

# 近红外光谱干涉仪高精度运动控制器设计

王丽卿

(潍坊职业学院 机电工程系, 山东 潍坊 261031)

**摘要:** 介绍一种以 DSP TM320VC5402 为核心的近红外光谱干涉仪中的音圈电机数字闭环控制方法。采用增量式数字 PID 控制策略, 实现音圈电机匀速运动控制。该系统通过实验验证, 达到速度偏差为满量程小于 0.5% 的控制精度要求, 能够满足近红外光谱干涉仪动镜的精确匀速运动控制要求。

**关键词:** 光谱干涉仪; 运动控制器; 音圈电机

中图分类号: TP13

文献标识码: A

## Design of near infrared spectrum interferometer high-accuracy motion controller

WANG Li Qing

(Department of Mechanical and Electrical Engineering, Weifang Vocational College, Weifang 261031, China)

**Abstract:** This paper introduces a controlling method of electrical machinery in sound figure close ring, in middle of near infrared spectrum interferometer machinery, taking DSP TM320VC5402 as the core, adopts the strategy of increasing digital PID control, and realizes the electrical machinery in sound is controlled by the uniform motion. By system experiments, pace deviation has been less than 0.5% of the control precision require for full span, and this system can meet the interferometer accurate uniform motion control request of moving the mirror of near infrared spectrum.

**Key words:** Interferometer of the spectrum; motion controller; electrical machinery in sound

现代近红外光谱分析技术是将光谱测量技术、计算机技术、化学计量学技术与基础测试技术有机结合的综合性测试技术。该技术是将近红外光谱所反映的样品基团、组成或物态信息与用标准或认可的参比方法测得的组成或性质数据采用化学计量学技术建立校正模型, 然后通过对未知样品光谱的测定, 建立校正模型, 以快速预测其组成或性质的一种分析方法<sup>[1]</sup>。

与常规分析技术不同, 近红外光谱是一种间接分析技术, 必须通过建立校正模型(标定模型)来实现对未知样品的定性或定量分析。具体的分析过程主要包括以下几个步骤:

- (1) 选择有代表性的样品, 并测量其近红外光谱;
- (2) 使用标准或认可的参考方法测定所关心的组分或性质数据;
- (3) 根据测量到的光谱和基础数据, 用适当的化学计量方法建立校正模型;
- (4) 对未知样品组分或性质的测定。

近红外光谱干涉仪属于一种高精度的精密仪器, 其中的一个关键执行部件直线音圈电机的控制精度直接影响整个仪器的性能。本文采用 TM320VC5402 数字信号处理器, 通过建模和仿真试验, 选择合适的数字控制算法和控制器结构, 达到对音圈电机速度的精密控制<sup>[2]</sup>。

### 1 音圈电机

音圈电机是一种将电能直接转化成直线运动机械能而不需要任何中间转换机构的传动装置。其在均匀气隙磁场中放入一个圆筒状绕组, 绕组通电产生电磁力带动负载作直线往复运动, 改变电流的强弱和极性, 就可改变电磁力的大小和方向。根据结构形式的不同, 音圈电机的应用模型可分为两大类: 质量弹簧阻尼模型(MFK型)和质量阻尼模型(MF模型)<sup>[3]</sup>。对于 MFK 型, 工程上的应用趋于成熟, 由于有弹簧 K 的作用, 使得系统的控制易于实现。但是弹簧也产生了负面的影响。因为它限制了输出位移, 而且为了克服弹簧的束缚, 使得直线电机不得不用去其大部分的输出力去产生弹簧的变形。因

此,去掉弹簧的 MF 型直线电机在实际中也得到了广泛的应用。

音圈电机较传统传动方式电机有明显的优势,如结构简单、无接触、无磨损、噪声低、速度快、精度高、散热好等。基于以上优点,近红外光谱干涉仪采用它作为干涉仪动镜的驱动机构,图 1 为音圈电机的简图。为了克服线圈运动过程中线圈相对于轴向的转动,在电机线圈

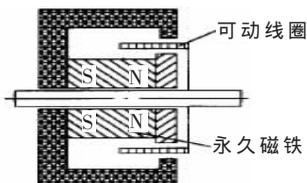


图 1 音圈电机的简图

引出的支架上安装了 1 块小磁铁,同时在磁铁的上方有一直线铁杆导轨。这种设计能够起到两方面的作用:抵消可动部分对导轨的压力来大大减小摩擦力,同时防止线圈在运动

过程中由于动镜过大角度偏转而导致的干涉条纹质量变差<sup>[4]</sup>。

## 2 模型辨识

模型辨识,本文采用的是继电器反馈辨识方法。1987 年, Luyben 提出了将继电器实验用于模型辨识的方法,这种方法采用一阶或二阶加纯滞后模型结构,由继电器反馈控制产生的极限环周期振荡确定出系统临界增益  $K_n$  和临界角频率  $\omega_n$ ,进而推算模型时间常数  $T_1$ 、 $T_2$  和稳态增益  $K_0$ 。辨识方法如图 2 所示。

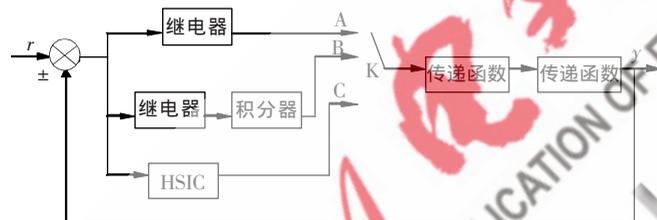


图 2 辨识方法

本研究以反馈实验的两点辨识法对模型进行参数辨识。按照图 1 中结构,并且根据非线性系统产生稳定极限环条件,可得开关在 A 处(振荡发生在  $\omega_{180}$ )时:

$$G_p(j\omega) = -1/N(M) \quad (1)$$

如果开关在 B 处(振荡发生在  $\omega_{90}$ )时,由于引入了积分的作用,使得振荡条件变为

$$G_p(j\omega) = -j/N(M) \quad (2)$$

而对于继电器来说它的负倒描述函数为:

$$-\frac{1}{N(M)} = \frac{\pi M}{4d} \quad (3)$$

式中,  $M$  为继电器特性输入信号幅值;  $d$  为继电器特性幅值。用二阶对象可描述为:

$$G_p = e^{-\tau s} / (as^2 + bs + c) \quad (4)$$

利用反馈实验可知:系统分别在接通 A、B 时得到对象模型在  $\omega_{180}$  和  $\omega_{90}$  两点的振荡频率,并且对于非振荡对象,有  $b^2 - 4ac \geq 0$  成立<sup>[5]</sup>,将其分别代入式(1)、(2),并设  $|G_p(j\omega_{90})| = k_{90}$ ,  $|G_p(j\omega_{180})| = k_{180}$ ,得:

$$c - a\omega_{90}^2 + jb\omega_{90} = \frac{\cos(\omega_{90}\tau) - j\sin(\omega_{90}\tau)}{-jk_{90}} \quad (5)$$

$$c - a\omega_{180}^2 + jb\omega_{180} = \frac{\cos(\omega_{180}\tau) - j\sin(\omega_{180}\tau)}{-jk_{180}} \quad (6)$$

式中,  $k_{90} = |G_p(j\omega_{90})| = \pi M_{90}\omega_{90}/(4d_{90})$ ,  $k_{180} = |G_p(j\omega_{180})| = \pi M_{180}\omega_{180}/(4d_{180})$ ,联立求解公式(5)、(6),得:

$$a = \frac{1}{\omega_{180}^2 - \omega_{90}^2} \left( \frac{\sin(\omega_{90}\tau)}{k_{90}} + \frac{\cos(\omega_{180}\tau)}{k_{180}} \right) \quad (7)$$

$$b = \frac{\sin(\omega_{180}\tau)}{\omega_{180} k_{180}} \quad (8)$$

$$c = \frac{1}{\omega_{180}^2 - \omega_{90}^2} \left( \frac{\omega_{180}^2 \sin(\omega_{90}\tau)}{k_{90}} + \frac{\omega_{90}^2 \cos(\omega_{180}\tau)}{k_{180}} \right) \quad (9)$$

$$\frac{\sin(\omega_{180}\tau)}{\cos(\omega_{90}\tau)} = \frac{\omega_{180} k_{180}}{\omega_{90} k_{90}} \quad (10)$$

式(10)是非线性方程,没有直接解,须通过 Newton-Raphson 迭代法求解。为此设:

$$f(\tau) = \frac{\sin(\omega_{180}\tau)}{\cos(\omega_{90}\tau)} - \frac{\omega_{180} k_{180}}{\omega_{90} k_{90}} \quad (11)$$

则 Newton-Raphson 迭代方程可表示为:

$$\tau_{k+1} = \tau_k - \frac{f(\tau_k)}{f'(\tau_k)} \quad (12)$$

通过求解引入的 Lagrange 插值多项式方程得到:

$$(0.3357 \times \omega_{90} k_{180} - 0.4053 \times \omega_{180} k_{90}) \tau_0^2 + (0.1092 \times k_{180} + 1.2732 \times k_{90}) \tau_0 - k_{180}/\omega_{90} = 0 \quad (13)$$

滞后时间  $\tau$  已知后,参数  $a$ 、 $b$  和  $c$  就可通过式(8)、(9)、(10)相继求得。

## 3 音圈电机调速系统的软件设计

PID 控制算法简单、鲁棒性好、可靠性高、结构简单,各个控制参数又有明显的物理意义,调整方便,被广泛应用于工业过程控制。它适用于二阶以下可建立精确数学模型或数学模型并不精确的闭环控制系统。PID 控制器是一种线性调节器,这种调节器是将设定值  $r(t)$  与输出值  $c(t)$  进行比较,得到控制偏差:  $e(t) = r(t) - c(t)$ 。然后将偏差按比例、积分和微分运算后,通过线性组合构成控制量,简称比例积分微分调节器。

PID 的 3 个重要参数的物理意义如下:比例系数的作用是加快系统的响应速度,提高系统的调节精度;积分系数的作用是消除系统的稳态误差;微分系数的作用是改善系统的动态特性<sup>[6]</sup>。

传统的 PID 控制器算法为:  $u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}]$ 。由于 DSP 处理的都是离散信号,所以需要将 PID 算法离散化变成 DSP 能够执行的增量式 PID 算法。其表达式如下:

$$\Delta u(k) = K_p[e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D[e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]$$

PID 参数的确定方法有很多,工程上有扩充临界比

例度法、扩充响应曲线法、Z-N 确定法、衰减曲线法等。在此,采用实验直接确定 PID 的 3 个参数。在反馈控制过程中,光电检测器的方波输出电路即使在动镜不动时,也会因为外界噪声干扰,输出一些多余的方波信号。为了使整个系统更加精确,需要经过一些滤波处理。考虑到噪声一般为高频信号,其频率一般高在 60 kHz 以上。于是可以在捕获中断中对方波宽度进行判断:如果大于 60 kHz 那么就认为它不是由于动镜移动所产生的方波信号。同样,为了使反馈的速度值更加准确,对方波的宽度进行了中值滤波。每当接收到 5 个方波信号就对其排序,取中间值作为检测到的速度当量。在行程控制中,通过计算有效方波的个数,可以知道动镜走过的距离。因此,可以任意确定行程范围以满足控制系统的要求。程序的主要软件流程图如图 3 所示。

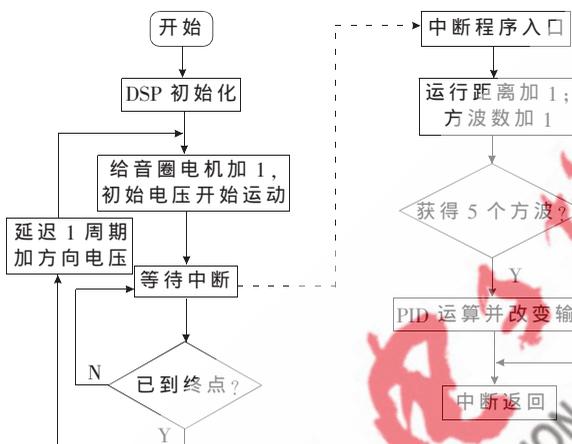


图 3 调速系统软件流程图

红外干涉仪要稳定而正确地工作,完成各种物质的检测,还需要一个恒定的速度。该红外干涉仪对速度精度要求高(2‰),而且要求重复性要好。采用位置式的 PID 算法后,误差降到了±10 左右,满足了系统给定的要求。控制效果如图 4 所示,纵轴代表方波的个数,并与速度成正比。横坐标代表动镜的具体位置<sup>[1]</sup>。图 5 为动镜速度在 10 000~15 000 的局部放大图,可见位置式 PID 算法成功地提高了系统的带宽,把系统速度误差降到了±10 以内<sup>[8-9]</sup>。

激光干涉仪主要用来分析药品成分,其工作原理是一种物质吸收一种特定频率的红外光,所以可以通过分析经过样品的红外光的频谱来分析样品成分。在本系统中,虽然可以把电圈的速度控制在一定的范围以内,但是系统的重复性问题还是没有得到解决。重复性即指上次线圈运动 1 次所得到的光信号傅里叶变换后的谱线与这次得到的谱线的重合程度,其误差范围不能超过 0.2%,即达到 2‰的精度。

《微型机与应用》2010 年第 5 期

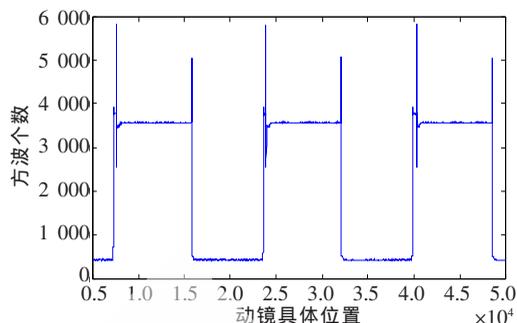


图 4 动镜速度波动图

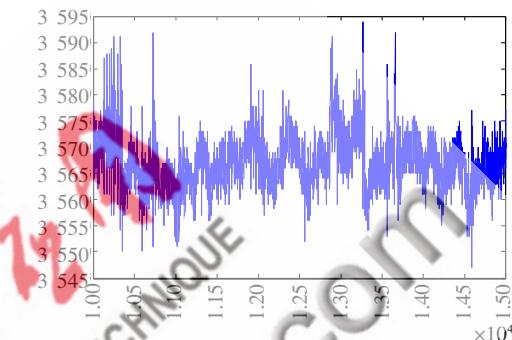


图 5 动镜速度波动放大图

因为对于此信号采样,不仅与线圈速度有关,而且还与线圈位置有关。目前正在考虑同步问题,即在固定的位置对信号进行采样,从而达到重复性的要求。

参考文献

- [1] 王文桂.干涉光谱仪[M].北京:宇航出版社,1996.
- [2] 胡寿松.自动控制原理[M].北京:科学出版社,2001.
- [3] 郝琦玮.基于 DSP 芯片 TMS320VC5402 的开发系统设计[D].呼和浩特:内蒙古大学,2005.
- [4] 罗敢,张芳,王岳环.伺服图形光刻机调焦系统音圈电机设计[J].电子计算机与外部设备,1999,23(2):65-68.
- [5] 黄雄辉.一种新型模糊 PID 控制器的设计与仿真[J].智能控制技术,2005(1).
- [6] 冉茂华.基于 DSP 的 FIR 数字滤波器的设计[D].武汉:武汉理工大学,2006.
- [7] 张鹏举.基于 DSP 测试平台的相关算法在声源定位技术中的应用[D].呼和浩特:内蒙古大学,2006.
- [8] 刘伟.关于模糊 PID 控制器的应用设计[J].沈阳工业大学学报,2003(2).
- [9] 吴振纲,陈虎.PLC 的人机接口与编程[J].微计算机信息,2005(8-1):21-23.

(收稿日期:2009-08-07)

作者简介:

王丽卿,女,1971 年生,硕士,讲师,主要研究方向:电工电子技术研究。