

间歇过程操作单元模糊自适应控制器及其应用

周景振 韩曾晋

(清华大学自动化系·北京, 100084)

摘要: 基于化工反应器间歇式生产过程的复杂特性, 提出了一种结合多变量时序逻辑模糊自适应方法的控制器模型, 并用于间歇过程操作单元的控制设计, 在实际应用中获得了满意的控制效果.

关键词: 化工间歇过程; 操作单元; 自适应控制; 模糊控制

The Fuzzy Adaptive Controller for the Batch Process Reactor and Its Application

Zhou Jingzhen and Han Zengjin

(Department of Automation, Tsinghua University · Beijing, 100084, P. R. China)

Abstract: Based on the complex characteristics of batch processes in the chemical industry reactor, we present an adaptive fuzzy controller combining multivariable sequential logic. It is demonstrated that the satisfactory control effect can be obtained by online adaptive fuzzy control algorithm.

Key words: chemical industry batch process; operating unit; adaptive control; fuzzy control

1 引言 (Introduction)

化工间歇过程是一类复杂的生产工艺过程. 从系统运动特性上分析可以将其控制操作分为三个层次: 一是工艺过程控制; 二是操作单元的控制; 三是操作单元中的回路目标控制. 由于该过程在操作上具有流程上的时序性, 状态切换上的并发性, 流程管理上的离散性, 因而给建立准确的数学模型带来一定的困难. 文献[1]提出间歇生产过程中离散事件动态系统 Petri 网建模的递阶化方法, 进而以建模与控制综合分析的方式讨论了基于 P 网模型的协调控制问题. 文献[2]提出了时间 Petri 网建模过程, 应用动态规划法求解优化控制器, 从而为模型的实际应用开辟一个途径. 本文是将一个化工生产过程中的一个操作单元(如反应釜)作为被控对象来研究, 建立了两级模型框架, 即一是操作单元总体控制的特征模型; 二是单元中每一运行回路的目标控制模型, 并以此构造出一个自适应控制器, 实现了一类间歇过程单元的自动控制.

2 操作单元综合特征模型 (Operational unit synthetic characteristic model)

针对一个间歇过程中的操作单元不易建立准确的数学模型这一特点, 提出了一种综合特征模型的设计方法. 这一方法基于单元总体控制问题的求解

与运行回路性能指标的不同, 建立了系统特征状态与时域空间时间段的描述, 为此设 $\Phi_i(t)$ 为系统运动的特征状态, 则特征模型的全体可用集合表示为:

$$\Phi = \{\Phi_1(t_i), \Phi_2(t_i), \dots, \Phi_n(t_i)\}, \\ \Sigma_{T_i} = \{T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{id}\}, \Phi_i \in \Sigma, t_i \in T_{ij}. \quad (2.1)$$

在系统状态空间 Σ 中, 每一区域中状态都应处于时域 Σ_T 中的某一时间段上, 表明系统正处于某种特征运动状态下. 例如, 在第 i 条控制轨迹(或称运动回路的控制目标曲线)上的第 j 个时间段中正在进行着流量调节作业, 其特征状态可以表示为:

$$\Phi_{ij}(t) = \{\text{流量误差 } e, \text{误差化率 } \dot{e},$$

控制目标 PV, 控制类 CT\}

式中 $t \in T_{ij}$. 从上式可以看出, 特征状态是由一些特征的基本元素组成, 简称特征基元. 设特征基元集合为:

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}. \quad (2.2)$$

基元 q_i 是一个状态变量, 在某一固定的空间域(运行通道上)和时间段上, 都由系统赋予了一个特定的变量值. 如压力采样值, 目标值, 控制类等, 以及允许的偏差上下限等. 特征模型和特征基元集分别给出后, 二者的关系可以表示为:

$$\Phi = P \otimes Q. \quad (2.3)$$

式中 P 为一关系矩阵, 其中的元素 P_{ij} 可以取值 -1,

0, +1, 也可以取模糊推理值, 分别表示取反、取零、取正、取模糊关系值. 式中符号 $\otimes$ 表示矩阵的一种代数运算.

3 过程的控制(决策)模态(Process of control (decision) modality)

控制(决策)模态是基于间歇过程操作单元控制器基于在线信息, 如输入变量采样值、前一时间段控制(决策)的记忆值以及对象输出状态信息等, 对当前控制作用进行选择的一种操作模式, 即是某种定量或定性(模糊)信息之间的一种非线性映射关系. 控制(决策)模态的集合记为:

$$\Omega = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_L\}. \quad (3.1)$$

Ω 中可能有两种映射关系 ϕ_i 和 $\phi_j, i \neq j$. 其中的定量映射关系可以表示为:

$$\phi_i: u_1 = f_i(x_1, x_2, \dots, x_{m1}), u_i \in U. \quad (3.2)$$

U 为回路时间段控制算法模型集, 用于时间段内的过程控制. 其中的定性映射关系 ϕ_i 可以表示为:

$$\phi_j: f_j \rightarrow \text{IF (condition) THEN (operation)}, f_j \in F. \quad (3.3)$$

F 作为推理逻辑模型集, 其中也可以有模糊推理的规则, 用于异常推理和状态切换控制.

4 操作单元自适应控制器的设计(Design of operational unit adaptive controller)

根据前面提出的特征模型设计出一种具体的、可实现的操作单元间歇过程控制模型. 一个操作单元对象, 按着控制内容的划分, 可由 N_1 个信号输入通道和 N_2 个控制输出通道组成. 对这两类通道进行组合定义, 可确定出 N 个运行回路, 每个运行回路上又可定义出 m_j 个运行时间段, 用特征模型表示为:

$$L = \{L_1, L_2, \dots, L_N\}, \quad (4.1)$$

$$T = \{T_1, T_2, \dots, T_N\}.$$

式中 $T_i = \{T_{1i}, T_{2i}, \dots, T_{mi}\}$; 式中 L 集合构成了运行空间 Σ , T_i 构成了时间域空间 Σ_{T_i} , i 表示了第 i 个运行回路上的时序逻辑符号集, $T_{ij}(j = 1, 2, \dots, m)$ 表示了时间段名称及其长度. 在 T_i 上定义了运行回路的特征状态属性集为:

$$\Phi_{T_i} = \{LN, RT, VF, VT, OF, AM, OM, EL, SP, RP\}. \quad (4.2)$$

其中的元素含义为: LN——运行回路号; RT——运行类; VF——有效标志; VT——设定值类; OF——输出因子; AM——自适应方式; OM——优化方式;

EL——误差级别; SP——采样周期; RP——关联对象. 对 T_{ij} 上定义了运行时间的状态基元属性集:

$$\Psi_{T_{ij}} = \{T_L, T_T, T_M, C_T, P_V, T_c, T_{cc}, P_{reset}\}. \quad (4.3)$$

其中的元素含义为: T_L ——时间段长度; T_T ——时间类(无限长, 按定义长, 未达报警(中断)); T_M ——时间段内变量跟踪目标方式(保持、线性跟踪); C_T ——时间段内的控制类(模糊开关控制、PID 控制、基本模糊控制、自适应模糊控制^[3,4]、多变量模式等等); P_V ——时间段内的控制目标值; T_c ——触发其它通道方式(与触发、或触发及条件触发); T_{cc} ——设定值重置控制(0—否, 1—是); P_{reset} ——设定值重置. 则操作单元的综合控制模型为:

$$U_i(k+1) = A_{i1}U_i(k) + A_{i2}F(\phi_{T_i}, \phi_{T_{ij}}). \quad (4.4)$$

其中 $F(\phi_{T_i}, \phi_{T_{ij}})$ 为软件流程构成的一种调用函数, A_{i1}, A_{i2} 为实时控制系数矩阵. 其结构框图如下:

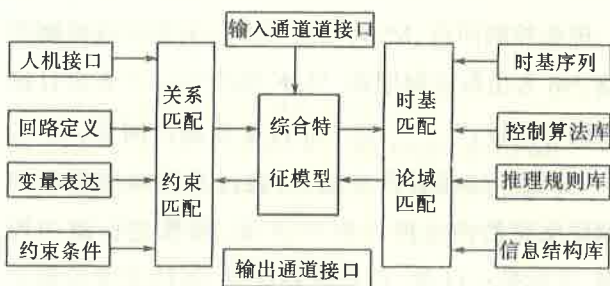


图1 控制器总体结构框图

Fig. 1 Total structure chart of controller

5 应用实例

某农药生产工艺中的合成反应工序是一个典型的复杂操作单元, 它有多输入通道和多个输出通道, 并且在滴加反应时间段上存在放热现象以及中和反应期内的 pH 值非线性控制问题. 合成反应工艺目标如图 2 所示.

操作单元自适应控制器具有可编程功能, 它有十几条组合命令用于: 1) 运行回路的输入通道和输出通道的设置; 2) 运行回路中的时间段类型和长度的设置; 3) 各运行回路上时间段控制目标值的设置; 4) 控制模式以及目标随动方式的设置; 5) 时间段内触发条件和触发通道的设置; 6) 运行回路的参数上下限值和报警上下限值设置; 7) 误差等级和回路时间参数以及物理量量程设置; 等等. 按工艺和工序的要求编制出的控制逻辑图如图 3 所示.

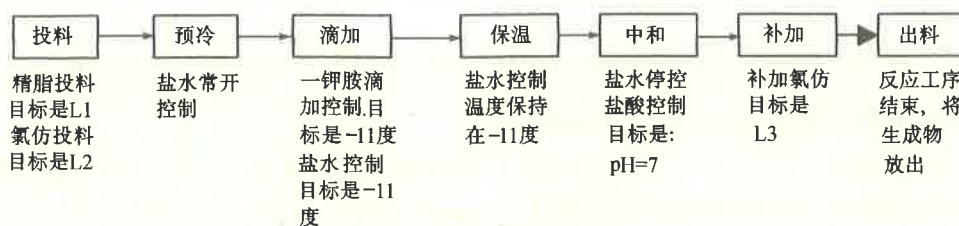


图2 反应器工艺流程图

Fig. 2 Process flow diagram of reactor



图3 工艺编程图

Fig. 3 Programming chart of process

在图3中:N1为盐水控制反应温度回路;N2为精脂投料控制回路;N3为氯仿投料控制回路;N4为滴加一钾胺控制回路;N5为加盐酸进行中和反应控制回路;N6为出料控制回路.另外,图中“——”表示目标控制时间段;“---”表示非目标控制时间段.在N2和N3投料结束后产生放热,经过预冷时间段的控制使反应器内温度达到-18度,接着进行滴加控制,目标是-11度,仍是放热反应.保持温度控制之后是中和控制,通过加酸使反应物的pH值由13左右降到7.由于每一运行回路的时间段上都可以选一种控制模式,如滴加和中和均属非线性控制,可在控制器的工艺编程时设置为模糊自适应控制模式下.同样,每一个时间段都可根据控制的需要选择一种模式(有十一种),因而对于一般的间歇过程反应器或其它的操作单元都具有良好的控制性能.

参考文献 (References)

- 1 古天龙,高衿畅,周春辉.间歇生产过程中的Petri网建模与协调控制.信息与控制,1996,25(25):282-286
- 2 吴峰,刘立煌,郑应平.化工间歇过程的Petri网模型和优化.控制理论与应用,1997,14(3):162-167
- 3 周景振.化工间歇过程模糊自适应控制的研究:[博士学位论文].北京:清华大学,1997
- 4 周景振,韩曾晋.具有时滞的pH值中和过程模糊自适应控制.控制与决策,1998,13(5):528-531
- 5 Rajagopalan D and Karimi I A. Completion times serial mixed-storage multiproduct process with transfer and set-up times. Computers and Chemical Engineering, 1989, 13(1): 175-186

本文作者简介

周景振 1982年毕业于黑龙江矿业学院自动化系,1989年中国科技大学自动控制系硕士学位毕业,1997年12月获得清华大学博士学位,并留校任教.1982年以来,先后从事过控制理论,计算机应用,模糊控制理论的教学与科研工作.目前感兴趣的研究方向有:复杂系统理论,非线性系统控制,模糊自适应控制理论与应用技术等.

韩曾晋 见本刊1999年第2期第168页.