

文章编号: 1002-0411(2002)04-346-07

思维模拟在复杂工业过程建模中应用的综述

卢荣德 陈宗海 王 雷

(中国科学技术大学自动化系 合肥 230027)

摘要: 复杂工业过程控制是控制科学界的前沿, 由于其背景复杂性、控制对象可变性, 至今在实际工程甚至理论上尚待取得实质性进展, 因此, 在复杂环境和任务下的工业过程正在走逐步智能化的道路. 在这一智能化进程中, 有三大智能模拟: 逻辑思维模拟、大脑结构模拟和人工免疫模拟. 本文试图从模糊系统理论和可拓学两方面进行讨论, 详细地评述了思维模拟在复杂工业过程中应用的发展现状, 并对其未来提出展望.*

关键词: 模糊建模; 可拓学; 物元模型; 复杂工业过程

中图分类号: TP273

文献标识码: A

A SURVEY ON THOUGHT ANALOGUE APPLYING IN COMPLEX INDUSTRIAL PROCESS MODELING

LU Rong-de CHEN Zong-hai WANG Lei

(Dept. of automation, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

Abstract: Advanced control of complex industrial process is the frontier domain of information and control science. It is due to the complexity of its background that little essential progresses have been made yet in practical engineering or even on the theoretical basis. Therefore, it may be an intelligence choice for large-scale complex industrial process control to take away of stepwise intellectualization. In this stepwise, there is three types of thought analogue. this paper tries to discuss thought analogue applying problem in complex industrial process modeling from fuzzy system theory and extension theory.

Keywords: Fuzzy modeling, extension theory, matter element model, complex industrial process

1 引言(Introduction)

工业过程系统是一个具有高度复杂、不可确定、多层次、网络性系统, 其主要特征可归纳为: 动力学模型的不确定性、测量信息的粗糙性和不完整性、动态行为或扰动的随机性、离散层次和连续层次的混杂性、系统动力学的高度非线性、状态变量的高维性和分布性、子系统及层次多样性和各子系统间的强耦合性. 这些都是在规模上、复杂性及灵活性上将大大突破传统的或现代的控制理论以及信息处理技术在概念和方法上的局限性. 它要求工业过程控制对被控对象的动力学模型要有“学习”和“识别”能力, 对环境和扰动的变化要有“适应”和“稳健”能力等等. 于是在以算法为核心的传统信息处理与控制理论的基础上, 集启发式的获取、处理与利用于一体的新型处理技术便应运而生, 即利用某种关于信息的

经验和知识, 并将上层知识与下层处理相结合的进行信息处理技术. 有望解决下列问题: (a) 信息量不足、信息不完备或结构不良的病态问题; (b) 计算的复杂性与实时性要求的问题; (c) 用数学模型难以描述的非线性问题等. 因此, 复杂工业过程不断地渴望着一种新理论和方法实实在在地解决工业现场中实际问题. 复杂工业过程控制时刻与近代数学紧密相联, 而集合论是整个近代数学的基础. 集合论的微小变动, 都直接影响整个数学体系^[1]. 1965 年 L. A. Zadeh 提出了 Fuzzy 集的概念^[2], 从而扩展了经典集合的定义, 在数学界引起了强烈的反响. 近四十年来, Fuzzy 集的理论得到了深入发展和广泛应用, 尤其是在控制领域中的应用更是硕果累累. 上个世纪 80 年代初 Z. Pawlak 提出了 Rough 集的概念和理论^[3], 给出了又一种研究不确定性的工具, 由于它在知识表示、信息挖掘等方面的成功应用, 已引起计算

机界的广泛关注. 1983 年我国学者蔡文以处理决策系统中不相容问题为背景, 提出了 Extension 集合的概念^[4], 把数学中的集合概念与实验科学相结合, 给出了处理矛盾问题的定量化和形式化工具. 近二十年来, 这一新的概念和工具已经取得了令人瞩目的发展和应用, 特别是在复杂工业过程控制方面的研究. 本文试图从模糊模型和可拓模型两方面进行讨论, 探讨思维模拟在复杂工业过程的建模中应用的问题.

2 思维模拟应用的研究现状 (Current research situation about thought analogue applying)

2.1 模糊模型研究现状

传统或现代的控制理论, 大都是基于线性数学模型模拟被控过程来设计过程控制器, 对其进行控制, 也只能基于在平衡点附近的局部线性模型. 而大多数工业被控过程是具有时变、非线性等复杂特性, 在此基础上, 需要加入一些与工业现场有关的人类控制经验. 这种经验通常用定性且不精确的规则(模糊算法)表示出来, 控制基础就是这些主观信息, 可视作一组探索式的判定规则, 此模糊控制称之为直接模糊控制^[8]. 此方法的优点是不需要被控过程的数学模型, 因而可省去传统控制方法的建模过程, 但却过多地依赖控制经验. 这样就存在如下局限性: (a) 在很多情况下, 由运行经验总结控制规则不仅是一件繁琐和困难事, 而且有时是不可能事; (b) 通过对操作人员操作过程的建模最多能够准确模仿它的操作, 而不能比它的操作效果更佳; (c) 由于没有被控对象的模型, 在投入运行之前就很难进行稳定性、鲁棒性等闭环分析, 从而妨碍了传统或现代控制理论在模糊控制中的应用. 随着研究的深入, 越来越多的研究者在模糊控制模式大旗下引入了模糊模型的概念, 于是控制器就可根据这个模型采用现代控制理论方法进行设计, 从而将定量知识和定性知识较好地融合在一起.

2.1.1 复杂工业过程系统的模糊模型

模糊模型就是用 if-then 规则的形式来表示被控过程的输入输出关系. 现有文献的模糊模型主要有 Mamdani 模型和 Sugeno 模型.

(1) Mamdani 模型: 工业过程系统映射可以写成:

$$R_i: \text{if } y(k) \text{ is } A_{i1} \text{ and... and } y(k-n+1) \text{ is } A_{in} \\ \text{and } u(k) \text{ is } B_{i1} \text{ and... and } u(k-m+1) \text{ is}$$

$$\text{is } B_{im} \text{ then } y(k+1) \text{ is } C_i \quad (1)$$

按 Mamdani 推理^[9], 用质心法进行模糊判决, 则系统总的推理输出为:

$$y(k+1) = \sum C_i \mu_i / \sum \mu_i \quad (2)$$

其中 μ_i 为前提条件的模糊蕴含; C_i 为第 i 条规则输出模糊集合的中心点. Zeng^[10], Castro^[11] 已分别证明, 这种带模糊判决和取小蕴含运算 Mamdani 型的模糊模型是对连续函数的一种完备映射.

(2) Sugeno 模型: Takagi 和 Sugeno^[12] 提出一种被称为 Sugeno 模型, 已提出了完整的辨识模型的方法^[13-15]. 对于(1)式有如下结构:

$$R_i: \text{if } y(k) \text{ is } A_{i1} \text{ and... and } y(k-n+1) \text{ is } A_{in} \\ \text{and } u(k) \text{ is } B_{i1} \text{ and... and } u(k-m+1) \text{ is } B_{im} \\ \text{then } y_i(k+1) = g_i(\cdot) = p_{i0} + p_{i1} y(k) \\ + \dots + p_{im} u(k-m+1) \quad (3)$$

也可表示为状态方程的形式:

$$x(k+1) = A_i x(k) + B_i u(k) \\ y(k) = C_i x(k) \quad (4)$$

模糊模型除具有连续函数的映射能力外, 还具有以下优点: (a) 具有知识表达的特点: 以 if-then 规则的形式表示, 集成工业现场专家控制经验; (b) 可进行闭环分析: 对于局部线性化模型, 可采用现代控制理论(极点配置、状态反馈、预测控制等)方法进行过程控制设计和分析; (c) 具有定量和定性知识集成的特点: Mamdani 和 Sugeno 模型都可根据工业过程的输入输出数据进行辨识.

(3) 模型稳定性: 在复杂工业过程控制中, 稳定性是首选的控制性能指标. 在传统和现代控制理论中, 过程控制的稳定性分析有许多成熟有效的方法, 过程的性质全部浓缩在工业过程模型中, 对其分析便可对稳定性做出判决, 而建立这样的模型中实际上是有困难的, 成为控制问题的“瓶颈”. 利用人类的控制经验建立模糊控制规则, 不完全依赖于数学模型, 这与传统或现代控制相比有了进步, 但却对闭环工业过程的稳定性分析提出了新问题. Cao^[22] 认为, 建模与分析的矛盾在模糊控制中表现得更为突出, 经典控制的稳定性概念及其分析方法对模糊控制并不适用. 许多研究者在这方面做了不少工作, 特别是 Sugeno 模糊模型是局部线性化模型, 可以借鉴现代控制理论进行分析. Tanaka 和 Sugeno^[23] 研究了 Sugeno 型模糊控制器的稳定性, 给出了稳定性存在性定理. 对于模糊工业过程系统

$$R_i: \text{if } x(k) \text{ is } A_{i1} \text{ and... and } x(k-n+1) \text{ is } A_{in}$$

then $x_i(k+1) = a_{i1}x(k) + \dots + a_{in}x(k-n+1)$
 $i = 1, 2, \dots, l$ (5)

结论部分可写成

$$X(k+1) = A_i X(k) \quad (6)$$

充分性定理: 如果存在一个公共正定矩阵 P , 对每个子过程使得

$$A_i^T P A_i - P < 0, \quad i \in \{1, 2, l\} \quad (7)$$

则工业过程全局渐近稳定.

上述定理是一个存在性定理, 但如何构造 P 阵使得闭环工业过程系统稳定仍无系统方法. Cao^[26] 则在此基础上进行简化, 对于工业过程系统, 结论部分可写成状态空间方程:

$$x(k+1) = A_i x(k) + B_i u(k)$$

$$y_i(k) = C_i x(k) + d_i \quad i = 1, 2, \dots, l \quad (8)$$

基于上述状态空间方程, 状态反馈控制律具有如下形式

$$u(k) = -k_j x(k) + g[r(k) - D] \quad (9)$$

其中 k_j 是反馈增益阵, g 是前馈增益, $r(k)$ 是参考输入, D 是扰动, j 是前提模糊集合个数.

定义

$$A_{ij} = A_i - B_i k_j r(k) = r(k) - D \quad (10)$$

如果存在

$$\|A_{ij}\| \leq c_{ij} \quad (11)$$

其中 c_{ij} 是设计参数, 则闭环工业过程系统渐近稳定.

2.1.2 复杂工业过程的非线性模糊建模

非线性是工业过程复杂性的根源, 在现代控制理论中, 复杂工业过程非线性的辨识和控制仍是一大难题. 即使模糊逻辑、神经网络及二者的结合为工业过程非线性的建模与控制提供了强有力的工具, 但需要做的工作还很多. 模糊模型以其易于表达结构性知识, 成为模糊过程控制系统研究的关键问题.

(1) Wang 模型: 对工业过程非线性的模糊控制, Wang^[16, 17] 提出了模糊自适应控制和分析的方法. 对于复杂工业过程非线性系统:

$$x(n) = f(x, x^{(1)}, \dots, x^{(n-1)}) + bu$$

$$y = x \quad (12)$$

其中, $f(\cdot)$ 是未知的非线性连续函数, b 是未知的正常数, $u, y \in R$ 分别是工业过程的输入和输出. 假设 $x = (x, x^{(1)}, \dots, x^{(n-1)})$, $T \in R^n$ 是可测量的, 控制目标是使输出 y 跟踪参考给定 y_r , 要求闭环工业过程系统全局稳定. 文献[16]给出最优控制律为

$$u^* = (1/b)[-f(x) + y_c^{(n)} r + k^T e] \quad (13)$$

其中 $e = (e, e^{(1)}, \dots, e^{(n-1)})$ 是误差向量, $k = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ 是稳定多项式 $h(s) = s^n + k_1 s^{(n-1)} + \dots + k_n$ 的系数. 由于 $f(\cdot)$ 和 b 未知, 则自适应控制律为

$$\theta^* = Y e^T p_n \xi(x) \quad (14)$$

其中 $e^{(n)} = -k^T e + b[u^* - u_c(x(\theta))]$, Y 是正常数, $\xi(x)$ 是模糊基函数, p_n 是 Lyapunov 方程

$$\Lambda_c^T P + P \Lambda_c = -Q \quad (15)$$

中系统正实矩阵 P 的最后一列.

Wang 的方法有人称之为直接型模糊自适应控制. Su^[18] 研究了另一种基于模糊逻辑的自适应控制, 利用模糊工业过程的非线性映射能力建立复杂工业过程非线性确定的模糊模型, 将模糊辨识和控制器设计分开, 有人称之为间接型模糊自适应控制.

(2) 预测模型: 预测控制是为了适应复杂工业过程控制而提出的算法, 它突破了传统控制对模型的束缚, 易于建模、鲁棒性好的特点^[19], 对于解决大滞后工业对象控制问题是一条有效的途径. 模糊建模比较简单, 是复杂工业过程非线性建模的一个重要工具, 也是复杂工业过程控制中广泛使用的方法. 若把预测控制和模糊推理控制相结合, 更符合人类的控制思想. 模糊预测模型应用如下: (1) 张化光等^[20] 提出了模糊广义预测控制算法, 利用 Sugeno 模糊模型, 将多个模糊模型转换成线性时变差分模型, 再利用 GPC 算法求控制律, 较普通 GPC 算法具有辨识精度高, 适用大范围工况控制要求, 抗干扰能力强的优点. (2) 睢刚等^[21] 将模糊控制和预测控制相结合, 将控制量论域分成若干子域, 并将分界点作为参考控制量, 利用被控过程模型, 预测在参考控制量作用下过程的未来输出. 根据预测输出结果评价各参考控制量的控制效果, 并依据对控制效果的性能, 测量模糊规则修改当前的控制量. (3) 对非线性系统预测控制的研究, 通常采用基于非线性模型的预测控制(NMPC)和基于系统理论的过程控制两种方法. NMPC 一般仍采用非线性模型预测, 通过把非线性模型线性化后, 按照线性系统滚动优化设计预测控制器, 因而会产生一定的预测误差, 可用在线辨识的方法来修正线性化模型, 如对于间隙非线性系统, 孙西 1991 年引入非线性预补偿器, 使广义系统转化为伪线性系统, 但不能完全补偿间隙非线性特性. 刘兵 1999 年对其进行了改进, 引入与其不同的间隙预补偿器, 使广义系统的输入输出成为严格的线性关系. NMPC 的最优求解采用分析的方法, 减少了计算量, 其控制律物理意义明确, 便于实际操作使用; 基

于系统理论的过程控制方法的主旨是用反馈是闭环系统产生线性响应. 实践的需要再加上非线性理论的发展, 极大地推动了非线性模型预测控制理论的研究^[37, 38], 现在非线性预测成为一个很有前途的热门研究方向.

2.2 可拓模型研究现状

对于工业过程的复杂性问题, Zadeh 提出“不相容原理”^[13], 即当一个工业过程的复杂性增加时, 人们对其精确化的能力将降低, 当达到一定的阈值时, 复杂性和精确性将相互排斥. 即在多变量、非线性、时变的复杂大系统工业过程中, 过程的复杂性与人们所要求的精确性之间形成了尖锐矛盾. 因此, 许多学者在研究工业过程非线性建模和控制问题时进行了一些探索与研究, 其中用到了模糊神经网络技术, 就是有效的方法之一, 其研究成果也是较丰实的, 这里就不再详述. 近年来发展起来的新学科“可拓学”^[5]给出了处理矛盾问题的定量化和形式化工具.

定义 1 设 U 为论域, k 是 U 到实数集 I 上的一个映射, 称 $A = \{(u, y) | u \in U, y = k(u) \in I\}$ 为论域 U 上的可拓集合, $y = k(u)$ 为 A 的关联函数, $k(u)$ 为 u 关于 A 的关联度.

显然, 可拓集合是经典集合、模糊集合的扩充. 当 $I = \{0, 1\}$ 时, 关联函数只取 0、1 二值, 分别对应于绝对的属于与不属于两种情况, 则可拓集在论域上完全界定出了一个普通集合; 当 $I = [0, 1]$ 时, 关联函数可取从 0 到 1 的任意数值, 它表示元素对于 A 的不同的隶属程度, 此时可拓集给出了论域 U 上一个 Zadeh 的模糊集. 当 I 为实数集时, A 按 $k(u)$ 为正、负和零, 把论域 U 划分为三部分, 分别称为正域、负域和零界. 正是这三个域及其变换, 为描述事物发展及矛盾转化提供了基础^[33]. 可拓论有两个支柱: 一个是研究物元及其变换的物元理论, 一个是以可拓集合为基础的数学工具. 从一定意义上说, 可拓学是解决现实世界中不相容问题的一种跨学科的方法论. 而为了解决不相容问题, 可拓学提出了物元这个质与量相统一的概念, 并用物元变换作为化不相容为相容的转化工具. 在数学基础上, 则提出了可拓集这一新概念, 引入了零界和可拓域. 这些新思想、新观点为探索该问题提供了可参考的思想和方法. 现将有关可拓模型的研究发展分述如下:

2.2.1 可拓信息转化及知识获取

任何智能系统的核心是知识. 知识获取、知识表示、知识处理是构造人工智能过程系统的三大支柱. 一般认为知识表示处于中心地位, 知识表示既是知

识获取的基础, 又是知识运用的前提. 知识表示方法有许多种, 在人工智能专家过程系统中常见的有产生式系统、语义网络、框架表示法、模糊逻辑表示等等. 这些知识表示有各自的特点, 如产生式的自然性、语义网络的层次性、框架的通用性、模糊逻辑对不精确知识的适应性等. 但是, 它们也有相应的不足之处, 如产生式的表层知识性, 难于表达过程式和启发式知识; 语义网络的非有效性和不存在标准的术语约定; 框架的固定性使许多实际情况与原型不符等. 知识表示能力直接影响到知识获取的能力和推理效率, 致使目前在智能专家过程系统构造中面临一些迫切需要解决的问题: (a) 知识获取方面的困难, 这包括工业现场领域专家提供的知识之间存在矛盾性和不相容性, 以及“只可意会不可言传”、“秘而不宣”专家经验等, 需要设计出有效并且适应不相容问题的知识表示; (b) 现有的专家系统很少有自学能力, 复杂工业过程系统不得不包含数万条规则, 使维护与管理的工作困难, 这显然与知识表示方法有关的; (c) 由于知识表示能力的限制, 使复杂工业过程系统的固有的结构和功能方面的深度知识难以表达, 比如知识中的语义逻辑和语用逻辑等等; (d) 创造性思维还很难在智能专家系统中得到发挥.

近些年, 国内外许多专家学者致力于知识表示的研究. 文[32]提出了建立基于“全信息”(语法、语义、语用信息三位一体^[24-28])知识表示的新型综合智能系统, 并设想全信息知识这种“三位一体”的表示方法可提供两个重要的能力: 一方面是知识的模块化能力, 另一方面是按内容联想存储(或记忆)的能力. 可以说, 文[32]提出的设想是相当有实际意义, 如果得以实现, 则前面提出的在专家系统中面临的许多问题将得到解决或改善. “可拓学”^[5]为实现这种设想提供了有效的思想和方法. 其中“物元”的基本概念可以支持“三位一体”知识基元的模块化构造, 而“可拓性”(物元的发散性、可扩性、相关性、共轭性和多义性等)基本理论可支持以知识的内在联系为基础的知识表示. 文献[26]基于“可拓信息”建立知识表示新模式, 从中可为新型智能系统中对创造性思维的形式化描述提出了新的探索.

物元三要素: 事物、特征和量值. 物元这一概念具有广泛的概括性, 一个物体、一项工程、一个决策都可以看作是一个事物. 同时, 它不只刻画事物的某一性质、某一特征, 而且使用多维物元可以对具体事物或复杂的工业过程进行整体的概括和描述. 物元不是简单的向量, 它有内部的结构、层次与联系. 映

射向幂集上的提升,是近代数学中的有效方法和研究热点之一.应用集值映射的思想,把定义1中的映射 k 向幂集上提升,可以得到包容度更大、适用范围更广的广义可拓集的概念^[26].关联度在很多实际应用中难于确定为一个数,但往往可以给出一个取值范围即区间.这导致:

定义2 设 U 为论域, I 为实数集, $P(I)$ 为 I 的幂集, $k:U \rightarrow P(I)$,称 $A = \{(u, y) | u \in U, y = k(u) \in P(I)\}$ 为论域 U 上的一个可拓集,集值映射 k 为 A 的广义关联函数, $k(u)$ 为 u 关于 A 的关联度,它为一实数集.

特别地,若 $u \in U, y = k(u)$ 均为 I 上的区间 $\langle u_a, u_b \rangle$,则称 $k(u)$ 为一个区间数,称 A 为一个区间可拓集.区间可拓集是通常可拓集的推广,当 $u_a = u_b$ 时, $k(u)$ 蜕化成单点, A 就是定义的可拓集.遵循把映射向幂集上提升的思想,可以进一步把关联度推广成Zadeh模糊集,这里有:

定义3 设 U 为论域, I 为实数集, $F(I)$ 为 I 的模糊幂集, $k:U \rightarrow F(I)$,称 $A = \{(u, y) | u \in U, y = k(u) \in F(I)\}$ 为论域 U 上的一个广义可拓集,模糊映射 k 为 A 的广义关联函数, $k(u)$ 为 u 关于 A 的关联度,它为一实数论域上的模糊集.若 $u \in U, y = k(u)$ 均为 I 上的一类正规凸模糊集,即语言真值,则称 A 为一个语言真值可拓集,简称语言可拓集.

由于 $P(I)、F(I)$,区间可拓集为语言可拓集的特例.关联函数和关联度的这种扩充为可拓集的研究提供了新的数学工具,这就是区间分析方法和模糊逻辑,它们对可拓集合的关系和运算、可拓域、稳定域及关联函数等方面均会带来新结果^[33].下面再给出广义物元可拓集概念,这里就不对其展开讨论.

定义4 给定物元集 $R = \{R | R = (N, c, v), N \in U, v \in V\}$ 和广义可拓集 $A = \{(v, y) | v \in V, y = k(v) \in F(I)\}$,称 $A(R) = \{(R, y) | R = (N, c, v) \in$

$R, y = k(R) = k(v) \in F(I)\}$ 为 R 上的一个物元可拓集.

文献[30]根据集值映射的思想,把可拓集及物元等概念向幂集上提升,给出了广义可拓集的定义,并提出了物元图和物元信息模型.随着研究的深入和完善,物元图方法将会在工业过程系统信息管理中得到有效地应用.

2.2.2 可拓控制及其物元模型

可拓控制是新近发展起来的智能控制的前沿研究课题,它将可拓集合理论引入智能控制的研究领域而最早由王行遇等提出的一种新型的智能控制方法.可拓学研究不相容问题的转化与解决的规律,为研究智能控制又提供了一种重要工具.它是对经典集合、模糊集合论进一步开拓,因此可望以可拓集合论为基础的可拓控制更有优越性,有可能突破现有智能控制方法的局限,解决其它智能控制难以解决和解决不好的复杂工业过程控制问题(如复杂性与精确性矛盾问题等).国内较早进行可拓控制研究的有华东理工大学、清华大学等,并且已有一些可拓控制的研究成果.如华东理工大学王行遇等最早提出了可拓控制的基本思想、结构和原理,该项研究得到国家自然科学基金的资助^[34];李健、胡琛等提出了可拓控制器的构成方法并进行了仿真研究;清华大学潘东和金以慧提出了双层结构自学习可拓控制器,并进行了仿真分析^[35].国内的这些研究建立了可拓控制的基本理论和方法,研究的结果表明可拓控制具有良好的发展潜力.目前国内正在进行可拓控制研究的还有山东工业大学、浙江工业大学、广东工业大学等.国外如美国、日本和台湾等也极为关注这方面的研究.复杂工业过程的可拓控制基本思想是利用可拓集合从信息转化的角度来处理控制问题,其基本框架如图1所示^[36].

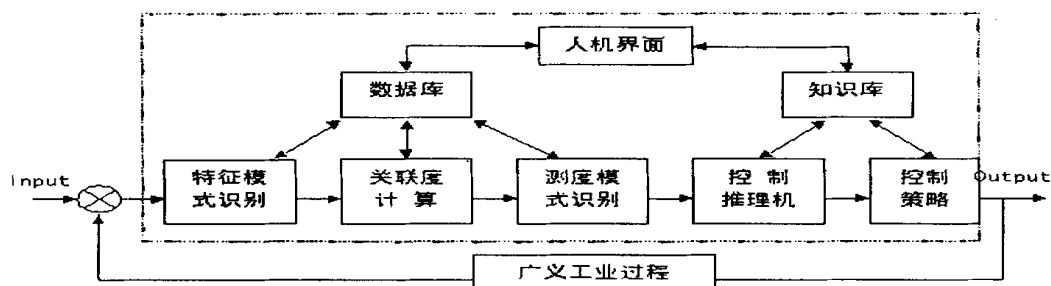


图1 可拓控制系统的结构图

Fig. 1 Structure fig of extension control system

复杂工业过程的可拓控制具有以下特征:

(a) 复杂工业过程的输入是物元集,体现对被控对象

的特征和特征量值要求; (b) 控制模型为物元模型, 模型输入是物元, 复杂工业过程对输入的信息、特征和相应的量值都有要求, 因此控制模型必须是物元才能满足要求; (c) 输出是物元集, 这是由输入物元和受控复杂工业过程的物元模型决定的; (d) 复杂工业过程的可拓控制特色是能够将难以控制的问题转化为可以控制的问题, 也即将复杂工业过程在 $K(S) < -1$ 的状态最终转化为 $K(S) > 0$ 的状态; (e) 通过物元变换的转换工具, 即对物元三要素(事物、特征和特征量值)的变换以及它们的组合变换, 可以变换输入物元、输出物元和过程控制系统的物元模型, 从而克服复杂性与精确性矛盾问题, 以达到过程满意控制的目的^[36]。

根据可拓学的特色, 可拓控制通过引入物元的概念, 复杂工业过程的控制问题便可以用物元模型来描述, 复杂工业过程中难以控制的问题便可以通过物元变换的工具转化为可以控制的问题, 这样, 可拓控制就是充分利用了可拓学基本理论和特色的一种控制方法. 物元和物元模型使可拓控制在形式上不同于其它的智能控制方法, 而通过物元变换使复杂工业过程中不可控转化为可控问题, 更使可拓控制本质上不同于其它的智能控制方法. 通过引入物元的概念后, 可拓控制的物元模型如图 2 所示^[36]. 如何根据复杂工业过程系统实际将物元模型具体化并用于控制, 仍有待进一步研究.

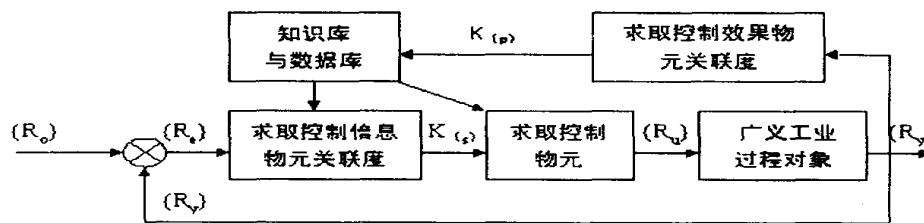


图 2 可拓控制的物元模型框图

Fig. 2 Extension control matter model fig of extension control

3 当前需要研究的展望 (Current research development)

3.1 集成与综合

在工业过程的实际生产中, DCS 的广泛应用保存了大量的实际生产数据, 现场工程技术人员也在生产过程中积累了很多经验. 利用这些生产数据和经验, 结合对生产过程的理论认识, 建立过程的可靠数据模型. 研究和实践表明, 综合与集成地运用模糊神经网络和遗传算法等先进技术, 可取得事半功倍的效果. 因此当前可作如下几方面研究: (a) 可在某一层和功能结构下, 以一定的粗粒度集成运用数学规划、专家系统、神经网络、模糊逻辑和粗糙集理论等技术, 建立具有自学习功能和进化功能的工业过程混合或综合模型. (b) 通过快速决策技术和友好的用户界面实现人机对话, 从而实现以人为中心, 计算机网络为工具, 以模型为核心, 将技术与管理、技术与人、人与组织、工业内外信息和人的经验知识综合集成起来, 实现工业过程的智能化、集成化、柔性化和可预测化.

3.2 可拓空间

(1) 面对如何获取专家或操作人员知识和经验

的难题, 可运用可拓论的物元变换将专家经验模型与计算机智能模型融合于一体, 从而使“秘而不宣”和“只可意会不可言传”专家的经验知识让位于现场专家经验模型; 工业现场专家难于或无法精确计算或确定的让位于计算机智能模型, 因而达到“曹冲称象”的效果, 有望从中创新知识. (2) 从理论上研究并说明隶属函数拓展和关联度对系统辨识和精度的影响. (3) 辨识算法的抗干扰能力, 模型的泛化能力, 辨识精度的提高. (4) 需要深入研究可拓模型的稳定性、能控性、能观性以及可拓模型对于平衡吸引子、混沌等非线性动力学特性应用研究.

4 结束语 (Conclusion)

随着工业过程日益朝着集成化、大型化方向发展, 系统的复杂性不断增加, 表现为控制目标多元化、变量数目增多且相关性增强以及存在着多种约束. 因此, 复杂工业过程的先进控制的应用也将越来越多, 这样, 建模的问题就显得更为重要. 为此, 我们不仅要综合运用工艺知识、操作经验来加深对过程的理解, 而且要利用新的数学理论和控制理论分析过程的内在特性, 以使在先进过程控制的某领域能够有所突破, 从而实实在在地解决工业过程中的实

实际问题.

参 考 文 献 (References)

- 1 Russell B. The Principles of Mathematics, 1903
- 2 Zadeh L A. Fuzzy Sets. Information and Control, 1965, (8): 338 ~ 353
- 3 Pawlak Z. Rough Sets. International Journal of Computer and Information Sciences, 1982, 11(5): 314~ 356
- 4 蔡文. 可拓集合和不相容问题. 科学探索学报, 1983, (1)
- 5 蔡文. 物元模型及其应用. 北京: 科学技术文献出版社, 1994
- 6 林楠. 模糊结构的提升-幂模. 北京气象学院学报, 1997, (1): 26 ~ 30
- 7 Dubois D, Prade H. Fuzzy sets and systems: Theory and Applications, Academic Press, New York, 1981
- 8 Lee C C. Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller Part &. IEEE Trans on SMC, 1990, 20(2): 404~ 435
- 9 Lee C H, S D Wang. A self-organizing adaptive fuzzy controller. Fuzzy Sets and Systems, 1996, 80: 295~ 313
- 10 Zeng X J, M G Singh. Approximation properties of fuzzy system generated by the min inference. IEEE Trans on SMC-Part B, 1996, 26(1): 187~ 193
- 11 Castro J L, M Delgado. Fuzzy systems with defuzzification are universal approximations. IEEE Trans on SMC-Part B, 1996, 26(1): 149~ 156
- 12 Takagi T, Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Trans on SMC, 1985, 15(1): 116~ 132
- 13 Sugeno M, K Tanaka. A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 1993, 1(1): 7~ 31
- 14 Sugeno M, K Tanaka. Successive identification of a fuzzy model and its applications to prediction of a complex system. Fuzzy Sets and Systems, 1991, 42: 315~ 334
- 15 Sugeno M, G T Kang. Structure identification of fuzzy model. Fuzzy Sets and Systems, 1988, 28: 15~ 33
- 16 Wang L X. Design and analysis of fuzzy identifiers of nonlinear dynamic systems. IEEE Trans on AC, 1995, 40(1): 11~ 23
- 17 Wang L X. Stable adaptive fuzzy control of nonlinear systems. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 1993, 1(2): 146~ 155
- 18 Su C Y. Adaptive control of a class of nonlinear systems with fuzzy logic. IEEE Trans on Fuzzy Systems, 1994, 2(4): 285~ 294
- 19 Clarke D W, C Mohtadi, P S Tuffs. Generalized predictive control- Part I & 2. Automatica, 1987, 23(1): 137~ 160
- 20 张化光, 吕剑虹, 陈来九. 模糊广义预测控制及其应用. 自动化学报, 1993, 19(1): 9~ 17
- 21 睢刚等. 模糊预测控制及其在过热汽温控制中的应用. 中国电机工程学报, 1996, 16(1): 17~ 21
- 22 Cao S G. Identification of dynamic fuzzy models. Fuzzy Sets and Systems, 1995, 74: 307~ 320
- 23 Tanaka K, M Sugeno. Stability analysis and design of fuzzy control systems. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 45: 135~ 156
- 24 Wang G J On the logic foundation of fuzzy reasoning[J] Lecture Notes in Fuzzy Mathematics and Computer Science Omaha, USA: Creighton University, 1997, (4): 1~ 48
- 25 Li Jian, Wang Shienyn Primary Research on Extension Control, Pro. Of International conference on Information and Systems, AMSE, 1991, Hangzhou China, 1991, 1: 392~ 395
- 26 刘巍等. 基于可拓信息的知识表示. 系统工程理论与实践, 1998, 13(1): 1~ 16
- 27 王国俊. 修正的 Kleene 系统中的 \sum -(α -重言式)理论, 中国科学, 1998, 41(2): 188~ 195
- 28 王国俊. Fuzzy 命题演算的一种形式演绎系统[J]. 科学通报, 1997, 42(10): 1041~ 1045
- 29 王国俊. 蕴涵格与 Stone 表现定理的推广[J]. 科学通报, 1998, 42(10): 1033~ 1036
- 30 林楠. 可拓集合的提升与物元信息模型. 系统工程理论与实践, 1998, 13(1): 1~ 16
- 31 潘东, 金以慧. 可拓控制的探索与研究. 控制理论与应用, 1996, 13(3): 305~ 311
- 32 陈宗海等. 智能自动化技术的现状与发展趋势. 自动化博览, 2001, 20(2): 4~ 7
- 33 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法. 北京: 科学出版社, 1997
- 34 何斌等. 物元演绎推理[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(1): 85~ 92
- 35 谭民等. 递归联想记忆及在故障诊断中和应用[J]. 自动化学报, 1991, 17(4): 476~ 479
- 36 阳林等. 可拓控制的物元模型及其控制算法. 系统工程理论与实践, 2000, 20(6): 126~ 130
- 37 MUTHA R K, CLUET W R, PENLIDIS A. Nonlinear Modal based Predictive Control of Non-affine Systems[J]. Automatica, 1997, 33(5): 903~ 913
- 38 Lakshmanan N M, Arkun Y. Estimation and model predictive control of nonlinear batch processes using linear parameter varying model[J]. INT. J. CONTROL, 1999, 72(7/8): 659~ 675

作者简介

卢荣德(1968-), 男, 大学讲师, 现为中国科学技术大学自动化专业在职硕士. 研究领域为决策支持、系统仿真、过程控制和优化等. 曾发表论文 15 篇, 译著一部.

陈宗海(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 现任中国科学技术大学校长助理. 研究领域为人工智能、系统仿真、过程控制和优化等. 已获省部级科技进步奖十余项, 发表学术论文 80 余篇, 出版《过程系统建模与仿真》专著一部.