


图 1 基于 MAS 技术的中央空调控制系统结构图

图中,系统 Agent 是中央空调控制系统的核心,负责全局的管理和协调处理,实现系统监控、状态查询与显示、区域参数管理和出错恢复等功能;服务 Agent,负责区域控制,服从系统 Agent 的指示,来控制管理本区域中的所有现场环境;现场 Agent,用于感知房间环境,依照环境参数进行设置调整,现场 Agent 的具体结构如图 2 所示:

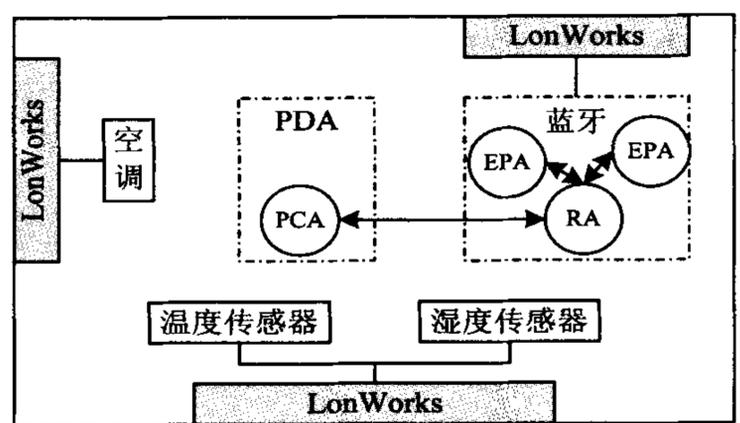


图 2 现场 Agent 系统结构图

此结构参考了 Paul Davidsson 和 Magnus Boman 等人<sup>[8,9]</sup>提出的控制室内环境的多 Agent 系统。

该系统将现场 Agent 进一步细化为三种 Agent:

①个人舒适度 Agent (Personal Comfort Agents, PCA),每个 PCA 对应一个特定的人,包含了 MAS 尝试最大化用户需求所代表的个人偏好和动作,PCA 需要跟 PDA (Personal Digital Assistant,个人数字助理)绑定,通过室内的蓝牙设备同其他 Agent 通讯;

②房间 Agent (Room Agents, RA),每个 RA 对应于要控制完成节能任务的一个房间,考虑到当前房间内

人们的偏好,它仲裁房间内的一些环境参数(如温度、湿度等)如何满足;

③环境参数 Agent (Environmental Parameter Agents, EPA),房间中的每个 EPA 监视和控制一个特定的环境参数,通过传感器和执行器来查看和修改参数。

### 2.2 通信方式和通信语言

在现场 Agent 系统里,设备之间使用 LonWorks 现场总线连接。LonWorks 是美国 Echelon 公司 1992 年推出的局部操作网络。最初用于楼宇自动化,但很快发展到工业现场网。LonWorks 技术的核心是以固件形式实现 7 层通信协议,遵循元中心控制的真正分散模式;节点应用程序编写简易,开发系统完备;实行开放结构,具备良好的互操作性;另外,还有网关可方便构成局域网,甚至与 Internet 相连,实现远程预览现场设备数据的应用。它在楼宇自动控制系统中有显而易见的优势:直接互联、自主通信、网络结构多样化、系统响应速率快等。而各 EPA 和 RA 之间用蓝牙进行通讯和交流。

通信语言选择 LonTalk 和 FIPA。LonTalk 是 LonWorks 提供的通信协议,负责在设备之间通信。而 FIPA 是由 FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agent, 智能物理 Agent 基金会)发布的 Agent 语言,负责在 Agent 之间通讯。

### 2.3 基于 MAS 的学习控制系统

中央空调系统由冷热源、空气处理设备、风系统、水系统和自动控制与调节装置组成<sup>[10]</sup>。大多数中央空调系统的运行效率都涉及到载冷剂、制冷剂、冷却剂三种冷媒的循环运行,空调末端装置、冷却塔装置、制冷机组冷凝器和蒸发器四个热交换过程,还有系统的负荷和实际工况,运行情况复杂,因此中央空调系统具有显著的复杂性特征,难以使用精确的数学模型和方法来描述。因此,该系统将总体进行划分,对中央空调采用了基于 MAS 的模型框架,再对空调内部使用学习控制方法进行局部控制。

学习控制系统<sup>[11]</sup>是靠自身的学习功能来认识控制对象和外界环境的特性,并相应地改变自身特性以改善控制性能的系统。增强学习 (Reinforcement Learning, RL) 是介于监督学习和无监督学习之间的学习方法,不需要训练样本,但要对行为结果进行评价,通过这些评价来间接知道行为改进,直至满足目标。

增强学习系统与环境关系如图 3 所示。

基本的增强学习建模,是以有限 Markov 决策过程 (Markov Decision Processes, MDP) 为框架的<sup>[12]</sup>。要进行增强学习,需要解决以下问题:建立学习目标、计算价值函数和最优价值函数求解。在今后的研究中,将会使用 Q-学习 (Q-learning) 算法<sup>[13]</sup>对中央空调系统

的模型进行构建和分析,结构大致如图 4 所示。

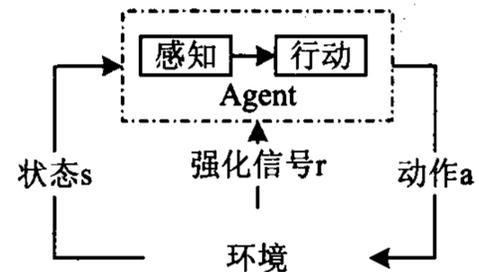


图 3 增强学习系统与环境关系

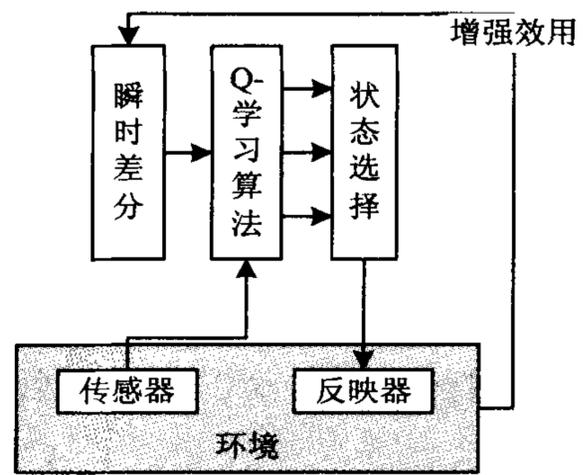


图 4 增强学习结构图

由此得到的空调学习控制系统如图 5 所示:

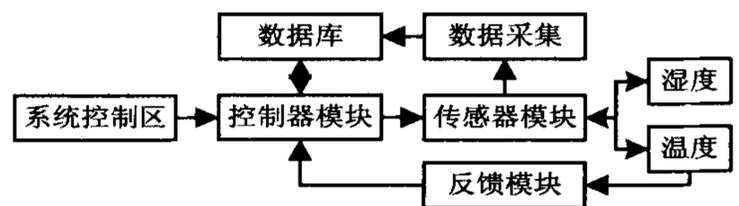


图 5 系统控制反馈图

## 3 结束语

MAS 的研究已经成为当前学术界一个研究热点,在许多领域都得到了应用。文中初步构建了 MAS 在智能控制方面的建模框架,与增强学习能力的人工智能技术结合,简要介绍了中央空调系统建模的方法。之后的工作将会对模型进行详细设计和建模仿真。

### 参考文献:

- [1] 马光伟,徐晋晖,石纯一. Agent 思维状态模型[J]. 软件学报,1999,10(4):342-348.
- [2] 刘佳,陈增强,刘忠信. 多智能体系统及其协同控制研究进展[J]. 智能系统学报,2010,5(1):1-9.
- [3] 雷小宇,杨胜跃,张亚鸣,等. 基于协同进化的多智能体机器人路径规划[J]. 计算机系统应用,2010,19(11):157-161.
- [4] 张桂青,刘亮,李萌. 多 Agent 系统在智能建筑中的应用[J]. 建筑智能化,2008,22(5):39-42.
- [5] Zhang Lin, Zhang Guiqing. Building energy saving design based on multi-agent system[C]//2010 5th IEEE Conference on Industrial Electronics and Application. [s. l.]:[s. n.], 2010:840-844.
- [6] Malleson N. Agent Based Crime Simulation[N/OL]. 2008-

(下转第 220 页)

提高 LBS 适切性、以加强用户粘性突破 LBS 发展瓶颈的一种方法,构建了 LBS 情境知识库和 LBS 情境推理机的原型。

通过研究发现:

(1) 知识库与推理机相对独立的分离式设计,降低了耦合度,当 LBS 应用场景发生改变时,只要更新知识库即可,无须重新编码修改推理机,提高了服务效率;

(2) 不仅知识库的丰富程度对推理能力有直接影响,知识库的学习能力对提高推理性能也至关重要,这里应该考虑一些实现自适应学习的算法;

(3) 为简化研究,这里更新知识库时未做信息验证,但在实际应用中应加以考虑,确保知识库的一致性和正确性;

(4) 关于求解目标的置信度,例如根据用户“坐在汽车内、脉搏跳动快、运动速度高”判断“用户在驾车”的情境结论不一定正确,因为有可能用户只是乘客,目标置信度问题在开发应用时需引起重视;

(5) 情境感知,使 LBS 系统的输入方式,从显示输入为主向隐式输入为主转变,用户在没有任何输入的状态下就能得到适合的服务,其间相关情境信息的输入和处理对用户而言是透明的,这就是隐式输入,这种服务模式为提高人机交互的简易性、高效性以及 LBS 系统行为的灵活性和智能性奠定了必要基础。

建立性能良好的 LBS,这在十多年前曾被认为是非常困难的事情,随着技术进步,在云计算环境下许多问题已经迎刃而解了<sup>[3]</sup>。相信通过努力提高 LBS 适切性,培养大众的消费习惯,形成强劲、稳定的用户粘性,终将能锻造出有市场吸引力的商业模式。

#### 参考文献:

- [1] 余涛,余彬. 智能空间-人类与自然和谐共处的新范式[M]. 杭州:浙江工商大学出版社,2011.  
[2] 王培安,姜浩. 基于位置的手机博客系统设计与实现

[J]. 计算机技术与发展,2008,18(1):212-215.

- [3] Heart D. 论位置服务(LBS)的十大关系[R/OL]. (2011-09-16) [2011-12-02]. <http://www.weizhiquan.com/archives/2620>.  
[4] Schilit B, Adams N, Want R. Context-aware Computing Applications[C]//Proceedings of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications. Santa Cruz, California: IEEE Computer Society Press, 1994:85-90.  
[5] Dey A K. Understanding and Using Context[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2001, 5(1):4-7.  
[6] Anagnostopoulos C, Tsounis A, Hadjiefthymiades S. Context Awareness in Mobile Computing Environments[J]. Wireless Personal Communications: An International Journal, 2007, 42(3):445-464.  
[7] 王志峰,孙跃,任江洪. 网络环境中基于移动 Agent 的资源发现模型[J]. 计算机技术与发展,2007,17(9):75-81.  
[8] 王胜川,刘方爱,石晓晶. 基于网络环境的动态自适应信任机制研究[J]. 计算机技术与发展,2008,18(9):151-154.  
[9] 朱益霞,孙道清,沈展. 一种普适计算下的访问控制策略[J]. 计算机技术与发展,2010,20(8):91-95.  
[10] Hartmann M, Austaller G. Context Models and Context Awareness[R]. [s. l.]: Handbook of Research on Ubiquitous Computing Technology for Real Time Enterprises, 2008:235-277.  
[11] 杨晶,张永胜,孙翠翠,等. 基于时间约束和上下文的访问控制模型研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(8):162-165.  
[12] Bradley N A, Dunlop M D. Toward a Multidisciplinary Model of Context to Support Context-aware Computing[J]. Human Computer Interaction, 2009, 20(4):403-446.  
[13] Bettini C, Brdiczka O, Henricksen K, et al. A Survey of Context Modeling and Reasoning Techniques[J]. Pervasive and Mobile Computing, 2010, 6(2):161-180.  
[14] 宋立森,王汝传,叶宁,等. 基于 Agent 和 XML 的普适计算上下文集成框架[J]. 计算机技术与发展,2011,21(2):73-76.  
[15] 刘威,王汝传,叶宁,等. 基于本体的上下文感知中间件框架[J]. 计算机技术与发展,2010,20(5):51-55.

(上接第 215 页)

06. <http://crimesim.blogspot.com/>.

- [7] 赵凛,张星辰. 基于 RePast 平台的城市交通系统仿真建模研究[J]. 物流技术,2006(7):117-123.  
[8] Davidsson P, Boman M. Distributed monitoring and control of office buildings by embedded agents[J]. Information Sciences, 2005, 171:293-307.  
[9] Davidsson P, Boman M. Saving energy and providing value added services in intelligent buildings: a MAS approach[C]//ASA/MA 2000 Proceedings of the Second International Symposium on Agent Systems and Applications and Fourth Inter-

national Symposium on Mobile Agents. London: Springer-Verlag, 2003:166-177.

- [10] 黄翔. 空调工程[M]. 北京:机械工业出版社,2005.  
[11] 韦巍,何衍编. 智能控制基础[M]. 北京:清华大学出版社,2008.  
[12] 杨明,嘉莉,邱玉辉. 基于增强学习的多 agent 自动协商研究[J]. 计算机工程与应用,2004,33:98-117.  
[13] Youk S, Kim M, Kim Y, et al. Improvement of air handling unit control performance using reinforcement learning[C]//PKAW 2006, LNAI 4303. [s. l.]: [s. n.], 2006:168-176.

作者: 辛凤艳, 孙晓晖  
作者单位: 辛凤艳(河北省科学院应用数学研究所, 河北石家庄050081), 孙晓晖(石家庄开发区冀科双实科技有限公司, 河北石家庄050081)  
刊名: 计算机技术与发展  
英文刊名: Computer Technology and Development  
年, 卷(期): 2012(8)

参考文献(13条)

1. 马光伟;徐晋晖;石纯一 Agent思维状态模型[期刊论文]-软件学报 1999(04)
2. 刘佳;陈增强;刘忠信 多智能体系统及其协同控制研究进展[期刊论文]-智能系统学报 2010(01)
3. 雷小宇;杨胜跃;张亚玛 基于协同进化的多智能体机器人路径规划[期刊论文]-计算机系统应用 2010(11)
4. 张桂芳;刘亮;李萌 多Agent系统在智能建筑中的应用 2008(06)
5. Zhang Lin;Zhang Guiqing Building energy saving design based on multi-agent system 2010
6. Malleson N Agent Based Crime Simulation 2008
7. 赵源;张星辰 基于RePast平台的城市交通系统仿真建模研究 2006(07)
8. Davidsson P;Boman M Distributed monitoring and control of office buildings by embedded agents 2005
9. Davidsson P;Boman M Saving energy and providing value added services in intelligent buildings:a MAS approach 2003
10. 黄翔 空调工程 2005
11. 韦巍;何衍 智能控制基础 2008
12. 杨明;袁莉;邱玉辉 基于增强学习的多agent自动协商研究 2004
13. Youk S;Kim M;Kim Y Improvement of air handling unit control performance using reinforcement learning 2006

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfx201208055.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfx201208055.aspx)