

多智能体分布式智能控制在 VAV 空调系统中的应用

张宏伟^{1,2}, 吴爱国¹, 盛涛^{1,3}

(1. 天津大学 电气与自动化工程学院, 天津 300072; 2. 霍尼韦尔 (天津) 有限公司, 天津 300457;
3. 罗克韦尔自动化公司, 北京 100085)

[摘要] 针对变风量 (VAV) 空调系统的特性, 将 VAV 系统分解为多个智能体, 提出了基于多智能体技术的分布式智能控制方法, 有效地解决了变风量空调系统回路间的解耦和协调问题。建立了 VAV 系统的动态仿真程序, 仿真结果表明该控制方法是有效的。

[关键词] 变风量; 智能体; 多智能体系统; 分布式智能控制

[中图分类号] TP18; TP273 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742 (2006) 07-0058-05

1 前言

随着能源的紧缺, 空调节能问题日益突出。变风量 (VAV, variable air volume) 空调系统通过调节送入房间的风量来适应室内负荷的变化, 具有显著的节能效果以及灵活性好等优点^[1], 因此得到了广泛的推广。

目前, VAV 空调系统的控制主要是基于多个回路的单独设计, 常见的有定静压控制、变静压控制和总风量控制^[2, 3]等。但 VAV 空调系统中多个回路之间存在一定的耦合关系。在工程实际中, 往往单个回路调试和运行都没问题, 但所有回路都工作时, 整个系统就不稳定了。所以, 回路之间的解耦和协调问题成了 VAV 控制系统设计的关键。

设计了 VAV 空调的多智能体系统, 提出了一种基于多智能体的分布式智能控制, 较好地解决了多回路之间的解耦和协调问题。

2 VAV 空调系统概述

2.1 VAV 空调系统的基本结构

通常一个变风量空调系统主要是由混风箱、空气处理机组、风机、风道、各种风门/水阀以及若干间被调房间组成^[1], 如图 1 所示。

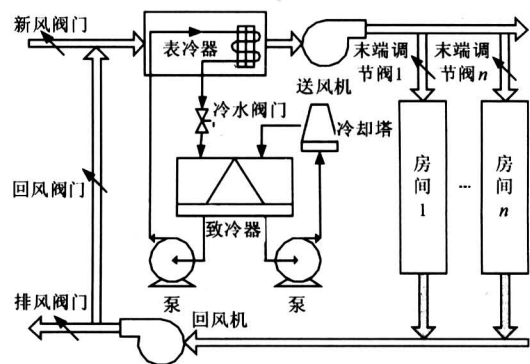


图 1 变风量空调系统结构图
Fig.1 VAV system framework

2.2 VAV 空调系统的数学模型

对于变风量空调系统的控制是对温度和压力的调节。因此, 建立变风量空调系统的数学模型是要建立各个组成部分的空气流量变化模型、热力特性模型和动力特性模型。

被调房间实质上是一个恒温室, 为了研究方便, 可将其看成是一个单容对象, 且不考虑纯滞后。VAV 方式下被调房间的数学模型^[4]如下所示。

$$\Psi \Delta T_n / dT + \Delta T_n = K' \Delta L + K'' \Delta q_f,$$

式中

[收稿日期] 2005-05-11; 修回日期 2005-06-15

[作者简介] 张宏伟 (1979-), 男, 河南安阳市人, 硕士, 霍尼韦尔 (天津) 有限公司工程师, 研究方向为智能控制、嵌入式系统、楼宇自动化

$$\Psi = C_1 / (L_0 \rho c + 1/r);$$

$$K' = \rho c (T_s - T_{n0}) / (L_0 \rho c + 1/r);$$

$$K'' = 1 / (L_0 \rho c + 1/r); \Delta q_f = \Delta q_n + \Delta T_0 / r$$

其中 Ψ 为恒温室时间常数 (h), K' 为恒温室调节通道的放大系数 ($^{\circ}\text{C}/(\text{m}^3/\text{h})$), K'' 为恒温室扰动通道的放大系数 ($^{\circ}\text{C}/(\text{kJ}/\text{h})$), Δq_f 为室内外干扰量的变化换算成室内热量的变化 (kJ/h), C_1 为恒温室的容量系数 (kJ/ $^{\circ}\text{C}$), L_0 为稳态时的送风量 (m^3/h), ρ 为空气密度 (kg/m^3), c 为空气定压比热 (kJ/kg $\cdot^{\circ}\text{C}$), r 为恒温室围护结构的热阻 (h $\cdot^{\circ}\text{C}/\text{kJ}$), ΔT_n 为室内温度的增量 ($^{\circ}\text{C}$), T_s 为送风温度 ($^{\circ}\text{C}$), T_{n0} 为稳态下的室内温度 ($^{\circ}\text{C}$), ΔL 为送风量的增量 (m^3/h), Δq_n 为室内散热量的增量 (kJ/h), ΔT_0 为稳态下室外空气温度的增量 ($^{\circ}\text{C}$).

此外, 文献[5, 6]给出了风机模型、风道模型、VAV 风门模型和 AHU 中的表冷器模型。

3 分布式智能控制

分布式智能控制是研究在分散的、具有一定耦合性的网络环境中, 各子系统间相互协作而共同完成一个或多个控制作业任务的技术。这些子系统通常采用智能体 (Agent) 技术来实现。

智能体是一个物理的或抽象的实体, 能感知外界环境, 根据自身所具有的知识, 按照一定的目标做出相应的推理和判断, 从而影响环境和其他智能主体。同时, 也可以通过与其他智能体的协作和交互影响以完成一项复杂的任务或获得更多对于外界环境的知识。

4 控制系统建模

4.1 控制系统结构

建立的基于 Multi-agent 的 VAV 空调控制系统结构如图 2 所示。由一个协调智能体负责整个智能体系统的管理和智能体之间的协调。

4.2 智能体模型的实现

该控制系统中的智能体采用了实时智能体模型, 其结构如图 3 所示。

下面以协调智能体为例, 给出 VAV 空调系统智能体模型的具体实现。

智能体名称 协调智能体。

状态库 末端装置阀门开度、温度变化量、风机转速、风道压力、冷水阀门开度、冷水温度。

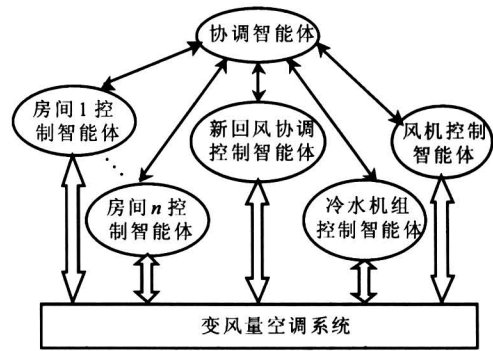


图 2 VAV 空调控制系统结构图

Fig.2 Structure of VAV control system

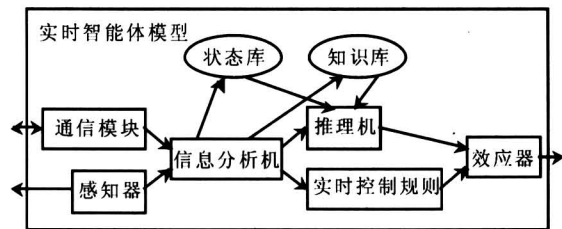


图 3 实时智能体模型结构图

Fig.3 Structure of real-time agent model

知识库 室温调节任务分为 2 个子任务：调节风机转速和调节送风温度。

调节风机转速分为 3 个串行子任务：调节房间末端装置阀门开度，调节风机转速和保持送风温度不变。

保持送风温度不变任务分为 2 个并发的子任务：调节冷水阀门开度和调节制冷装置的控制水温。

调节送风温度任务分为 2 个并发的子任务：调节冷水阀门开度，调节制冷装置的控制水温。

控制要求 系统能耗最小。

推理机 如图 4 所示。

实时控制规则 令 $T_s(k)$ 为送风温度值, $R_{\max}(k)$ 为 $R_i(k)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) 序列中的最大值。 $R_i(k) = G_{\text{act},i}(k) / G_{\text{design},i}(k)$, 其中 $G_{\text{act},i}$ 为第 i 个房间的设定风量, $G_{\text{design},i}$ 为第 i 个房间的设计风量, n 为房间总数。

若 $R_{\max}(k) < 0.8$, 则 $T_s(k) = T_s(k-1) + 0.5$;

若 $R_{\min}(k) > 0.6$, 则 $T_s(k) = T_s(k-1) - 0.5$;

否则, $T_s(k) = T_s(k-1)$ 。

4.3 各智能体之间的协调

多智能体之间的协调机制采用合同网机制^[7]。

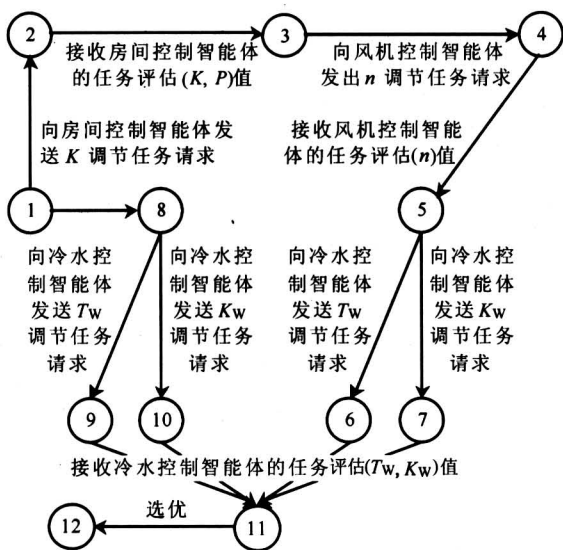


图 4 协调智能体推理机示意图
Fig.4 Structure of concordance agent reasoning machine

下面以温度调节为例，简述各个智能体之间是如何协作的。

当某一房间的温度发生变化时，房间智能体向协调智能体发出室温调整任务请求，并将温度偏差参数传递给协调智能体。协调智能体根据知识库中的任务划分和推理机的推理过程完成任务协调。首先，协调智能体同时向相应的房间温度控制智能体和冷水控制智能体发出调节温度 ΔT 的任务请求，各个房间温度控制智能体根据自身知识库中的关系表查得调节此温度值所需改变的末端装置的开度调节量和管道静压的预测变化量，并将这 2 个值作为任务评估的参数返回协调智能体，协调智能体收到任务评估报告后综合所有的房间开度要求值作为控制参数向风机控制智能体发出转速调节任务要求，风机控制智能体根据参数值计算出转速的调节量并向协调智能体返回任务评估报告，此后，协调智能体再向冷水控制智能体发出保持送风温度不变任务要求并得到相应的调节量；同时，冷水控制智能体也要对调节温度 ΔT 的任务请求作出评估，并将所需调节量返回协调智能体。协调智能体收回所有的任务评估后，将按照能耗最小原则求出最优解，并填写任务说明书发送给相应的控制智能体，至此，完成了一轮任务协调。

5 仿真

5.1 VAV 对象仿真模型

以某楼宇中一层平面建筑为例，建立变风量空调的仿真系统，如图 5 所示。整个建筑空间分为 5 个区域，每个区域配备一套 VAV 末端装置，采用一个空气处理单元 (AHU) 服务该层所有区域。风道距末端 1/3 处的静压工作点为 585 Pa，风机转速设计工作点为 1 120 r/min，室内送风量工作点为 3.71 m³/s，冷水流量、新风量对送风温度的纯时延均为 1 拍。

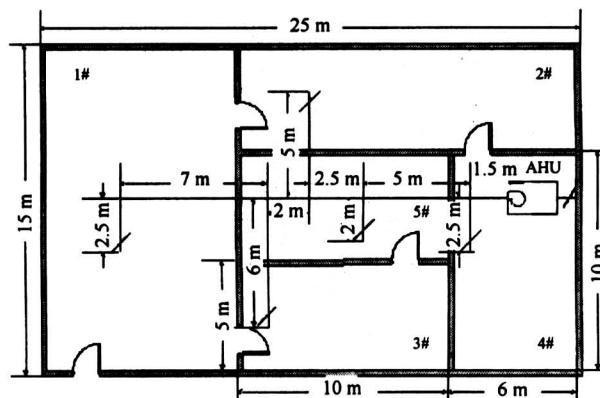


图 5 仿真实例建筑示意图

Fig.5 Building planimetric map

5.2 动态仿真软件

针对图 5 所示仿真建筑，在 CORBA^[8] 软件总线基础上，编制了系统的动态仿真程序。该程序包括被控对象仿真模块、控制系统仿真模块和人机交互模块三部分，如图 6 所示。其中，控制系统仿真模块用于进行各个实时控制器智能体的实现；被控系统仿真模块将变风量空调系统各部件模块封装为一个智能体。

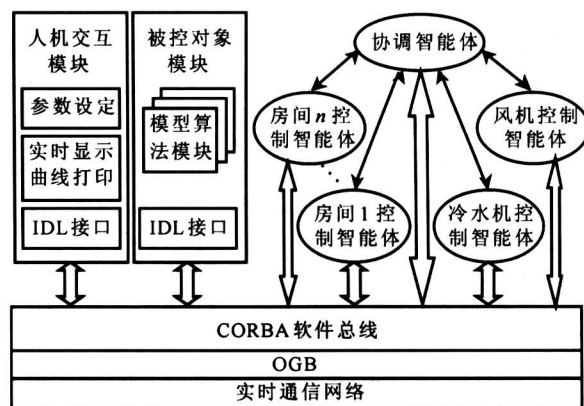


图 6 仿真系统软件结构示意图

Fig.6 Software structure of the simulation system

5.3 仿真曲线

分别采用基于 PID 算法的总风量控制方法和基于多智能体的分布式智能控制方法对 VAV 系统进行控制，得仿真曲线如图 7 至图 10 所示。由于篇幅限制，这里只给出了房间 4 的相关参数变化曲线和系统整体性能参数变化曲线。

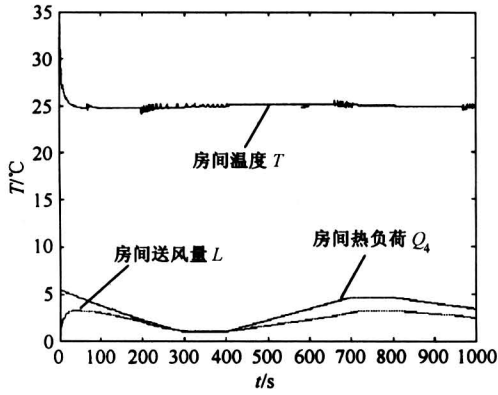


图 7 房间 4 参数变化曲线 (PID 总风量控制)

Fig.7 Response curves of the 4th room under total air volume control of PID type

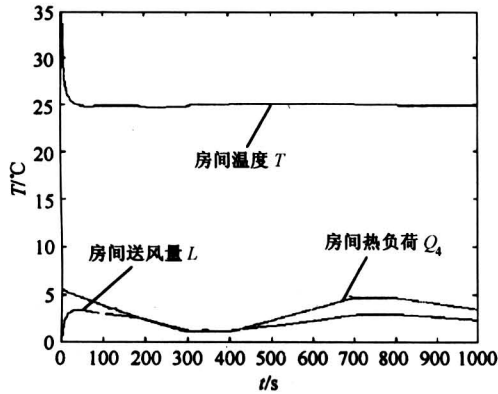


图 8 房间 4 参数变化曲线 (分布式智能控制)

Fig.8 Response curves of the 4th room under distributed intelligent control

6 结论

若采用 PID 调节的总风量控制方法，当变风量空调系统中有的房间热负荷变化较大时，系统会产生振荡。并且由于各回路之间没有协调，系统的控制主要考虑风机转速的降低对能耗的影响，而没有考虑冷水机组的冷水流量和温度对系统能耗的影响，所以整体节能效果不佳。

采用分布式智能控制，由于各智能体之间采用合同网的协调机制，系统整体适应能力较强，当个

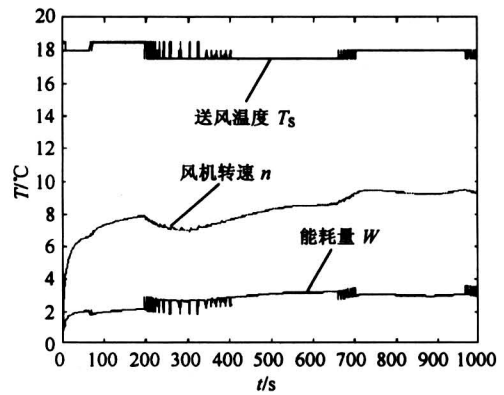


图 9 系统整体性能参数变化曲线 (PID 总风量控制)

Fig.9 Response curves of the whole system under total air volume control of PID type

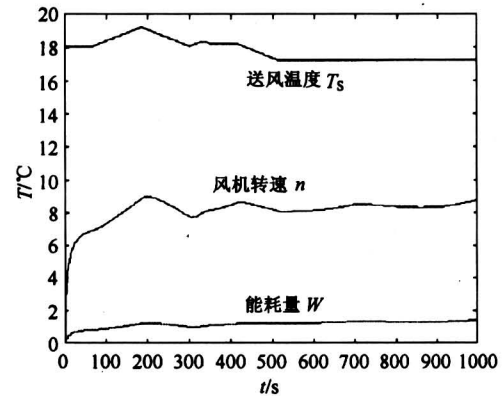


图 10 系统整体性能参数变化曲线 (分布式智能控制)

Fig.10 Response curves of the whole system under distributed intelligent control

别房间热负荷变化时，系统不会产生振荡，而且系统节能效果十分明显。

参考文献

- [1] 蔡敬琅. 变风量空调设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997
- [2] 李克欣, 叶大法, 杨国荣, 等. 变风量空调系统的 VPT 控制法及其应用[J]. 暖通空调, 1999, 29(3): 7 ~ 10
- [3] 戴斌文, 狄洪发, 江 亿. 变风量空调系统风机总风量控制方法[J]. 暖通空调, 1999, 29(3): 1 ~ 6
- [4] 王建明, 李训铭. 变风量空调房间建模与特性参数估算[J]. 计算机仿真, 2002, 19(4): 69 ~ 72

- [5] 晋欣桥, 夏清. 多区域 VAV 空调系统及其局部 DDC 控制器的动态模拟[J]. 制冷学报, 1999, (1): 17~24
- [6] Wang S W. Dynamic simulation of a building central chilling system and evaluation of EMCS online control strategies [J]. *Building and Environment*, 1998, 33(1): 1~20
- [7] Smith R G, The Contract-net protocol: high level communication and control in a distributed problem solver [J]. *IEEE Transaction on Computers*, 1980, 19(2): 1104~1113
- [8] 屈永志, 骆建彬, 邓宪, 等. 实时 CORBA 概述及其实现框架[J]. *计算机工程与应用*, 2002, 38(15): 95~98

The Application of Multi-agent Based Distributed Intelligent Control in VAV Air Conditioning System

Zhang Hongwei^{1,2}, Wu Aiguo¹, Sheng Tao^{1,3}

(1. *School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China;*

2. Honeywell (Tianjin) Limited, Tianjin 300475, China;

3. Rockwell Automation Inc., Beijing 100085, China)

[Abstract] A VAV system can be treated as a multi-agent system. In this paper, a multi-agent-based distributed intelligent control method is presented to solve the problem of concordance and decoupling in the VAV system. A simulation program of VAV system is set up for control analysis. Through a simulation, this control method has been proved to be satisfactory.

[Key words] VAV; agent; multi-agent system; distributed intelligent control

(cont. from p.57)

Contact Pressure and Fatigue Life Prediction of Kiln Rolling Ring Under Intermittent Contact

Shi Yu¹, Xiao Yougang², Lei Xianming³

(1. *School of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan Science and Technology University,*

Xiangtan, Hunan 411201, China; 2. *Key Lab of Railway and Traffic Safety,*

Central South University, Changsha 410075, China; 3. *Department of Machine and Power*

Engineering, Shaoyang University, Shaoyang, Hunan 422004, China)

[Abstract] The mathematical models of contact pressure distribution between rolling ring and shell under intermittent contact are set up, the formulae of bending moment and bending stress of tyre are obtained. By applying nominal stress method and local stress-strain method, the fatigue life prediction model of rolling ring is built. The results show that the fatigue life can be improved greatly if the rolling ring load can be controlled within 2 500 kN after kiln alignment. The support angle 30° of rolling ring is unreasonable. There exists an optimal angle which will enhance rolling ring life to the utmost.

[Key words] rolling ring; contact pressure; support angle; fatigue life