

文章编号: 1001-2486(2001)05-0112-05

汽车辅助车闸的自适应控制*

潘仲明

(国防科技大学机电工程与自动化学院, 湖南长沙 410073)

摘要 采用 Gauss-Seidel 模型参数调整法,建立了辅助车闸位置控制装置的动态数学模型。在此基础上,运用超稳定理论设计了模型参考自适应位置控制系统,并在基于 MATLAB 软件包的硬件在环系统仿真平台上,进行系统的软、硬件混合仿真研究。试验表明理论仿真结果和系统实时响应吻合。从而,为在复杂环境下控制车速、车距提供了有效的实验技术手段和简捷的系统控制方法。

关键词 车闸 超稳定 自适应 混合仿真

中图分类号 TP273⁺.2 **文献标识码** A

Adaptive Control System for Automotive Braking Aid

PAN Zhong-ming

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract A model of the automotive braking aid presented in this paper is based on Gauss-Seidel algorithm. Based on the model, a hyper-stable model reference adaptive controller for braking aid is designed for automotive collision warning system. All of the study has been carried out on a "Software & Hardware Hybrid Platform for Simulation of Engineering Systems Using Matlab Toolbox/Simulink". The results of software and hardware simulation are quite consistent, which demonstrates the functionality and effectiveness of this system and experimental methodology for controlling the motor-speed and keeping the distance between automobiles under complicated circumstances.

Key words braking-aid; hyperstable; adaptive; hybrid simulation

目前,汽车防碰撞系统的开发,已经成为汽车工业的研究热点^[1],它涉及到许多议题的研究,诸如汽车纵向动力学的建立、路况的监测、车距车速的测量与控制等等,并已经有了一些商品化的研究成果。其中,汽车车闸位置和油门倾角的辅助控制装置,是汽车防碰撞系统中控制车速和车距的两个核心部件。在本研究中^[1],二者均采用电枢控制式直流电机作为驱动机构,与附加的机械装置、传感器共同构成的伺服系统,其作用是能随着路况状态的变化(由车载测量设备监测),自动调节汽车速度,保持车距,以防止发生汽车碰撞。

在车闸位置伺服系统中,要求电机系统能在一二百毫秒内完成各种正反转动作,不能指望在这样短的时间内实现十分复杂的控制算法;此外,系统的工作环境差,且在运行过程中,系统的机械量参数(如等效转动惯量)是时变的,因而,用常规的控制算法(如 PID 控制),无法达到预期的控制目标。对于此类系统,采用超稳定理论设计的模型参考自适应控制方案,则是一种行之有效的办法。它既可以用简单、廉价的模拟器件来实现快速自适应控制算法,又能抑制或消除系统时变参数(缓慢的)和其它外界干扰对系统动态品质的影响。因而,这种控制方法在机电传动系统中得到了广泛应用。

1 系统的构成

在车闸位置和油门倾角(throttle angle)控制装置中,除了控制对象不同外,二者的动态特性是相同的。故此仅介绍应用超稳定理论设计的模型参考自适应车闸位置控制系统。

模型参考自适应车闸位置控制系统的结构如图 1 所示,其中虚线框部分是辅助车闸。自适应控制器由 Simulink 仿真方块图实现。为了能做到这一点,事先必须用 VC++ 语言,编写数据采集与控制卡

* 收稿日期 2001-02-22
作者简介 潘仲明(1959-)男,副教授。

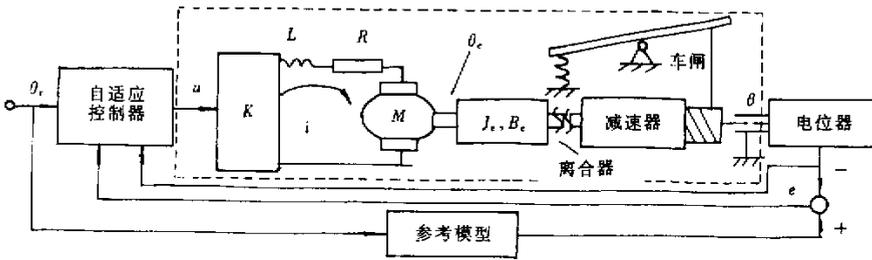


图 1 自适应车闸位置控制系统

Fig.1 Adaptive position control system for automotive brakes

中的 A/D、D/A 转换器”与“ Matlab/Simulink 平台”进行实时通讯的动态连接库程序(mexFunction)²¹ 在 Simulink 平台上增添 A/D、D/A 软硬件集成仿真方块图。同时 将用于测量位置信号的电位器与 A/D 转换器相连 将 D/A 转换器与功率放大器 K 相连 并将 A/D、D/A 仿真方块图连接在自适应控制系统中的适当位置(参见图 3)

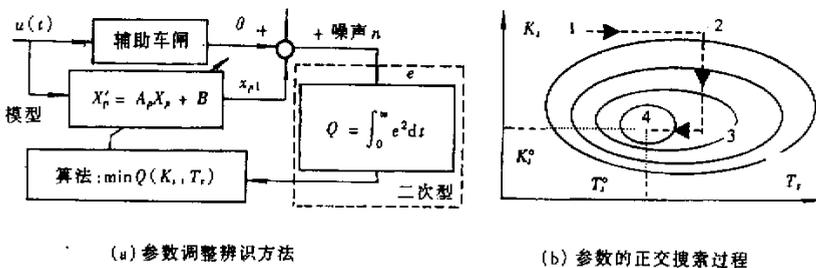
2 系统数学模型与模型参数识别

假设 $X_p^T = [x_{p1} \ x_{p2}] = [\theta \ \dot{\theta}]$ 则图 2 虚线框部分的动力学模型可表示为：

$$X_p' = A_p X_p + B_p u \tag{1}$$

式中 $A_p = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1/T_s \end{bmatrix}$; $B_p = \begin{bmatrix} 0 \\ K_s/T_s \end{bmatrix}$; T_s 、 K_s 分别表示系统的等效时间常数和增益。

为了确定系统的未知参数 采用图 2 所示的系统参数识别方法 进行系统辨识。考虑参数向量 $\psi = [K_s, T_s]^T$ 目标函数 $Q(\psi)$ 的物理意义如图 2(a) 所示。如果参数向量的当前点 ψ_{now} 距局部极小点足够



(a) 参数调整辨识方法

(b) 参数的正交搜索过程

图 2 用 Gauss-Seidel 迭代法辨识汽车辅助车闸参数

Fig.2 Identifying the parameters of automobile braking aids by the Gauss-Seide iterative procedure

近 则目标函数可由一个二次型近似^[3]。沿正交坐标基 $e_k (k=1, 2, \dots)$ 方向进行迭代(如图 2(b) 所示), 搜索极小点 ψ^* 使二次型目标函数 $Q(\psi^*)$ 为最小值 此即为著名的 Gauss-Seidel 迭代法。按这种方法辨识车闸装置(工作区的中间位置)的未知参数 可得 $K_s^* = 1, T_s^* = 0.14$ 秒。软硬件混合仿真表明系统辨识结果与实际情况相当吻合。

3 系统的自适应控制

为了构造模型参考自适应车闸位置控制系统 首先须建立车闸位置控制装置的理想数学模型。在此 与控制对象(1)相对应的理想模型(含位置反馈和因子 λ)可写成

$$\dot{X}_m = A_m X_m + B_m u_m \tag{2}$$

其中,

$$A_m = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\lambda K_s^\circ / T_s^\circ & -1/T_s^\circ \end{bmatrix}, B_m = \begin{bmatrix} 0 \\ \lambda K_s^\circ / T_s^\circ \end{bmatrix}$$

K_s°, T_s° 是相应参数的标称(或估计)值; u_m 表示模型的输入($u_m = u$)

被控对象和参考模型的状态方程(1)和(2)的广义状态偏差定义为

$$e = X_m - X_p \tag{3}$$

若能综合出控制规律,使偏差 e 尽可能小,或最终消除稳态偏差,则称系统是“完全模型跟随”的。

假定 A_m 是稳定的,且 (A_m, B_p) 是完全可控的,则可选择控制规律^[4]

$$u_p = -K_p X_p + K_m X_m + K_u u_m + \Delta K_p(t, e) X_p + \Delta K_u(t, e) u_m \triangleq u_{p1} + u_{p2} \tag{4}$$

式中 u_{p1} 表示右边的前三项,余者由 u_{p2} 表示; K_p, K_m 和 K_u 分别是维数适当的增益矩阵; $\Delta K_p, \Delta K_u$ 是 K_p, K_u 的可调部分,用于自动生成辅助输出 u_{p2} ,以抵消 A_p 和 B_p 发生未知漂移时所带来的影响,这种控制方案如图3所示。

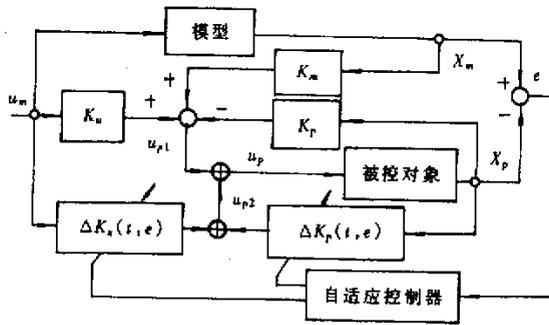


图3 自适应线性模型跟随控制系统

Fig.3 Adaptive following control system of linear model

如果控制器的适应速度要比系统参数的漂移速度快,则被控对象模型中的 A_p 和 B_p 可看作未知的定常矩阵。对(3)式求导,可得到关于广义误差的状态方程:

$$\dot{e} = (A_m - B_p K_m) e + B_p \omega; \eta = C_e e \tag{5}$$

其中 $\omega = [B_p^\dagger (A_m - A_p) + K_m - K_p - \Delta K_p(t, e)] X_p + [B_p^\dagger B_m - K_u - \Delta K_u(t, e)] u_m$

从形式上看,方程组(5)相当于“以 ω 为输入,以 η 为输出,以 e 为状态”的动态系统。根据超稳定性理论, η, ω 必须满足

$$0 \leq \int_0^t \eta^T \omega dt \leq 0$$

并且,方程(5)的传递矩阵

$$G_c(s) = C_e (sI - A_m + B_p K_m)^{-1} B_p \tag{6}$$

必须是严格正实的。从这两个条件出发,可确定 $C_e, \Delta K_p(t, e)$ 和 $\Delta K_u(t, e)$ 。因为 A_p, B_p 是未知的定常矩阵,所以,在综合自适应控制规律 u_p 时,只能取它们的某个标称值 A_p°, B_p° 或估计值。

设 (A_m, B_p°) 是完全可控的,则可适当选择 K_m 使 $(A_m - B_p^\circ K_m)$ 是稳定的。利用正实引理, $G_c(s)$ 为正实函数的充要条件是:存在实正定对称方阵 P 和实正定矩阵 S ,使得

$$(A_m - B_p^\circ K_m)^T P - P (A_m - B_p^\circ K_m) = -S; C_e = (B_p^\circ)^T P \tag{7}$$

任意选定某个正定矩阵 S 后,可求得对称正定矩阵 P 。于是,就可由(7)式来确定 C_e 向量。此外,文献4给出了“完全模型跟随”的一个充分条件:

比例控制和自适应控制规律下跟踪斜坡输入的响应,可以看出,自适应控制器成功地补偿了死区的影响,而比例控制器则不具有这一功能。

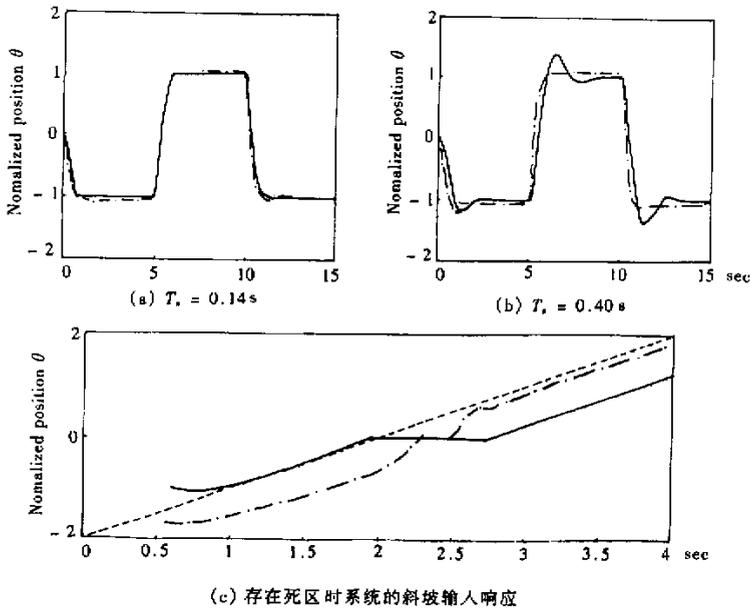


图5 比例控制与自适应控制器的动态响应(——比例控制 - - -自适应控制)

Fig.5 The dynamic responses of P-controller & adaptive controller(——P-control - - -Adaptive control)

试验结果表明,对用常规控制器不能达到满意的控制效果的机电传动系统,用自适应控制器可以提供性能上的改进,而用超稳定性理论设计的自适应系统,可方便地用乘法器、加法器、积分器和滤波器加以实现,无须采用数字控制,这有利于提高系统的实时跟踪性能。

参考文献:

- [1] Ka. C. Cheok, Pan Zhongming etc. Multi-Sensor based Collision Warning System[A]. ISATA, June 19. 1999.
- [2] 潘仲明. 基于 MATLAB 软件包的硬件在环混合仿真平台[J]. 中南工业大学学报, 第 31 卷(中国 2000 机器人学大会论文专集), 2000.10.
- [3] 张智星, 孙春在等. 神经—模糊和软计算[M]. 张平安等译. 西安交通大学出版社, 2000. 93-103.
- [4] 卢桂章. 现代控制理论基础—滤波及适应控制系统[M]. 化学工业出版社, 1982. 232-248.

