

连续型推理控制及其在张力伺服系统中的应用

王钦若

李西成

(广东工业大学自动化研究所·广州, 510090) (广州市职工大学·广州, 510075)

摘要: 给出了一种适用于工程常见的二阶对象的连续型推理控制算法, 以及推理控制系统的稳定性和收敛性. 该控制算法简单, 仅有一可调参数 Q , 并成功地应用于薄膜电容器全自动卷绕机中作为快速张力伺服控制, 取得满意效果.

关键词: 推理控制; 伺服控制; 稳定性

Continuous Type of Inferential Control and Its Application to the Tension Servo System

Wang Qinruo

(Automation Institute, Guangdong University of Technology·Guangzhou, 510090, P. R. China)

Li Xicheng

(Guangzhou Staff and Worker's University·Guangzhou, 510075, P. R. China)

Abstract: A continuous type inferential control algorithm and the proof of the stability of the inferential control system are given in this paper. The algorithm which is simple and has only one adjustable parameter Q has been successfully used for the control of the tension of the film in the metallized film capacitor automatic winding machine and we got a satisfactory result.

Key words: inferential control; servo control; stability

1 引言(Introduction)

推理控制 (Inferential Control, or IC) 是由 Blosilow 和 Tong 等人于 1978 年提出来的^[1], 文献 [2] 提出了一种新的推理控制器的设计方法, 它适合于单输入单输出离散系统, 其收敛性、鲁棒性已经得到了证明. 本文在金属化薄膜电容器全自动卷绕机国产化项目中, 根据该机中高速卷绕采用 PID 控制时的张力波动大, 卷绕质量难以达到要求, 因此, 文中旨在导出另一种能用模拟电路实现的快速推理控制, 以期减少张力波动, 提高产品质量.

2 推理控制(Inferential controller)

考虑一连续型单输入单输出系统, 推理控制器的结构如图 1 所示:

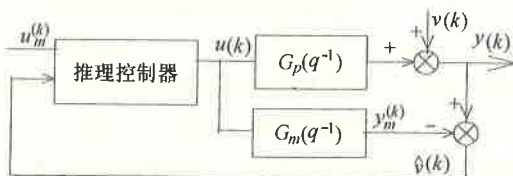


图 1 推理控制系统结构图

Fig. 1 The construction of inferential control

其中, u_m 与 y 分别为系统的给定输入和输出, u 为对象的控制输入, v 和 \hat{v} 分别为对象扰动和扰动估计, y_m 为推理模型的输出, $G(s)$ 和 $G_m(s)$ 分别为对象和推理模型的数学模型. 考虑一类工程常见二阶对象 $G_p(s) = \frac{k'}{s(s+a')}$, ($a' > 0, k' > 0$), 模型 $G_m(s) = \frac{k}{s(s+a)}$ ($a > 0, k > 0$).

定义系统误差:

$$e = u_m - y. \quad (1)$$

干扰估计:

$$\hat{v} = y_m - y. \quad (2)$$

由图 1 得:

$$y_m = G_m u. \quad (3)$$

定义一二次型性能指标:

$$J = \int_0^{\infty} (Qe + se)^2 dt, \quad (0 < Q < 1), \quad (4)$$

其中 Q 为推理控制可调参数, 由 $\min J$, 及式 (1), (2), (3), 并考虑稳定性, 可以得到推理控制:

$$u(s) = \left(\frac{s}{k} + \frac{a''}{k} \right) \{ s\hat{v}(s) + Q[u_m(s) - y(s)] \}, \quad (a'' < a). \quad (5)$$

定义一广义误差:

$$M(s) = s\hat{v}(s) + Q[u_m(s) - y(s)],$$

则式(5)可叙述为:推理控制是对广义误差 $M(s)$ 进行的比例和微分(PD)运算.

3 控制系统的稳定性和稳态误差(The stability and static error of the control system)

由式(5),图1的结构图可表示为如图2所示:

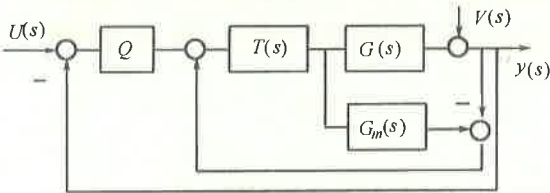


图2 推理控制系统结构图
Fig.2 The block diagram of IC systems

其中, $T(s) = s/k + a''/k$. 由图2可求得:

$$y(s) = \frac{QT(s)G(s)}{1 - sT(s)G_m(s) + sT(s)G(s) + QT(s)G(s)} U_m(s) + \frac{1 - sT(s)G_m(s)}{1 - sT(s)G_m(s) + sT(s)G(s) + QT(s)G(s)} v(s). \quad (6)$$

扰动 $v(s) = 0$ 时,式(6)可整理为:

$$y(s) = \frac{d_2s^2 + d_1s + d_0}{c_3s^3 + c_2s^2 + c_1s + c_0} U_m(s). \quad (7)$$

特征方程为

$$c_3s^3 + c_2s^2 + c_1s + c_0 = 0. \quad (8)$$

其中

$$\begin{aligned} c_3 &= k'/k, \\ c_2 &= a - a'' + (a + a'')k'/k + Qk'/k, \\ c_1 &= aa' - a'a'' + aa''k'/k + Q(a + a'')k'/k, \\ c_0 &= d_0 = Qaa''k'/k, \\ d_1 &= Q(a + a'')k'/k, \\ d_2 &= Qk'/k. \end{aligned}$$

当 $Q > 0, a'' < a$ 时,由劳斯判据可知,系统是稳定的.

阶跃输入时,系统误差传函:

$$E(s) = U_m(s) - y(s) = \frac{c_3s^3 + (c_2 - d_2)s^2 + (c_1 - d_1)s}{c_3s^3 + c_2s^2 + c_1s + c_0} \frac{A}{s}. \quad (9)$$

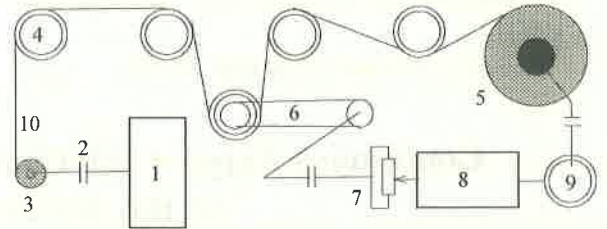
由终值定理,得

$$E(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = 0. \quad (10)$$

因此,当 $1 > Q > 0$ 时,由式(5)构成的推理控制系统是稳定的.阶跃输入时,系统稳态误差为零.

4 推理控制在张力伺服系统中的应用(The application of inferential control to a tension servo system)

在金属化薄膜电容器全自动卷绕机中,每个电容器芯子的卷取是由芯子上的主电机经传动实现高速卷绕,由张力检测,控制直流伺服电动机,带动电容薄膜卷,实现薄膜的恒张力卷绕.电容器卷绕示意图如图3所示:



1—750W变频电机, 2—传动机构, 3—主卷绕芯仔, 4—输送轮, 5—薄膜卷, 6—张力检测臂, 7—张力电位器, 8—张力推理控制器, 9—123W直流伺服电动机, 10—电容薄膜.

图3 薄膜电容器全自动卷绕机张力推理控制系统示意图

Fig.3 The schematic diagram of tension IC system of film capacitor automatic winding machine

经机理建模,考虑送膜膜卷大小随时间变化,薄膜膜卷直径最大为 220 mm,最小 100 mm,忽略电磁时间常数及电枢电阻的影响,张力伺服控制的数学模型为: $G(s) = \frac{k'}{s(s + a')}$,它为时变二阶对象, $k' = 1.81 \sim 3.61, a' = 0.0138 \sim 0.0507$,经实验,选取 $Q = 0.4$,选取推理模型 $G_m(s) = \frac{3.28}{s(s + 0.048)}$,推理控制器 $u(t) = (D * 0.305 + 0.01)\{D\dot{\theta}(t) + Q[u_m(t) - y(t)]\}$.该控制算法易于采用模拟电路实现.

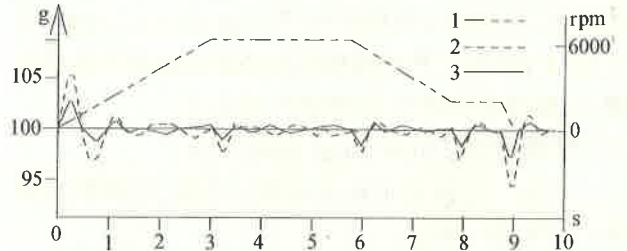


图4 单个电容器卷绕过程张力变化曲线

Fig.4 The tension changes of capacitor winding process

图4给出了单个电容器卷绕过程张力推理控制系统的张力变化曲线.曲线1为主传动速度变化,其最高转速为 6000 rpm,曲线2为PID控制张力变化,曲线3为推理控制时的张力变化.与张力PID控制的比较表明,张力推理控制张力波动幅度比PID控制要小,恒张力卷绕的效果较好.同时,当薄膜膜卷直径变化时,推理控制张力的稳定性较好,即当参数

变化时,推理控制具有较好的鲁棒性.因此,同批电容器的质量和稳定性得到了提高.

5 结语(Conclusion)

连续型推理控制器因其表达式简单,易于用模拟运算放大电路实现,可实现快速控制.该控制器物理意义明确,仅有一可调参数 Q ,易于调试,以及带推理控制的调节系统具有无静差、收敛和鲁棒性较好的特点,适用于二阶稳定带确定性扰动对象的调节控制或伺服控制.但对随机扰动的抑制能力不理想.现已成功应用于金属化薄膜电容器全自动卷绕机中作为薄膜张力伺服控制.

参考文献(References)

- 1 Brosilow C and Tong M. Inferential control of process-part II: the structure and dynamics of inferential control systems. *AIChE Journal*, 1978, 24(3): 492 - 500.
- 2 王钦若,蒋静坪.一种新的推理控制器设计方法. *控制与决策*, 1988, (2): 39 - 40

本文作者简介

王钦若 1958年生.硕士,广东工业大学副教授.主要研究方向为自适应控制,鲁棒控制,推理控制及自动控制系统应用等.

李西成 1953年生.学士.广州市职工大学副教授.主要研究方向为自适应控制,集散控制,推理控制及自动控制系统应用等.

《计算智能信息处理技术及其应用》介绍

王耀南教授编著的《计算智能信息处理及其应用》已由湖南大学出版社 1999 年 6 月出版.该书从信息科学的角度出发,系统地介绍了计算智能信息处理技术的基础理论及各种新的处理方法与技术.全书共分十章,内容包括计算智能信息处理技术综述,模糊计算,模糊信息处理,神经计算,模糊神经网络信息处理,进化计算的基本方法,进化计算的信息处理,混沌与分形计算,混沌与分形信息处理,计算智能信息处理技术在图象识别、压缩,机器人控制,复杂工业过程控制、规划,故障诊断等方面的应用.

该书涉及了目前国内外计算智能信息处理的研究成果,综合了作者近年来的教学心得与科研成果,取材新颖、内容丰富、注重了理论与实践相结合,论述深入浅出,力求使读者较快掌握和应用这门高新技术,是一本很好的“软计算”专著.该书可作为自动化、计算机应用、人工智能、图象处理与模式识别、智能控制与信息处理、电子工程、机械工程、系统工程等专业研究生或高年级本科学生的教材和参考书,也可供有关工程技术人员和科学研究工作者参考.

孙 炜 王 辉 张昌凡

(湖南大学电气与信息工程系)