

可拓控制的探索与研究

潘东 金以慧

(清华大学自动化系·北京, 100084)

摘要: 本文在文献[1]和[2]中提出的可拓控制器设计方法的基础上,对可拓控制器的结构和具体实现进行了研究,提出了上层可拓控制器和基本可拓控制器的概念,探讨了上层可拓控制器的实现问题,改进了基本可拓控制器的控制算法,并采用这类可拓控制器对线性系统、大迟延系统和非线性系统做了仿真研究,仿真结果表明可拓控制具有良好的品质和较好的发展前景。

关键词: 可拓控制; 智能控制; 可拓集合

1 引言

文献[1]提出了一种新型智能控制——可拓控制,它的基本思想是从信息转换角度去处理控制问题,即以控制输入信息的合格度(关联度)作为确定控制输出校正量的依据,从而使被控信息转换到合格范围内。文献[2]提出了一种可拓控制器的设计,探讨了特征模式划分以及关联度计算等实现问题,本文在文[1]和文[2]的基础上,提出了可拓控制器更为完整的结构,并改进了控制算法,使可拓控制器能利用简单的知识进行自学习,达到较好的控制效果。同时,对各种线性、时延和非线性对象,采用可拓控制进行了仿真研究,研究结果表明可拓控制器具有良好的控制品质和较大的发展潜力。

2 可拓控制器的结构

可拓集合论的建立旨在研究事物的转化关系,而控制问题正是一个转化问题,使被控变量从不合格范围转化到合格范围,使控制效果从不满意转化到满意。基于这种思想,本文提出了一种可拓控制器的基本结构如图1所示。

图中,信息合格度是指被控物元和目标物元之间的差(可以是分解差^[3]);控制量是由信息合格度来决定;控制效果合格度是指被控物元的变化过程与期望效果之间的差(分解差^[3])。根据控制效果合格度和被控物元变化过程中所含的信息,可以从知识库、数据库中选取更合适的控制参数和控制方法。

可以看出这种控制器具有上、下两层结构。下层主要完成基本控制功能,称之为基本可拓控制器,上层的功能可以看作是基本可拓控制器的补充和完善,称之为上层可拓控制器,它的作用是对控制进行优化,保证良好的控制效果,同时,上层可拓控制器能更好地反映可拓集合所强调的矛盾转化规律。

图2表述了这种可拓控制器的实施框图,其中下层可拓控制器由特征量抽取、特征模式

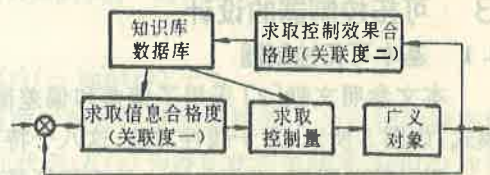


图1 可拓控制器基本结构图

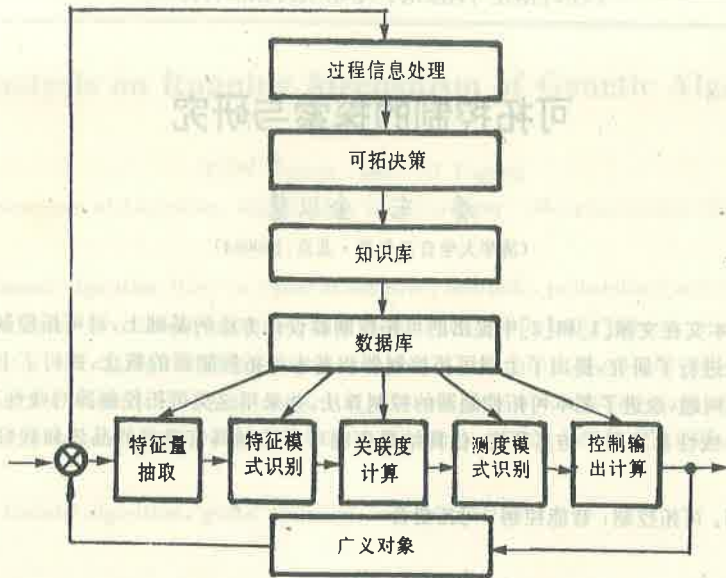


图2 可拓控制结构图

识别、关联度计算、测度模式识别、控制输出计算五部分组成^[1]。特征量是指能表征系统运动状态的变量。特征状态是所有特征量的集合。关联度是指当前的特征状态与系统控制目标可拓集合之间的关系。为了适应对象的非线性,可将特征状态划分为若干个特征模式,在不同特征模式内采取不同的关联度计算方法。为了改进控制效果,又把关联度划分为若干个测度模式,在不同测度模式内采取不同的控制输出计算参数或算法^[2]。上层可拓控制器由四个部分组成,其中:①过程信息处理是指从过程输出信息中判断控制效果,并提取有用信息;②知识库中存过程的先验知识和专家领域知识;③数据库中存放基本可拓控制器的结构参数和各种经验参数;④可拓决策是上层可拓控制器中的关键部分,它根据过程信息处理提供的判断和信息,利用可拓集合的理论激活知识库中的某些知识,以修改数据库中的一些参数,达到改善基本可拓控制器控制效果的目的。

3 可拓控制器的设计

3.1 基本可拓控制器

本文参照文献[2]采用了偏差和偏差微分作为特征量,并将特征状态划分为八个特征模式,如图3所示。对于线性对象,这八个特征模式可采用相同的处理方式。

要计算关联度,必须先建立关于特征量的可拓集合。设被控对象的偏差和偏差微分的容许范围分别为 e_{om}, \dot{e}_{om} ,而系统可调的最大偏差和偏差微分分别为 e_m, \dot{e}_m 。则关于特征状态 (e, \dot{e}) 的可拓集合可用图4表示:

而关联函数则定义如下^[2,3]:

设 $e - \dot{e}$ 特征平面的原点为 $S_0(0,0)$,记 $M_0 = \sqrt{e_{om}^2 + \dot{e}_{om}^2}$, $M_{-1} = \sqrt{e_m^2 + \dot{e}_m^2}$,则定义 $e - \dot{e}$ 平面上任意一点 $S(e, \dot{e})$ 的关联度为:

$$K(s) = \begin{cases} 1 - |SS_0|/M_0, & S \in \text{经典域}, \\ (M_0 - |SS_0|)/(M_{-1} - M_0), & S \in \text{经典域}. \end{cases}$$

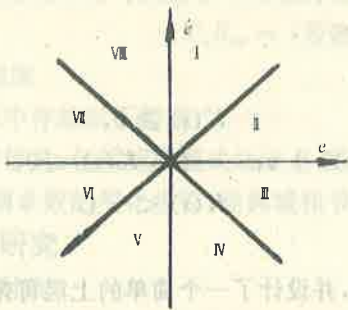


图 3 特征模式的划分

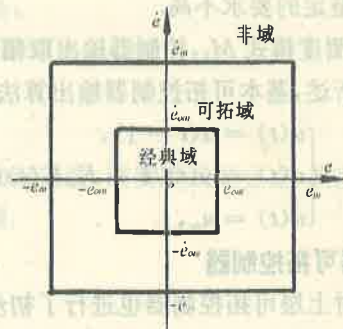


图 4 关于特征状态的可拓集合

其中, $|SS_0| = \sqrt{K_1 e^2 + K_2 e^2}$, K_1, K_2 由系统所处的特征模式决定.

根据文献[1], 测度模式可表示为:

$$M_1 = \{s | K(s) \geq 0\},$$

$$M_2 = \{s | -1 \leq K(s) \leq 0\},$$

$$M_{2i} = \{s | \alpha_{i-1} \leq K(s) \leq \alpha_i, S \in M_2\}.$$

其中 $-1 = \alpha_0 < \dots < \alpha_{i-1} < \alpha_i < \dots < \alpha_m = 0$, $M_3 = \{s | K(s) < -1\}$. 所谓测度模式划分是指对关联度在 -1 到 0 范围内的特征状态划分为若干区域.

在本设计中, 测度模式的划分主要根据被控对象的时间常数大小来进行. 当对象的时间常数较小时, 划分的数目可以少一些; 当对象的时间常数较大时, 则应适当地多划分一些区域. 另外, 当特征状态关联度靠近 -1 时, 控制量变化较大, 特征状态关联度的变化也就较快, 所以该范围的测度模式区间可划得适当大一些. 相反, 在靠近 0 的测度模式的区域则应分得小一些.

为了克服控制量完全取决于特征状态加权向量的问题, 本文采用的控制算法如下:

- 1) 对于测度模式 M_1 , 控制器输出保持不变, 即维持前一时刻的采样值;
- 2) 对于测度模式 M_2 , 控制器输出为:

$$u(t) = y(t)/k + K_{ci} K(s) (-\text{sgn}(e)) + \epsilon.$$

其中, $u(t)$ 为控制器当前时刻的输出; $y(t)$ 为当前时刻被控量的采样值; k 为过程的静态增益; K_{ci} 为第 M_{2i} 个测度模式的控制系数; s 为特征状态; $K(s)$ 为特征状态关联度; $\text{sgn}(e)$ 为偏差的符号函数, 取法如下:

$$\text{sgn}(e) = \begin{cases} 1, & e > 0, \\ 0, & e = 0, \\ -1, & e < 0, \end{cases}$$

ϵ 为小范围修正量, 取法为:

$$\epsilon = \begin{cases} K_l \int_0^t e dt + K_p e, & |e| \leq \delta, \\ 0, & \text{其它}. \end{cases}$$

其中 K_l, K_p 为适当常数, δ 为小正数.

ϵ 的作用是为消除扰动和过程增益 K 的不准确性. K_p, K_I 的取法类似 PID 控制的 K_p 和 K_p/T_i , 但整定的要求不高.

3) 对测度模式 M_3 , 控制器输出取幅值 u_m .

综上所述, 基本可拓控制器输出算法如下:

$$\begin{cases} u(t) = u(t-1), & K(s) \geq 0, \\ u(t) = y(t)/k + K_{ci}K(s)(-\operatorname{sgn}(e)) + \epsilon, & -1 \leq K(s) < 0, \\ u(t) = u_m, & K(s) < -1. \end{cases}$$

3.2 上层可拓控制器

我们对上层可拓控制器也进行了初步的探讨, 并设计了一个简单的上层可拓控制器. 利用它, 使控制器具有了自学习能力. 以下将分模块进行讨论.

1) 过程信息处理.

在过程信息处理中, 采用时间乘误差平方的积分准则——ITSE 以反映过程的控制效果.

2) 可拓决策.

首先建立关于控制效果的可拓集合, 取经典域为

$$R_{op} = (\text{控制效果}, \text{ITSE}, [0, a]).$$

其中 a 为期望的控制效果. 取节域为

$$R_p = (\text{控制效果}, \text{ITSE}, [0, b]).$$

其中, $b = \int_0^{T_s} tr^2 dt$, 其中 T_s 为调节时间; r 为设定值. 至此, 可建立关联函数如下:

$$K(p) = \frac{\rho(p, R_{op})}{d(p, R_{op}, R_p)}.$$

其中, p 为当前控制下过渡过程的 ITSE 指标; $\rho(p, R_{op})$ 为 p 与 R_{op} 的距, $d(p, R_{op}, R_p)$ 为 p 关于 R_{op} 和 R_p 的位置量^[3].

可拓决策为:

a) 当 $K(p) \geq 0$ 时, 选用知识库中知识 a (见本节 3) 知识库)

b) 当 $-1 \leq K(p) < 0$ 时, 选用知识库中知识 b), d), e).

c) 当 $K(p) < -1$ 时, 选用知识库中知识 c).

3) 知识库.

知识库中存放五条知识:

a) 当 $K(p) \geq 0$ 时, 表明控制效果已满足要求, 不需要继续改变测度模式中的控制系数.

b) 当 $-1 \leq K(p) < 0$ 时, 表明控制效果需进一步改进, 应继续改变测度模式中的控制系数.

c) 当 $K(p) < -1$ 时, 表明在选定的控制变量下, 无法使特征状态转变到合格范围, 控制失败. 这时应选用新的控制变量, 同时根据系统安全等方面的要求, 采取相应的动作.

d) 当特征状态在测度模式 $M_{zi} (i = 1, 2, \dots, m)$ 下停留时间过长时, 表明控制量变化太小, 应适当增加该模式中的控制系数, 以加速特征状态的变化.

e) 当本次控制效果 p_i 比上次控制效果 p_0 差时,应取回上次控制所采用的控制系数,同时对关于控制效果的可拓集合中的经典域进行变换:

$$T_x R_{op} = (\text{控制效果}, ITSE, [0, p_0]).$$

4) 数据库.

数据库中存放以下数据:

控制器信息:包括特征模式划分点,特征模式加权向量,测度模式划分点,测度模式中控制系数,控制系数的变化步长,经典域和节域的范围.

4 仿真研究

4.1 线性对象

取对象传递函数为

$$G(s) = \frac{e^{-10s}}{(10s + 1)^4}.$$

图 5,6 分别为控制器初始控制效果和学习终了时的控制效果.表 1 列出了 ITSE 指标的变化过程以及 PID 控制下的 ITSE 指标.

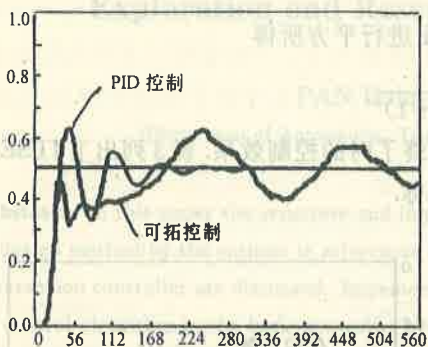


图 5 线性对象仿真结果 1

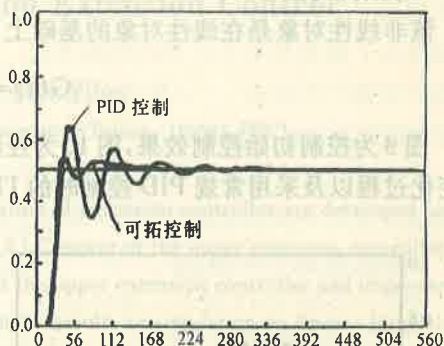


图 6 线性对象仿真结果 2

表 1 线性对象 ITSE 指标变化表

	1	2	3	4	5	6	7	PID
ITSE	1822	392	278	198	157	139	134	192

* 本例以及以下各例中使用的 PID 参数都是经过调整后选取的最佳参数.

4.2 大时延对象

取对象传递函数:

$$G(s) = \frac{e^{-10s}}{(5s + 1)^4}.$$

图 7 和图 8 分别为控制器初始控制效果和学习结束时的控制效果.表 2 列出了历次 ITSE 指标及 PID 控制下的 ITSE 指标.

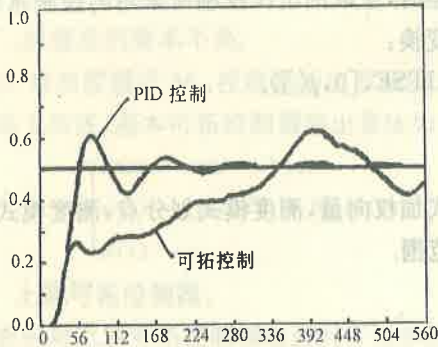


图7 大时延对象仿真结果1

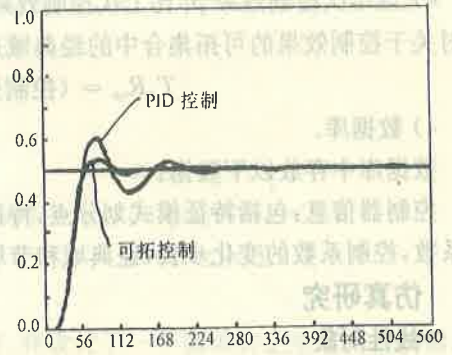


图8 大时延对象仿真结果2

表2 大时延对象 ITSE 指标变化表

	1	2	3	4	PID
ITSE	736	104	78.0	66.4	136

4.3 非线性对象

该非线性对象是在线性对象的基础上,对输出进行平方所得

$$G(s) = \frac{1}{(10s+1)^4}$$

图9为控制初始控制效果,图10为控制学习终了时的控制效果.表3列出了ITSE指标的变化过程以及采用常规PID控制时的ITSE指标.

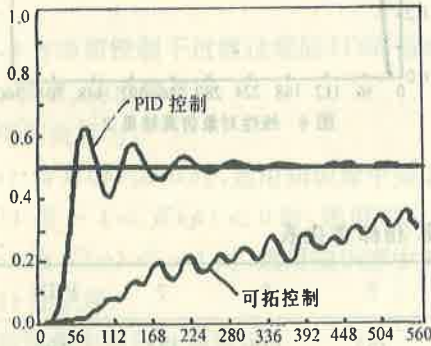


图9 非线性对象仿真结果1

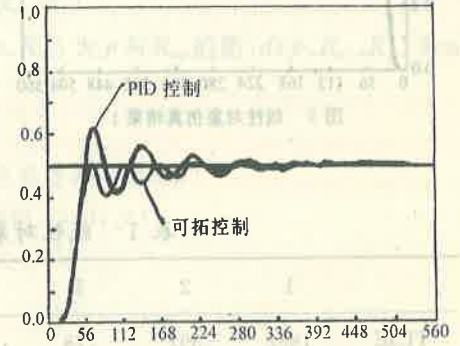


图10 非线性对象结果1

表3 非线性对象 ITSE 指示变化表

	1	2	3	4	PID
ITSE	> 9999	1630	204	179	201

5 结论及展望

从仿真结果来看,可拓控制对线性对象、时延对象都能取得满意的控制效果,但对非线性对象的控制效果尚不理想.可以看出,可拓控制还处于初始研究阶段,还有很多问题需要进一步研究,例如继续改进控制算法,研究特征模式,测度模式划分对控制效果的影响,扩充知识库、数据库,充分利用可拓集合的数学工具等等.

从初步研究表明,可拓控制有良好的控制品质和较好的自学习能力,有较好的发展前景.

参 考 文 献

- [1] Li Jian and Wang Shienyn. Primary Research on Extension Control. Pro. of International Conference on Information and Systems. AMSE 1991, Hangzhou, China, 1991,1: 392-395
- [2] 李健,王行遇.一类可拓控制器的设计.全国智能控制和自适应控制理论与应用研讨会论文集,西安,1993,10,90-97
- [3] 蔡文.物元分析.广州:广东高等教育出版社,1987

Exploration and Research on Extension Control

PAN Dong and JIN Yihui

(Department of Automation, Tsinghua University • Beijing, 100084, PRC)

Abstract: In this paper the structure and implementation of extension controller are developed basing on its design method by the authors in references [1]and[2]. Concept of the upper extension controller and basic extension controller are discussed. Impementation of the upper extension controller and improvement of the control algorithm in the basic controller are developed. Results of simulation on linear, large time - delay and non - linear systems show the extension control is of good performance and prospect.

Key words: extension control; extension set; intelligent control

本文作者简介

潘 东 1971年生.1989年考入清华大学自动化系,1994年获学士学位.1994年至今在清华大学自动化系自动控制理论与应用专业攻读博士学位.

金以慧 1936年生,1959年毕业于清华大学动力机械系,1963年清华大学热工量测及自动化专业研究生毕业.现为清华大学教授.博士生导师,长期从事自动控制理论及应用,生产过程控制等方面的教学科研工作.近年来在国内外发表论文近五十篇,主编《信息、控制与系统》系列教材之一《过程控制》.曾赴波兰讲学.近期研究方向是高等过程控制,工业系统模型化和综合自动化系统.