

一种使用低阶参考模型的 MRACS 的设计方法及其在液压伺服系统上的试验

吴士昌 臧瀛芝 方 敏

(东北重型机械学院自动控制系, 齐齐哈尔)

摘 要

本文提出一种高阶被控对象跟随低阶参考模型的模型参考自适应控制系统 (MRACS) 的设计方法, 系统具有较为简单的结构。在四辊冷轧机液压弯辊伺服系统上的试验表明, 将液压伺服系统当作二阶处理, 跟随一阶参考模型, 获得了较好的跟随效果。

一、使用低阶参考模型的 MRACS 设计方法

被控对象的方程为

$$D_p(p)y_p(t) = N_p(p)u(t), \quad (1)$$

其中,

$$D_p(p) = p^n + \sum_{i=0}^{n-1} \alpha_i p^i,$$

$$N_p(p) = \sum_{i=0}^m \beta_i p^i, \quad m \leq n-1.$$

$p = \frac{d}{dt}$ 表示微分算子, $y_p(t)$ 是被控对象的输出, $u(t)$ 是控制输入, $N_p(p)$ 是 Hurwitz 多项式, 保证对象是最小相位系统, α_i 、 β_i 均为未知常数或者慢时变参数。低阶参考模型的方程为

$$D_m(p)y_m(t) = b_0 N_m(p)r(t), \quad (2)$$

其中,

$$D_m(p) = p^{n-h} + \sum_{i=0}^{n-h-1} a_i p^i,$$

$$N_m(p) = \sum_{i=1}^{m_1} b_i p^i + 1, \quad m_1 \leq n-h-1.$$

h 是被控对象与参考模型的阶数差, $y_m(t)$ 是参考模型的输出, $r(t)$ 是系统的参考输入, 为有界的分段连续的时间函数。 $D_m(p)$ 是 Hurwitz 多项式, a_i ($i=0, \dots, n-h-1$)、

$b_i (i=0, \dots, m_1)$ 为已知常数, 根据被控对象所要达到的性能指标确定.

取状态滤波器 $1/N_f(p)$ 和 $1/N_h(p)$,

其中,

$$N_f(p) = \sum_{i=1}^{n-h-1} f_i p^i + 1, \quad (3)$$

$$N_h(p) = p^h + \sum_{i=0}^{h-1} c_i p^i, \quad (4)$$

$c_i (i=0, \dots, h-1)$, $f_i (i=1, \dots, n-h-1)$ 为任意正常数, $N_f(p)$ 和 $N_h(p)$ 都是 Hurwitz 多项式.

将 (1) 式两边同乘 $1/N_h(p)$, 有

$$D_p^*(p) y_p(t) = \frac{N_p(p)}{N_h(p)} u(t) - \frac{F(p)}{N_h(p)} y_p(t), \quad (5)$$

式中, $D_p^*(p) = p^{n-h} + \sum_{i=0}^{n-h-1} \alpha_i^* p^i$, $F(p) = \sum_{i=0}^{h-1} \gamma_i p^i$.

α_i^* 和 γ_i 都是与 α_i 、 c_i 有关的未知常数或慢时变参数.

取控制输入 $u = \frac{N_m(p)}{N_f(p)} r - u_1$, (6)

(6) 式改写为 $r = \frac{N_f(p)}{N_m(p)} (u + u_1)$. (7)

定义输出误差 $e(t) = y_m(t) - y_p(t)$. (8)

(2) 式减 (5) 式, 再考虑 (8) 式, 有

$$D_m(p)e = [D_p^*(p) - D_m(p)]y_p + \frac{F(p)}{N_h(p)}y_p + b_0 N_m(p)r - \frac{N_p(p)}{N_h(p)}u. \quad (9)$$

(7) 代入 (9)

$$D_m(p)e = [D_p^*(p) - D_m(p)]y_p + \frac{F(p)}{N_h(p)}y_p + [b_0 N_f(p) - \frac{N_p(p)}{N_h(p)}]u + b_0 N_f(p)u_1. \quad (10)$$

(10) 式两边同乘 $1/N_f(p)$, 再令

$$\left. \begin{aligned} e_f &= e/N_f(p), & u_{fh} &= u/N_f(p)N_h(p), \\ y_{pf} &= y_p/N_f(p), & y_{pfh} &= y_{pf}/N_h(p), \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

有 $D_m(p)e_f = [D_p^*(p) - D_m(p)]y_{pf} + F(p)y_{pfh} + [b_0 N_h(p)N_f(p) - N_p(p)]u_{fh} + b_0 u_1$. (12)

定义广义误差 $v = \frac{D(p)}{N_f(p)} e$, (13)

2期

其中, $D(p) = \sum_{i=0}^{n-h-1} d_i p^i$ 是线性补偿器, 系数 $d_i (i=0, \dots, n-h-1)$ 将由严格正实条件确定。

将(13)代入(12), 得

$$v = \frac{D(p)}{D_m(p)} \{ [D_p^*(p) - D_m(p)] y_{pf} + F(p) y_{pfh} + [b_0 N_h(p) N_f(p) - N_p(p)] u_{fh} + b_0 u_1 \}. \quad (14)$$

令

$$u_1 = K(p) y_{pf} + Q(p) y_{pfh} + G(p) u_{fh}, \quad (15)$$

其中,

$$\left. \begin{aligned} K(p) &= \sum_{i=0}^{n-h-1} K_i p^i, \\ Q(p) &= \sum_{i=0}^{h-1} q_i p^i, \\ G(p) &= \sum_{i=0}^{n-1} g_i p^i, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

$K_i (i=0, \dots, n-h-1)$ 、 $q_i (i=0, \dots, h-1)$ 、 $g_i (i=0, \dots, n-1)$ 是被调参数。

(15)代入(14), 得到自适应控制系统的广义误差方程:

$$v = \frac{D(p)}{D_m(p)} \{ [D_p^*(p) - D_m(p) + b_0 K(p)] y_{pf} + [F(p) + b_0 Q(p)] y_{pfh} + [b_0 N_h(p) N_f(p) - N_p(p) + b_0 G(p)] u_{fh} \}. \quad (17)$$

应用Popov超稳定定理^[1], 当满足下面的条件时, 自适应控制系统是全局渐近超稳定的:

(1) 传递函数 $D(s)/D_m(s)$ 是严格正实的;

(2) 比例加积分自适应律为

$$\frac{d}{dt} K_i = -k_{i1} v p^i y_{pf} - k_{i2} \frac{d}{dt} (v p^i y_{pf}), \quad i=0, \dots, n-h-1, \quad (18)$$

$$\frac{d}{dt} q_i = -q_{i1} v p^i y_{pfh} - q_{i2} \frac{d}{dt} (v p^i y_{pfh}), \quad i=0, \dots, h-1, \quad (19)$$

$$\frac{d}{dt} g_i = -g_{i1} v p^i u_{fh} - g_{i2} \frac{d}{dt} (v p^i u_{fh}), \quad i=0, \dots, m. \quad (20)$$

线性反馈环的增益为

$$g_i = -l_i \quad i=m+1, \dots, n-1, \quad (21)$$

其中, l_i 是多项式 $N_f(p)N_h(p)$ 的 p^i 项系数, k_{i1} 、 k_{i2} 、 q_{i1} 、 q_{i2} 、 g_{i1} 、 g_{i2} 均为大于零的常数。

由(15)、(16)、(18)~(21)式可求得 u_1 ,

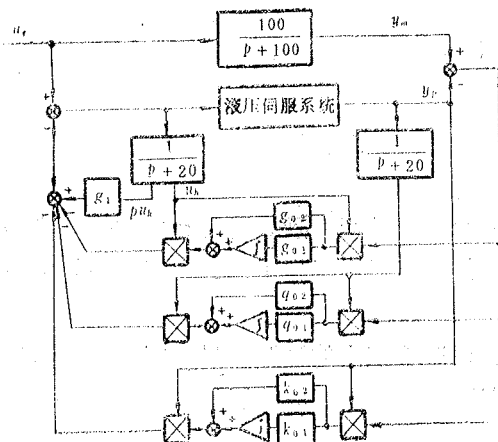
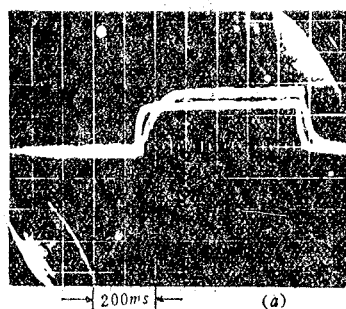
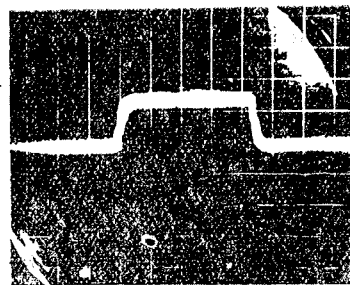


图 3 使用一阶参考模型的自适应控制液压伺服系统实现框图

图4是给定阶跃信号时参考模型和压力传感器的输出, $u_r = 0.83v$ 。图4(a)是未加自适应环的情况;图4(b)是加自适应环的情况。



(a)

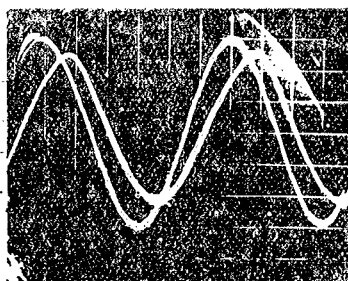


(b)

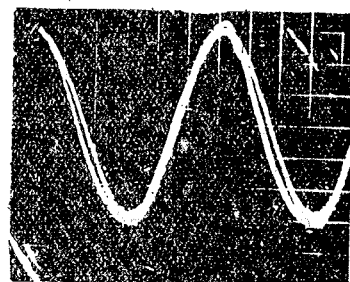
(a) 未加自适应环

(b) 加自适应环

图 4 给定阶跃信号时参考模型和压力传感器的输出曲线



(a)



(b)

(a) 未加自适应环

(b) 加自适应环

图 5 给定正弦信号时参考模型和压力传感器的输出曲线

图 5 是 $u_r = 0.44 + 0.43\sqrt{2} \sin 5 \times 2\pi t$ 时, 参考模型和压力传感器的输出图. 5(a) 是未加自适应环; 图 5(b) 是加自适应环的情况.

三、结 论

本文提出的方案使用低阶参考模型, 且只需要 $n+m+1$ 个参数自适应环和 $n-m-1$ 个线性反馈环. 线性反馈环起局部正反馈作用, 避免了使用辅助信号或微分器. 因而结构简单, 易于实现.

在四辊冷轧机液压弯辊伺服系统上的试验结果表明, 所采用的方案是可行的. 在被控对象先验知识不足的情况下获得了较好的控制效果.

参 考 文 献

- (1) Landau, I. D., Adaptive Control—the Model Reference Approach, Marcel Dekker, New York, (1979).
- (2) 王益群, 四辊冷轧机弯辊液压伺服控制系统的研究, 东北重型机械学院学报, 4, (1984).

A Method of MRACS Using the Lower Reference Model and Test on the Hydraulic Servo-mechanism

Wu Shichang, Zang Yingzhi, Fang Min

(Department of Automatic Control, North-east Heavy Machinery
Institute, Qiqihaer)

Abstract

A method of Model Reference Adaptive Control System (MRACS) making the higher order controlled plant to follow the lower order reference model is presented. The structure of the system is relatively simple. The test on the hydraulic servo-mechanism shows that when the hydraulic servo-mechanism is approximated by a second-order system following a first-order reference model, the following result is fairly good.