

文章编号: 1008-1542(2005)02-0146-04

# 复杂工业过程智能协调控制系统的设计与应用

杜云<sup>1</sup>, 吴学礼<sup>1</sup>, 田强<sup>2</sup>, 孟凡华<sup>1</sup>, 任海萍<sup>2</sup>

(1. 河北科技大学电气信息学院, 河北石家庄 050054; 2. 石家庄市房产管理局, 河北石家庄 050000)

**摘要:** 针对复杂工业过程系统的特点, 提出一套智能协调控制方案: 以管理信息系统局域网为基础, 将人工智能、专家系统、模糊神经网络控制各自的优势综合在一起, 构成一个智能协调控制系统, 用于对复杂工业过程实现管控一体化, 为复杂工业过程的控制提出一条有效途径。经仿真和控制实验结果表明, 控制性能令人满意。

**关键词:** 复杂工业过程; 管控一体化; 专家系统; 模糊神经网络

中图分类号: TP273+.5 文献标识码: A

## Design and application of intelligence coordination control system for complicated industrial process

DU Yun<sup>1</sup>, WU Xue-li<sup>1</sup>, TIAN Qiang<sup>2</sup>, MENG Fan-hua<sup>1</sup>, REN Hai-ping<sup>2</sup>

(1. College of Electrical Engineering and Information Science, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050054, China; 2. Shijiazhuang Realty Administerial Office, Shijiazhuang Hebei 050000, China)

**Abstract:** This paper presents a new type of intelligence coordinate control system used in complex industrial processes: it is based on management information system LAN and comprises of artificial intelligence, expert system, and fuzzy neural network control. It can realize the integration of management and control and provides an effective solution to complex industrial processes system. Simulation and control experimentation show the control index is satisfactory.

**Key words:** complex industrial processes; integration of management and control; expert system; Fuzzy neural network

20 世纪 70 年代中期以后, 随着科学技术的进步, 现代工业向大型化和复杂化方向发展, 且市场竞争越来越激烈, 因此对企业管理和生产过程的控制系统提出了更高的要求, 形成了复杂工业过程系统。复杂工业过程系统的特点主要表现: 1) 受控过程模型的不确定性; 2) 系统信息的模糊性及复杂的信息模式; 3) 高度非线性、大滞后、强耦合性和各种干扰的存在; 4) 多层次、多目标的控制要求、复杂的数据处理以及严格的性能指标。这些特点使控制界面临的是工业系统的高度复杂性与对控制性能高要求之间尖锐的矛盾, 采用单一的基于定量数学模型的传统控制理论与技术已不可能对复杂工业过程实施有效控制。

文中针对复杂工业过程系统的特点, 在管理信息系统局域网的基础上, 将人工智能、专家系统、模糊神经网络控制相结合, 充分利用管理信息系统的信息集成、专家系统的推理决策和模糊神经网络的学习优势, 构成了一种智能协调控制系统, 从而实现以局域网为基础、以智能协调控制理论为核心的复杂工业过程控制系统。

收稿日期: 2003-10-27; 修回日期: 2004-03-18; 责任编辑: 陈书欣

基金项目: 河北省科技攻关课题(01213407D); 校立科研基金资助项目(XL2004004)

作者简介: 杜云(1975-), 女, 河南淇县人, 讲师, 硕士, 主要从事智能控制理论与应用方面的研究。

# 1 复杂工业过程智能协调控制系统

## 1.1 总体结构设计

提出的智能协调控制系统共分 3 级, 它们和基本实时控制级、专家智能协调级和管控一体化级, 系统结构见图 1。

在图 1 中<sup>[1]</sup>, 系统的基本控制级(DCS)由控制站、操作站、数据通信单元和系统软件等组成, 主要完成信息的检测、处理、获取。为了对强耦合、大时滞和非自衡的变量进行有效地控制, 采用模糊神经网络的智能控制方法, 既解决神经网络学习速度慢、表达能力差的缺陷, 又克服了模糊控制规则难以建立、控制精度低的问题<sup>[2]</sup>。智能协调级用于协调执行级的动作, 在线实时监测被控系统性能, 依据系统性能在线协调控制策略, 从而针对具体对象进行有效的控制。当被控过程受到干扰、参数突变或者环境变化, 模糊神经网络控制器(FNC)的性能不能满足要求时, 专家系统从知识库取出规则在线修改神经网络权值( $W$ )和调整模糊控制器的比例因子( $K_e, K_c, K_u$ ), 使控制系统总能适应被控过程的变化。管控一体化级将控制系统与管理信息系统(MIS)紧密结合起来, 通过企业信息网, 有关人员可在任何地方实时监控生产状态和进行生产过程的优化调度, 达到信息集成与决策的目的。

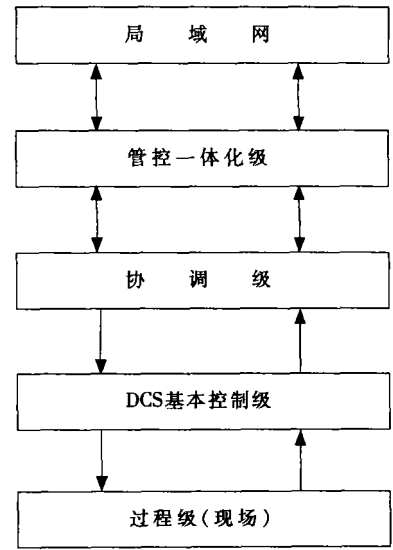


图 1 智能协调控制系统结构  
Fig. 1 Structure of the intelligence coordination control system

## 1.2 模糊神经网络控制器(FNC)的设计

模糊神经网络控制器采用的结构是双输入单输出的标准 5 层网络, 结构为 2-14-49-49-1。- 层为实现模糊规则的前提部分, - 层为实现规则的结论(控制)部分。

该控制器需要学习的参数是最后一层的连接权值  $w_k(k=1, 2, \dots, m)$  以及第 2 层的隶属度函数的中心值  $c_j$  和宽度  $\sigma_j (i=1, 2; j=1, 2, \dots, m)$ 。

取误差代价函数:  $E = \frac{1}{2}(Y_n - Y)^2$ , 其中  $Y_n$  和  $Y$  分别表示期望输出和实际输出。

则参数调整公式为

$$w_k(t+1) = w_k(t) - \beta \left[ \eta \frac{\partial E}{\partial w_k(t)} + (1-\eta) \frac{\partial E}{\partial w_k(t-1)} \right],$$

$$c_j(t+1) = c_j(t) - \beta \left[ \eta \frac{\partial E}{\partial c_j(t)} + (1-\eta) \frac{\partial E}{\partial c_j(t-1)} \right],$$

$$\sigma_j(t+1) = \sigma_j(t) - \beta \left[ \eta \frac{\partial E}{\partial \sigma_j(t)} + (1-\eta) \frac{\partial E}{\partial \sigma_j(t-1)} \right].$$

一阶梯度为

$$\frac{\partial E}{\partial c_j} = \frac{\partial E}{\partial o_j^{(2)}} \cdot \frac{\partial o_j^{(2)}}{\partial c_j} = -\delta_j^{(2)} \frac{2(x_i - c_j)}{\sigma_j^2}, \quad \frac{\partial E}{\partial \sigma_j} = \frac{\partial E}{\partial o_j^{(2)}} \cdot \frac{\partial o_j^{(2)}}{\partial \sigma_j} = -\delta_j^{(2)} \frac{2(x_i - c_j)^2}{\sigma_j^3}.$$

其中:  $k=1, 2, \dots, m; i=1, 2; j=1, 2, \dots, m$ 。  $\beta > 0$  为学习率, 其中  $\eta$  是为了避免 BP 网络的学习过程容易发生振荡、收敛速度缓慢而加的动量项因子 ( $0 \leq \eta < 1$ ),  $\eta$  相当于阻尼项, 它减小了学习过程的振荡趋势, 改善了收敛性<sup>[3]</sup>。

## 1.3 智能协调控制算法

离线训练好上述的 FNC 网络后, 可投入系统运行。一旦被控过程环境变化, 可通过专家系统来在线修正控制器的比例因子。调整量化因子  $K_e, K_c$  和比例因子  $K_u$  对系统响应将造成不同的影响, 同一系统在不同阶段三者产生的影响不一样, 分析如下<sup>[4]</sup>:

量化因子  $K_e$  将会影响偏差  $e(t)$  的作用, 增大  $K_e$ , 由于模糊集论域  $\{-n, -n+1, \dots, 0, 1, \dots, n\}$  已固定, 相当于缩小了误差的基本论域  $\{-x_e, x_e\}$ , 增强了误差的控制作用, 因此导致响应上升时间变短, 超调增大, 收敛变慢, 严重时会出现振荡, 故  $K_e$  不应选得过大; 减小  $K_e$ , 相当于削弱了误差的作用, 虽然有利于减小超调量, 但  $K_e$  过小, 会减弱误差的作用, 使上升时间变长, 静态误差增大, 同样会使收敛变慢。

量化因子  $K_c$  影响误差变化  $ec(t)$  的控制作用。增大  $K_c$ , 将增强误差变化的控制作用, 提高模糊控制器的灵敏度, 抑制超调; 但如果  $K_c$  过大, 将使系统对误差变化率的变化过于敏感, 延长系统的响应时间;  $K_c$  过小, 将降低模糊控制器的灵敏度, 不利于对超调的抑制。

比例因子  $K_u$  直接影响控制器的输出。增大  $K_u$  将提高系统的快速性, 但在收敛阶段, 过大的  $K_u$  将引起系统振荡; 减小  $K_u$ , 有利于系统的稳定性, 但会延长系统的响应时间。

根据上述分析及对控制系统经验的归纳, 可得出一组用产生式规则表示的修正  $K_e, K_c, K_u$  的专家知识规则库<sup>[5]</sup>。

$$R_1: \text{if}(e > 0 \cap ec < 0 \cap e > \delta) \text{ then } (K_1 = \Delta K_e, K_2 = 0, K_3 = \Delta K_u)$$

$$R_2: \text{if}(e > 0 \cap ec < 0 \cap e < \delta) \text{ then } (K_1 = -\Delta K_e, K_2 = \Delta K_e, K_3 = -\Delta K_u)$$

$$R_3: \text{if}(e < 0 \cap ec < 0) \text{ then } (K_1 = -\Delta K_e, K_2 = \Delta K_e, K_3 = \Delta K_u)$$

$$R_4: \text{if}(e < 0 \cap ec > 0) \text{ then } (K_1 = -\Delta K_e, K_2 = -\Delta K_e, K_3 = -\Delta K_u)$$

$$R_5: \text{if}(e > 0 \cap ec > 0) \text{ then } (K_1 = \Delta K_e, K_2 = 0, K_3 = -\Delta K_u)$$

$$R_6: \text{if}(e > 0 \cap ec < 0) \text{ then } (K_1 = 0, K_2 = 0, K_3 = -\Delta K_u)$$

其中:  $e, ec$  分别为当前时刻的偏差和偏差的变化率;  $K_1, K_2, K_3$  分别为量化因子  $K_e, K_c$  和比例因子  $K_u$  的动态修正因子;  $\Delta K_e, \Delta K_c, \Delta K_u$  分别为  $K_e, K_c, K_u$  的增量。

设  $K_e(t), K_c(t), K_u(t), K_e(t-1), K_c(t-1), K_u(t-1)$  分别为当前时刻和上一时刻的量化因子和比例因子, 则参数的在线修正算法为

$$K_e(t) = K_e(t-1) + K_1,$$

$$K_c(t) = K_c(t-1) + K_2,$$

$$K_u(t) = K_u(t-1) + K_3。$$

在实际控制过程中,  $K_e(0), K_c(0), K_u(0)$  3 个初始参数可根据系统的特性及经验选取。误差、误差的域值、量化因子  $K_e, K_c$  和比例因子  $K_u$  的调整范围和其他调整参数均存放在专家智能调整器的知识库中。

#### 1.4 管控一体化设计

管控一体化级是在管理信息系统局域网的基础上, 对生产过程进行实时监测与管理, 以实现多层次、多目标生产过程系统的优化控制。该级采用客户机/服务器计算机模式组成局域网络, 主要完成 2 个方面的基本工作: 其一是将工业现场的实时数据及时采集并传输发送到监控中心; 其二是将监控中心工作人员的操作指令及时传送到工业现场的下位机上。该级除了负责监控、数据管理、过程控制、图形显示、报表打印、越界报警、加载显示、控制参数设置、控制方案选择、协调控制、控制参数送往下位机和接收下位机采集的数据及离散训练模糊神经网络外, 还包括对多任务目标、被控参数设定值及工艺参数与制度的优化控制, 以适应复杂工业过程多层次、多目标的控制要求、复杂的数据处理以及严格的性能指标的特点。该级在完成上述任务的同时, 必须满足由于外界条件变化而提出的新任务和新要求<sup>[6]</sup>, 所以该系统采用大系统、多模块、分布式软件结构方式, 使系统具有良好的开放性。

## 2 系统仿真与实时控制实验结果

### 2.1 仿真实例

为了顺利地实现温控系统的实时控制, 首先对工业过程中常用的 2 类被控对象进行离散相似法数字仿真, 调整好一些参数后, 再做实时控制的验证。

例 1 被控对象传递函数为  $G(s) = \frac{5e^{-0.5s}}{(s+1)(4s+1)}$ , 该对象对于模糊神经网络、PID 控制和模糊控制的响应结果见图 2(a)。

例 2 被控对象为非线性系统  $y(t+1) = \frac{y(t)}{1+y^2(t)} + u^3(t)$ , 其中: 系统的初始状态取  $u(0) = 0, y(0) = 0, K_e(0) = 10, K_c(0) = 20, K_u(0) = 0.05$ 。给定信号:  $r(k) = 7 + 4[0.5\sin(\frac{2\pi k}{50}) + 0.5\sin(\frac{2\pi k}{100})]$ , 系统仿真的响应输出结果见图 2(b)。

从仿真结果可以看出, 模糊神经网络控制具有不依赖被控对象模型的特点, 对时滞和非线性系统控制性

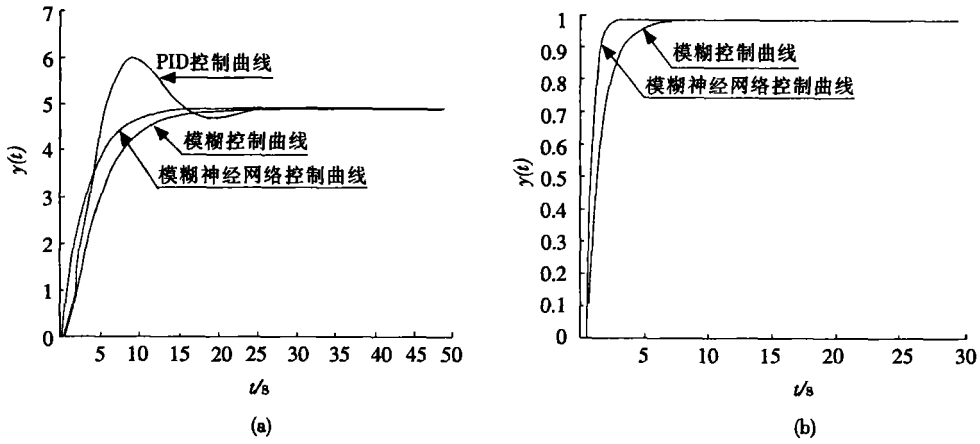


图 2 系统仿真结果  
 Fig. 2 Emulation result of system

能良好。

### 2.2 在温度控制系统中的应用

在具有液位、压力、流量、温度等工业过程的智能协调控制系统中,以箱形电阻炉的炉温控制为例,进行了实际应用研究。经过硬件电路调试和软件参数的设定与修改,采用本文所提方法能取得满意效果。图 3 给出了一组箱形电阻炉中实时控制的响应曲线,并与 PID 控制进行了比较。

### 3 结束语

针对复杂工业过程系统的特点,笔者提出了一个基于局域网的智能协调控制系统,对生产过程进行实时监测与管理,实现多层次、多目标生产过程系统的优化控制,从而构成以自动化技术为基础,以智能控制理论为核心,控制与管理一体化的复杂工业过程智能协调控制系统。经仿真实验和复杂过程温控应用表明,控制效果良好,鲁棒性较强,能够应用于复杂工业过程。

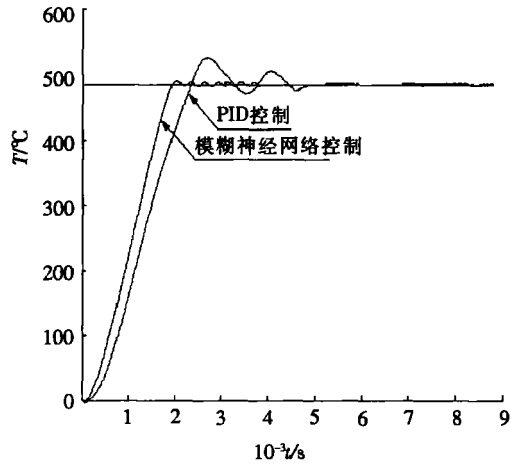


图 3 温度控制曲线  
 Fig. 3 Temperature control curve

### 参考文献:

- [1] 王耀南,姚志红. 神经网络自适应模糊控制器的设计与应用[J]. 湖南大学学报, 1996, (1): 104-106
- [2] 闫利平. 自适应模糊控制在工业过程控制中的应用[J]. 河北工业科技, 2000, 17(2): 38-40
- [3] 孟 华,杜 云,吴学礼. 自适应模糊神经网络控制在 DCS 上的实现[J]. 河北科技大学学报, 2003, 24(3): 23-25
- [4] 贺云波,蒋志明. 一种专家智能融合控制策略及其应用[J]. 自动化仪表, 2001, 21(7): 5-7
- [5] 王耀南,张昌凡. 专家模糊神经网络控制系统在复杂工业过程中的应用[J]. 电机与控制学报, 2000, 4(3): 175-178
- [6] 高 成. 大型化肥厂生产信息计算机集成辅助决策系统研究[J]. 化肥工业, 2000, 25(2): 24-26

与世界先进水平期刊接轨!