

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.12.023

# 一种提高伺服系统快速响应能力的控制算法

彭世忠<sup>1</sup>, 周彦江<sup>2</sup>, 崔立辉<sup>1</sup>

(1. 军械工程学院 研究生院, 河北 石家庄 050003; 2. 军械工程学院 地炮教研室, 河北 石家庄 050003)

**摘要:** 为了提高某型伺服系统的快速响应能力, 对传统的PID控制算法进行改进。在系统地研究线性PID和非线性PID控制方法的基础上, 针对工作中的被控对象控制问题, 设计一种采用分段控制、前馈控制的复合控制策略, 取得了良好的控制效果。实验结果证明, 该算法使伺服系统的调节时间更短, 响应速度更快。

**关键词:** 控制算法; 分段控制; 前馈控制; 复合控制

**中图分类号:** TP301.6; TP273 **文献标识码:** A

## A Control Algorithm to Improve Rapid Response Capabilities of Servo System

Peng Shizhong<sup>1</sup>, Zhou Yanjiang<sup>2</sup>, Cui lihui<sup>1</sup>

(1. College of Graduate, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;

2. Staff Room of Ground Artillery, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** To improve the rapid response capabilities of servo system, it is necessary to improve the PID control algorithm. On the basis of systematic study of a linear or nonlinear PID control algorithm, a new control algorithm is designed to work on the basis of actual object. The new control algorithm is multiplexed control algorithm using feed-forward control algorithm and step control algorithm. The experiments prove that the new control method decrease the response time of servo system and improve the rapid response capabilities of servo system.

**Keywords:** control algorithm; step control; feed-forward control; multiplexed control

### 0 引言

提高伺服系统的快速响应能力是人们一直追求的目标。传统的控制算法如PID算法虽然设计和调试简单, 但是存在一些固有的缺点, 如易出现超调, 容易受到误差信号的干扰, 不能达到最优控制等。尤其是纯线性的PID控制器由于其自身存在快速性与稳态性之间的矛盾<sup>[1]</sup>, 当对系统的动态特性要求不高时, 可以找到一组折中的固定增益参数来作为线性PID调节器的参数。但如果对系统动态特性要求相对较高时, 常规的线性PID调节器就很难达到设计要求。

从某伺服系统的调试结果来看, 采用单纯的PID算法, 在大调转时, 要么增大系统的比例增益时使系统的响应时间能满足要求, 但是出现了系统技术指标不能接受的超调量; 降低系统的比例增益时系统不出现超调量, 但是系统的响应时间不能满足要求。另外, 系统要求较高的等速跟踪精度和对加速度信号的跟踪精度, 在上述输入信号下传统的PID算法无法保证跟踪精度。

近年来, 很多学者提出了利用非线性特性来改进传统的PID, 出现了各种非线性PID控制器<sup>[2]</sup>。故针对实际的控制对象和技术要求, 对控制算法进

行了改进。

### 1 传统PID算法

图1即为线性PID算法的结构示意图。其中,  $r(t)$ 为输入,  $y(t)$ 为输出, 偏差  $e(t) = r(t) - y(t)$ ,  $u(t)$ 为控制量, 它是  $e(t), e(t)dt$  及  $de(t)/dt$  三者的线性组合:  $u(t) = K_p \times e(t) + K_i \times \int e(t)dt + K_d \times de(t)/dt$ 。

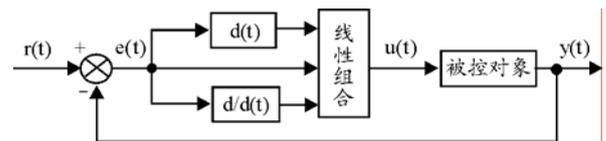


图1 线性PID算法的结构示意图

经典PID算法通过合理调整误差信号的比例, 微分、积分增益大小来对系统实施有效控制。在设计中增大比例调节量能提高响应速度, 减小稳态误差, 但过大又会导致超调和振荡, 使系统的稳定性变差。加入微分量, 可抑制超调, 但又会使系统响应速度变慢, 而且微分容易将干扰放大, 不利于系统的稳定性。大的积分增益有利于消除稳态误差, 但会使系统过渡过程变长。

### 2 改进后的控制算法

#### 2.1 改进后控制算法的结构

改进后的控制算法的结构见图2。

收稿日期: 2010-07-13; 修回日期: 2010-08-20

作者简介: 彭世忠 (1976-), 男, 重庆人, 学士, 工程师, 从事火炮制造研究。

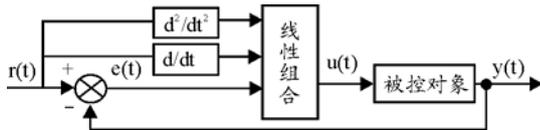


图 2 改进后的控制算法结构图

其中改进较大的地方有: 引入给定量  $r(t)$  的速度信号和加速度信号, 采用前馈补偿; 在控制策略上改变单一的 PID 算法, 采用分段算法。

### 2.2 改进后的控制算法的特点

作为控制的跟踪和控制, 伺服系统往往不希望出现超调和振荡, 以避免造成位置控制精度下降<sup>[3]</sup>。因此, 位置控制器采用比例调节器, 即取消积分环节和微分环节。取消积分环节减少了系统的过渡过程时间, 提高了系统的快速性; 取消微分环节, 就消除了微分环节对随机干扰信号的放大。单纯的比例控制算法在阶跃信号作用下容易出现大超调。为保证系统不出现大的超调量, 采用复合控制的控制方法, 即当系统误差在一定范围内时减小控制量, 当系统处于小误差时才进入比例控制算法, 这样就能有效减小系统的超调量。为保证对等速信号的跟踪精度和对加速度信号的跟踪精度, 采用前馈的方式来补偿对速度输入和加速度输入的跟踪误差。加入前馈控制, 理论上对跟踪误差可以全补偿, 但考虑器件特性变化的影响, 以避免伺服系统加、减速过程中的速度超调, 一般前馈控制设计在欠补偿状态<sup>[4]</sup>。图 3 是有前馈补偿和无前馈补偿的对比试验结果, 实验表明采用前馈补偿有利于提高等速跟踪精度。对于加速度前馈补偿则有利于提高给定为正弦信号的跟踪精度

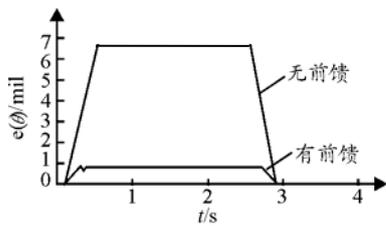


图 3 位置跟踪误差曲线

在伺服系统中, 将伺服控制分段进行, 可以达到良好的技术指标<sup>[5]</sup>。具体方法为: 在控制时依据误差角的大小, 将系统划分为 3 个区域。第一个区域是控制算法的线性区, 第二个区域为角等加速度区, 第三个区域为 Bang-Bang 区。在以往的伺服系统中, 只有线性区和 Bang-Bang 区。大误差角调转时, 由 Bang-Bang 区直接进入线性区。这样使系统在大误差角调转时速度很高。由于受控对象的惯量很大, 到小误差时必然冲过头即超调量很大, 振荡

多次系统才能停止, 过渡过程时间较长。在设置了等加速区后, 系统在大误差角时即第三区域进行 Bang-Bang 控制; 当误差角进入第二区域时以等角加速度减速; 当误差角进入第一区域时, 角速度就不大了, 因此超调量很小, 振荡次数很少, 过渡过程时间减少了<sup>[6]</sup>。

综上所述, 采用改进后的控制算法, 可以有效提高等速跟踪精度和正弦跟踪精度、减小超调量、减少振荡次数、减少过渡过程时间。

### 2.3 试验数据和图表

经过改进后的控制算法在实际模拟台架上进行试验验证, 取得了良好的效果, 在动态响应时间及跟踪精度方面效果明显, 具体响应曲线及误差曲线如图 4~图 6。

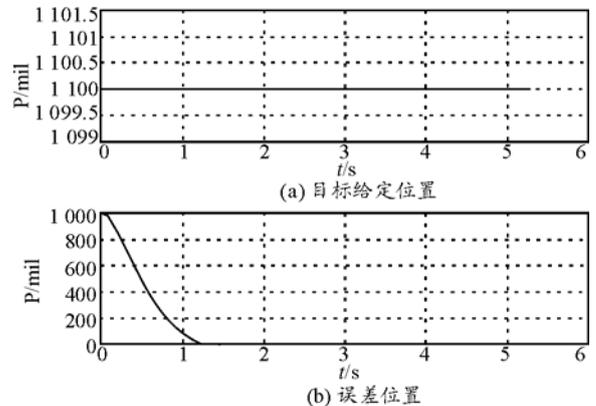


图 4 阶跃输入响应误差曲线

由图 4 可知, 系统无超调, 过渡过程时间满足指标要求。

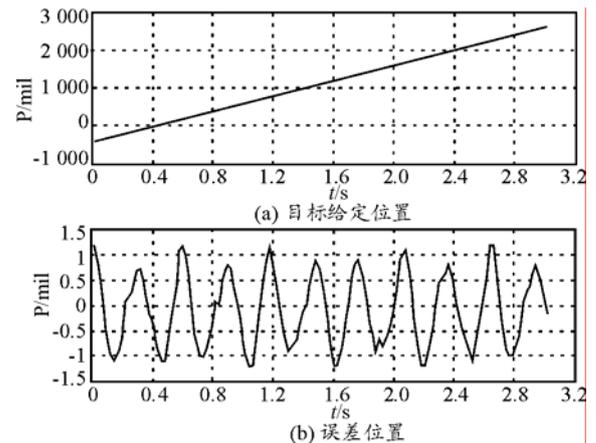


图 5 等速跟踪输入误差曲线

由图 5 可知, 系统的最大误差和均方差均能满足系统指标要求。

由图 6 可知, 系统最大误差和均方差均能满足系统指标要求。

以上试验曲线充分验证了该算法的有效性, 可大大提高伺服系统的性能指标。

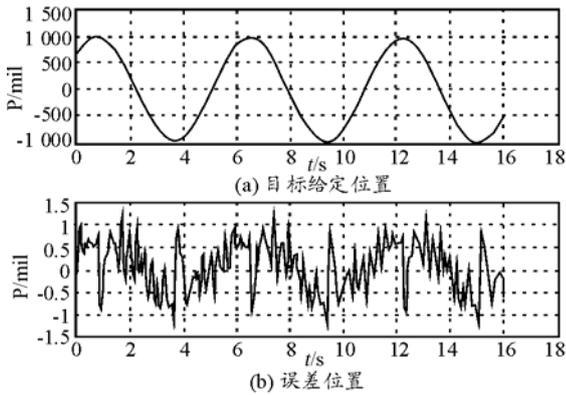


图 6 正弦输入响应误差曲线

### 3 结束语

试验结果表明，在经典 PID 算法无法满足系统指标要求的情况下，改进的控制算法很好地满足了系统的技术指标要求，系统响应速度较高，控制精度较好。由于采用了时间最优控制方法，该算法对惯量大、要求快速反应、和较小稳态误差的伺服系统有效。但是该算法在小惯量或者对反应时间要求不高而只要求高稳定精度的伺服系统中，相比其他算法并无明显优势。该算法在实际应用时需要整定的控制参数相对于传统的 PID 算法要多，整定控制参数耗时较长。另外该算法的控制参数大都依赖于控制对象的特性，故控制系统的鲁棒性较传统的 PID 算法差。鉴于上述情况，下一步将对控制参数快速整定、如何提高控制算法的鲁棒性等方面的问题进行进一步的研究。

### 参考文献：

[1] 张勇涛. PID 算式及算法改进的有关问题探讨[J]. 唐山工程技术学院学报, 1992(1): 45-49.  
 [2] CALAMAL P.H. Projected gradient methods for linearly constrained problems[J]. Math Programming, 1987, 39: 93-116.  
 [3] 徐承忠. 高精度数字伺服系统[M]. 武汉: 华东工学院, 1991.  
 [4] 耿艳峰. 精密数字伺服系统控制算法与控制精度的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学硕士论文, 1994.  
 [5] 李红卫. 高精度数字随动系统设计[J]. 电光系统, 2008, 1(2): 21-23.  
 [6] 胡佑德. 伺服系统原理与设计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1995.

\*\*\*\*\*

(上接第 74 页)

使用户操作傻瓜化，也能方便地进行缝纫花样文件的编制、管理、外部数据交换，以及系统参数的设置。下位机软件基于 DSP 强大的数字处理能力，对主轴和 3 个进给轴进行实时运动控制，同时完成花样机所需的 I/O 辅助控制。上下位机通过 RS232 通

信方式交换数据和信息；主机传向从机的信息有：控制指令、用户参数、系统参数、缝纫数据等；从机传向主机的信息有：坐标数据、状态信息、开关信号、报警信号等。整个软件的模块主要分为 9 个部分：系统总体调度模块、核心算法模块、示教编程模块、缝制数据修改与维护模块、运动控制模块、用户界面管理模块、缝制数据组合与维护模块、参数设置与管理模块、系统诊断与故障报告模块。

### 3.2 系统软件流程（如图 5）

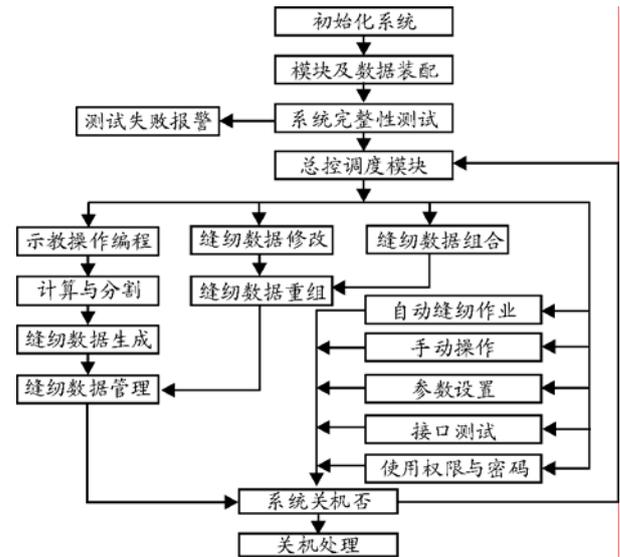


图 5 系统软件流程

### 4 结语

该控制系统具有开放性好、控制精度高、速度快、功能丰富、操作方便、运行稳定、成本低等优点，各项指标完全满足设计要求，其产品已在国内骨干工业缝纫机生产企业推广应用，市场前景非常广阔。同时，该研究成果为特种工业缝纫机的智能化控制提供了一个通用的开发平台，只需对软硬件进行简单的裁剪与定制，就能迅速开发出其他新型号的产品。

### 参考文献：

[1] 王黎明. ARM9 嵌入式系统开发与实践[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.  
 [2] 刘向东. DSP 技术原理与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.  
 [3] 刘明章. 基于 FPGA 的嵌入式系统设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.  
 [4] S3C2440A 32-BIT CMOS MICROCONTROLLER USER'S MANUAL. PDF.  
 [5] TMS320LF2407A DATABOOK. PDF.  
 [6] A3P400 DATABOOK. PDF.