

模糊参数自整定PID控制在推土机 自动控制系统中的应用

张琦 冯培恩

(浙江大学·杭州, 310027)

摘要: 本文应用模糊数学理论,以推土机工作装置为对象建立数学模型和试验系统,完成在线PID控制器参数模糊自整定的理论实现、计算机仿真和应用研究,为实现推土机的自动控制提供理论和试验依据。

关键词: 推土机; 自动控制; 模糊控制; PID技术

1 引言

提高工程建筑机械技术性能的有效措施之一是应用现代电子技术、计算机技术、控制技术和传感技术等实现其自动控制和智能控制。为此,首先要选择或研究合适的控制策略,设计实用的控制器。目前,在工业过程控制中应用较多的是PID技术,已取得了较多的成果。但常规的PID控制器不具有在线参数整定功能,当系统误差及其变化率变化较大时难以使PID参数自动满足控制要求,从而影响了控制效果的进一步提高。特别是对于如推土机这一类作业和行驶同时进行,且易受土壤、地形、环境等不确定因素影响的工程建筑机械和车辆,若不能实现在线参数自整定,则将其适用范围及控制能力受到较大限制。

本文以履带式推土机工作装置为研究对象,建立其数学模型和试验系统,设计一种用于调节其推土铲刀切土深度的在线模糊参数自整定PID控制系统,计算机仿真和试验研究表明该系统具有较好的控制品质。

2 控制算法

常规数字式PID控制作用的数学形式为

$$m(k) = K_P e(k) + K_I \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)]. \quad (1)$$

式中, K_P, K_I, K_D 分别为PID控制作用的比例、积分和微分系数。

本文使用增量形式的控制输出时,有

$$\Delta m(k) = m(k) - m(k-1) = K_1 e(k) + K_2 e(k-1) + K_3 e(k-2). \quad (2)$$

式中 $K_1 = K_P + \frac{K_D}{T}; K_2 = K_I T - K_P - \frac{K_D}{T}; K_3 = \frac{K_D}{T};$

T ——采样周期。

对于模糊参数自整定PID控制器,选取偏差绝对值 $|e|$ 及其变化率绝对值 $|\dot{e}|$ 为输入语言变量,记为 E 和 EC 。 E 和 EC 的语言值分别为大(B)、中(M)、小(S)三种,即

$$E = \{B, M, S\}, \quad EC = \{B, M, S\}.$$

语言变量 E 和 EC 各值的隶属函数按实际情况可取线性函数或非线性函数,以利于提高

* 国防科工委“八五”重点攻关项目。

本文于1995年4月20日收到,1996年4月8日收到修改稿。

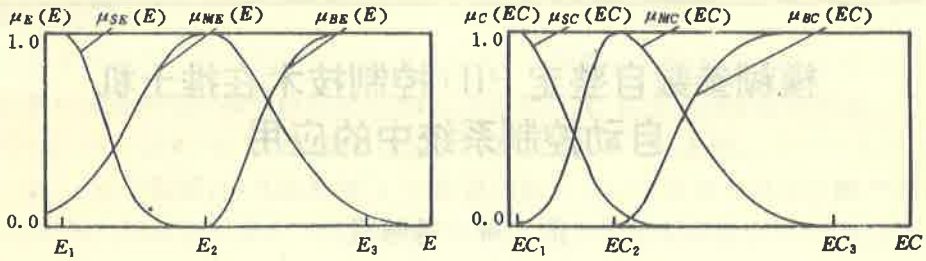


图1 隶属函数曲线

调整精度和节约在线计算时间为目的,本文经试验选所用隶属函数如图1所示,它们的数学形式分别为

$$\mu_{SE}(E) = \begin{cases} 1, & E \leq E_1, \\ \exp\left[-\left(\frac{E - E_1}{b_{e1}}\right)^2\right], & E > E_1, b_{e1} > 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{ME}(E) = \exp\left[-\left(\frac{E - E_2}{b_{e2}}\right)^2\right], \quad b_{e2} > 0, \quad (4)$$

$$\mu_{BE}(E) = \begin{cases} 0, & E \leq E_2, \\ 1 - \exp\left[-\left(\frac{E - E_2}{b_{e3}}\right)^2\right], & E_2 < E < E_3, b_{e3} > 0, \\ 1, & E \geq E_3. \end{cases} \quad (5)$$

和

$$\mu_{SC}(EC) = \begin{cases} 1, & EC \leq EC_1, \\ \exp\left[-\left(\frac{EC - EC_1}{b_{c1}}\right)^2\right], & EC > EC_1, b_{c1} > 0, \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{MC}(EC) = \begin{cases} \exp\left[-\left(\frac{EC - EC_2}{b_{c2}}\right)^2\right], & EC < EC_2, 0 < b_{c2} < b_{c3}, \\ \exp\left[-\left(\frac{EC - EC_2}{b_{c3}}\right)^2\right], & EC > EC_3, b_{c3} > b_{c2}, \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{BC}(EC) = \begin{cases} 0, & EC \leq EC_2, \\ 1 - \exp\left[-\left(\frac{EC - EC_2}{b_{c4}}\right)^2\right], & EC_2 < EC < EC_3, b_{c4} > 0, \\ 1, & EC \geq EC_3. \end{cases} \quad (8)$$

式中, E_i, EC_i, b_{ei} 和 b_{cj} ($i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, 4$) 归一化处理后取值为: $E_1 = 0.05, E_2 = 0.4, E_3 = 0.8; EC_1 = 0.02, EC_2 = 0.27, EC_3 = 0.83; b_{e1} = 0.13, b_{e2} = 0.25, b_{e3} = 0.17, b_{c1} = 0.17, b_{c2} = 0.12, b_{c3} = 0.25, b_{c4} = 0.2$.

考虑到不同 e 和 $\dot{e}$ 对控制器参数的不同要求,组成下列五种组合

1) $E = B$; 2) $E = M, EC = B$; 3) $E = M, EC = M$; 4) $E = M, EC = S$; 5) $E = S$. 相应的隶属度值为:

- 1) $\mu_1(E, EC) = \mu_{BE}(E)$;
- 2) $\mu_2(E, EC) = \mu_{ME}(E) \wedge \mu_{BC}(EC)$;
- 3) $\mu_3(E, EC) = \mu_{ME}(E) \wedge \mu_{MC}(EC)$;
- 4) $\mu_4(E, EC) = \mu_{ME}(E) \wedge \mu_{SC}(EC)$;

$$5) \mu_5(E, EC) = \mu_{SE}(E).$$

由此, 根据系统采样的 e 和 $\dot{e}$, 按下列参数整定函数得到控制器参数

$$K_P = f_1(E, EC) = \frac{\sum_{j=1}^5 \mu_j(E, EC) K_{Pj}}{\sum_{j=1}^5 \mu_j(E, EC)}, \quad (9)$$

$$K_I = f_2(E, EC) = \frac{\sum_{j=1}^5 \mu_j(E, EC) K_{Ij}}{\sum_{j=1}^5 \mu_j(E, EC)}, \quad (10)$$

$$K_D = f_3(E, EC) = \frac{\sum_{j=1}^5 \mu_j(E, EC) K_{Dj}}{\sum_{j=1}^5 \mu_j(E, EC)}, \quad (11)$$

式中, K_{ij} 为参数 K_i 在五种组合时的加权, 有

$$K_{ij} = \begin{bmatrix} K'_{P1} & K'_{P2} & K'_{P3} & K'_{P4} & K'_{P5} \\ K'_{I1} & K'_{I2} & K'_{I3} & K'_{I4} & K'_{I5} \\ K'_{D1} & K'_{D2} & K'_{D3} & K'_{D4} & K'_{D5} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

$K_{ij} (i = 1, 2, 3 = P, I, D; j = 1, 2, 3, 4, 5)$ 为在不同组合时应用常规 PID 参数整定方法获得的 K_P, K_I 和 K_D 值.

由此, 建立了 PID 控制器参数 K_P, K_I, K_D 与偏差 e 及其变化率 $\dot{e}$ 之间的模糊函数关系, 应用此函数即可实现 PID 参数的模糊在线自整定.

3 系统模型

推土机工作装置模糊参数自整定 PID 控制系统的基本原理如图 2 所示. 被控系统是一个

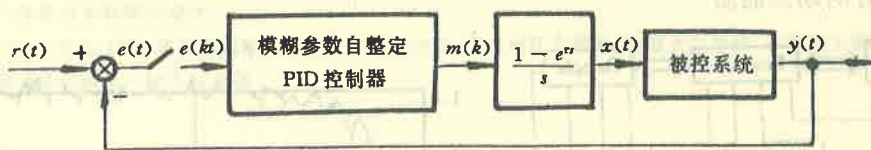


图 2 控制系统原理

阀控缸的比例液压系统, 其状态方程和输出方程为

$$\dot{X} = AX + Bu, \quad (13)$$

$$Y = Cu. \quad (14)$$

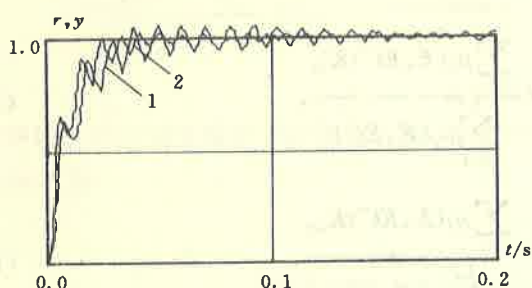
式中, $X = (y_x, \dot{y}_x, \ddot{y}_x, y_f, \dot{y}_f, \ddot{y}_f)^T$ ——状态变量; $u = (x, f)^T$ ——输入变量; A —— 6×6 阶的系数矩阵; B —— 6×2 阶的输入矩阵; C —— 1×6 阶的输出矩阵; x, f ——被控制系统的给定输入和干扰输入; y_x, y_f ——被控系统在给定输入和干扰输入下的输出.

4 仿真试验

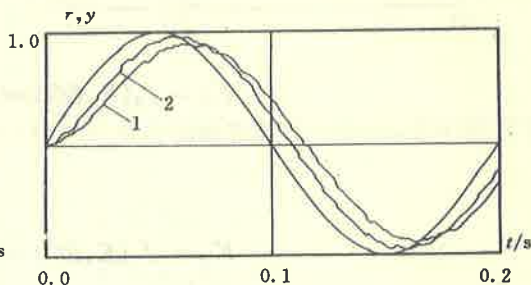
为了考察模糊参数自定算法在 PID 控制系统中的有效性和适应性, 根据前述被控系统数学模型进行参数在线自整定控制的仿真试验. 仿真试验时的参数整定按前述模糊整定算法进行. 参数整定用于对加权矩阵 K_{ij} 的参数计算. 其目标函数为:

$$J_i = \sum_{j=1}^N e_j^2. \quad (15)$$

被控系统的仿真根据数学模型采用全区间积分的定步长龙格——库塔法计算. 仿真结果如图3所示, 输入信号分别为阶跃函数和正弦函数. 图中, 曲线1和曲线2分别为离线和在线整定时的系统响应.



(a) 系统阶跃响应



(b) 系统正弦响应

图3 控制系统仿真结果

由图3可见, 经过参数在线自整定的PID控制系统具有较快的响应速度和较小的超调量, 过渡过程时间相应较小. 显然, PID参数的在线自整定提高了控制系统的适应能力和鲁棒特性, 改善了系统的动态品质. 当时变参数和非线性因素较大时, 效果更好, 因为PID参数的在线整定作用有效地抑制了随机干扰以及大范围随机特征参数变化对系统的不利影响, 能确保系统以满意的精度沿希望的轨道运行.

5 应用系统

应用本文控制策略设计的控制器已在1/4几何相似和运动相似的推土机工作装置试验台上实现. 该系统的结构原理如图4所示, 图5是其试验结果.

试验结果表明该控制系统运行平稳、工作可靠, 在外部负载及环境条件有较大变化时, 也能取得较好的动态品质.

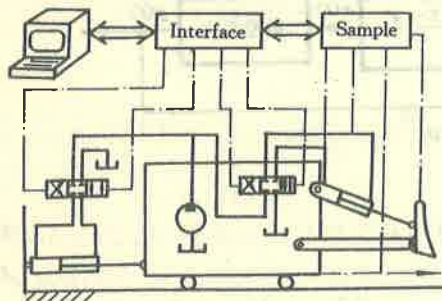


图4 试验系统结构原理

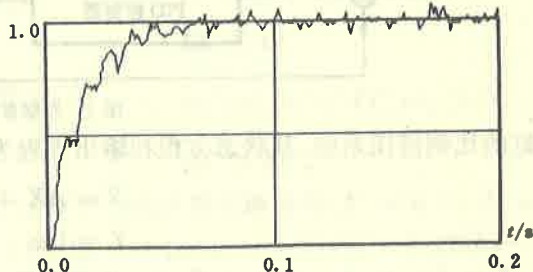


图5 试验系统响应

6 结论

本文的研究表明, 应用计算机PID技术实现推土机工作装置的自动控制是可行的, PID控制器参数的在线模糊自整定对进一步抑制干扰和噪声、提高控制品质是有效的. 特别是这种模糊整定技术, 可使整定算法大为简化, 所需的控制计算时间短, 能够满足实时控制的要求.

参 考 文 献

- 1 李友善,李军. 模糊控制理论及其在过程控制中的应用. 北京:国防工业出版社,1993
- 2 山本,茂. D375 自动化ラジソブルドーグ. 建设机械,1994,6:55—63
- 3 Predrycz, W. . Fuzzy Control and Fuzzy System. England: Research Studios Press Ltd, 1989
- 4 Orteg, R. and Kelly, R. . PID Self-Tuners: Some Theoretical and Practical Aspects. IEEE Trans. Industrial Electronics, IE-31, 1984, 4(11): 332—340
- 5 Zhang Qi and Feng Peien. Depth Control for Mouldboard of Tracked Bulldozer. ATEMB 1994, 25—27
- 6 冯培恩,张琦. 推土机工作装置参数自寻优 PID 控制系统研究. 建设机械, 1995, 11: 35—38

Application of PID Control Technique Based on Parameter Fuzzy Self-Modify in Dozer Control System

ZHANG Qi and FENG Peien

(Zhejiang University · Hangzhou, 310027, PRC)

Abstract: This paper represents the application of the fuzzy mathematics in dealing with the mathematical model of the dozer implement, performs the investigation of the theoretic method, computer simulation and tests on the on-line fuzzy self-modify of the PID parameters. Some results of the computer simulation and tests are given. Then it provides the theoretic and applied basis for the real-time automatical control of dozer.

Key words: dozer; automatical control; fuzzy control; PID control

本文作者简介

张 琦 1958 年生. 1985 年毕业于华南工学院, 并获硕士学位, 现为工程兵工程学院教授. 目前的研究方向是流体传动与控制、机电一体化技术和现代设计.

冯培恩 1943 年生. 1985 年获德国柏林工业大学博士学位. 现为浙江大学教授, 博士生导师. 目前的主要研究方向是智能控制, 设计自动化和机电一体化技术等.