

文章编号 1004-924X(2003)03-0276-05

同步辐射光束位置监测系统中电细分控制技术

雷 凯¹, 邹丽新², 张耀明¹, 夏绍建³, 董 健¹

(1. 苏州大学 现代光学技术研究所, 江苏 苏州 215006;

2. 苏州大学 物理系, 江苏 苏州 215006;

3. 中国科学院 上海原子核研究所, 上海 201800)

摘要: 为了实现探测调整机构的高精度移动和定位, 采用了基于单片机控制的 PWM 步进电机细分驱动技术。利用电流矢量恒幅均匀旋转的方法, 即给步进电机两相绕组分别通以不同的电流, 使合成的电流矢量恒幅均匀旋转, 实现了 32 细分微步驱动。步进电机绕组存在的非线性误差, 造成了细分后步距角的不均匀, 其最大误差为 24.8%。采用拉格朗日插值多项式拟合法进行误差修正后, 提高了细分精度, 最大误差为 8.1%。

关键词: 步进电机; PWM; 细分;

中图分类号: TM383.6; TL929 **文献标识码:** A

Subdivision control technique in synchronous radiation beam position monitoring system

LEI Kai¹, ZOU Li-xin², ZHANG Yao-ming¹, XIA Shao-jian³, DONG Jian¹

(1. Modern Optics Technique Institute, Suzhou University, Suzhou 215006, China

2. Department of Physics, Suzhou University, Suzhou 215006, China

3. Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica, Shanghai 201800, China)

Abstract: The PWM subdivision driving technique based on a single-chip machine control is used to achieve the high-precision movement and location of the detection and adjustment mechanism. The application of different currents to the two-phase windings of the stepper motor causes the constant amplitude uniform rotation of resultant current vector to realize the 32 subdivision microstep driving. The nonlinear error of stepper motor windings results in the nonuniformity of step angle after subdivision, and the maximum error goes up to 24.8%. After the error is corrected by lagrange polynomial fitting, the subdivision accuracy is improved, and the maximum error is 8.1%.

Key words: stepper motor; PWM; subdivision driving

1 引言

同步辐射装置光束线传输系统中多种设备均有较高的位置精度要求。对于光束位置监测系统, 为了实现探测调整机构高精度移动与定位, 通

常可采用大减速比传动链的机械结构方法实现微步驱动, 达到高精度的位置探测。为简化结构、降低成本, 采用了 32 电细分步进电机控制探测调整机构, 使探测组件位置移动灵敏度达到 0.15 μm 。

收稿日期: 2003-01-15; 修订日期: 2003-03-10.

基金项目: 江苏省重点实验室基金资助项目 (No. KJ S00002)

通常步进电机的细分驱动电路有斩波恒流驱动与脉冲宽度调制驱动等方法。采用了基于单片机控制的 PWM 驱动方法,该方法线路简单且功耗小。步进电机的转速、运行步数、正反转均由单片机控制。实验表明,该方法简单可行,并且取得了良好的效果。

2 细分驱动原理及电流波形的选择

步进电机的电细分驱动^[1-4]是通过步进电机励磁绕组电流的控制,使步进电机定子的合成磁场成为按细分步距旋转的磁场,带动转子转动,从而实现步进电机以细分步距角转动。其中合成磁场矢量的幅值决定了步进电机旋转力矩的大小,合成磁场矢量的方向决定了步距角的大小^[5]。采用了电流矢量恒幅均匀旋转的细分方法^[6],即分别给两相绕组通以正、余弦电流,使合成的电流矢量恒幅均匀旋转,实现步进电机步距的细分。

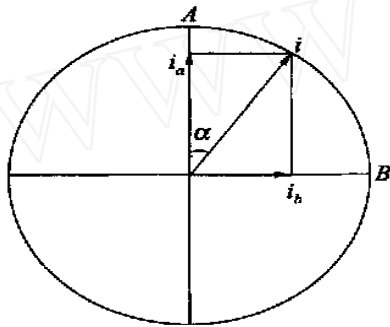


图 1 两相混合式步进电机的示意图

Fig. 1 Sketch map of the two-phase hybrid stepper motor

两相混合式步进电机相绕组在空间上的位置如图 1 所示。电机转子由 A 到 B 转过 90°电角度,电机则转过一个步距角 1.8°。细分时转子由 A 到 B 分 n 步走,把 90°电角度 n 等分,对应的细分后的步距角为 1.8°/n。当两相电流按式(1)

$$\begin{cases} i_a = i_M \cos \\ i_b = i_M \sin \end{cases}, \quad (1)$$

变化时,则合成后的电流矢量为 i,幅值为 i_M,转过的空间角为 θ。令 θ = (90°/n) × s, n 为细分数, s 为步

数,这样电流矢量就可恒幅均匀旋转。利用式(1)得到 32 细分后的电流数据存入单片机,电路工作时,该电流数据通过 D/A 转换器后以电压的形式送入控制电路。

3 细分驱动控制电路

为了实现同步辐射光束位置监测系统中调整机构的精确移动与定位,调整机构的驱动采用了基于单片机控制的 PWM 细分驱动电路,它由单片机、D/A 转换器、锯齿波发生器、比较器、功率驱动电路等部分组成。其原理框图如图 2。

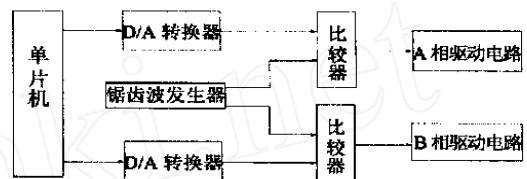


图 2 细分驱动电路的原理图

Fig. 2 Principles of the subdivision driving circuit

该细分驱动电路是通过 D/A 转换器将细分电流数据转换为阶梯波,与锯齿波发生器的锯齿波进行比较,产生不同宽度的脉冲。利用脉冲的宽度控制步进电机细分的相电压,实现细分驱动。

由于锯齿波上升沿的线性度对绕组电压的控制精度产生影响,为了减小细分步距误差,电路中精心选择了上升沿线性度好的锯齿波发生器。图 3 为脉冲调宽电路,其中锯齿波发生器由 555、LM358、OP07 及若干分立器件组成。锯齿波的频率应保持一定高值,频率过低,则加在步进电机绕组上的脉冲电压的频率也低,影响相电压的积分效果,易引起步进电机运行时的振荡,或在某一位置的抖动,造成系统的不稳定性。本设计的锯齿波频率为 10 kHz。

为了提高负载能力,功率驱动电路中选用了大功率的 VMOS 管和大功率肖特基二极管,同时该电路还具有导通时电路时间常数低,截止时续流回路时间常数也低等特点。

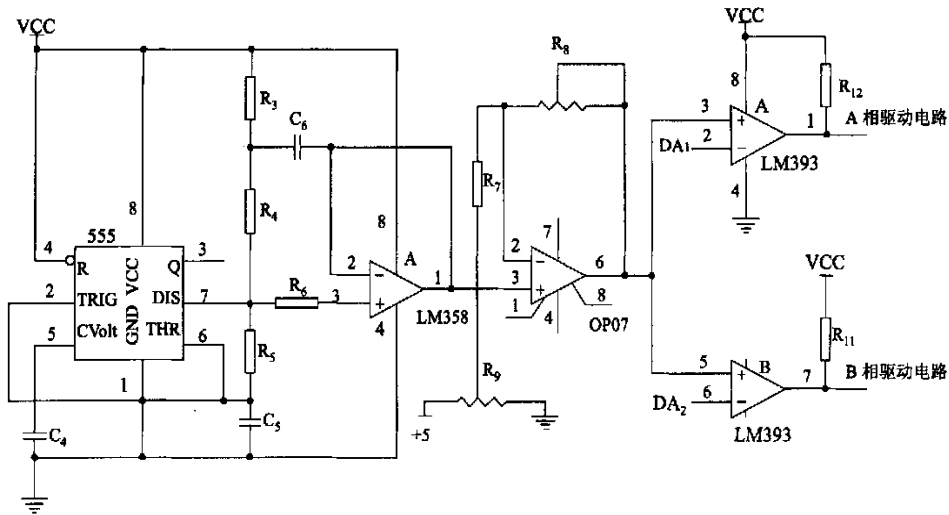


图 3 脉宽调制电路

Fig. 3 Pulse-width modulating circuit

4 细分误差的软件修正

在步进电机的细分驱动电路中采用了电流矢量恒幅均匀旋转的细分方法,实现了 32 细分的步距驱动,使用平行光管和高精密转台等设备进行

了步距角的测量。表 1 为 32 细分步距角的测量值。由于步进电机内部定子绕组的磁化过程存在着非线性,造成了细分后步距角有较大的误差。从表 1 中可以看出,最大误差出现在第一步,且误差值为 24.8%。

表 1 32 细分步距角的测量值(角分)

Tab. 1 Measured values of 32 subdivision step angle (Minute)

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 步数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 角度 | 2.33 | 2.40 | 2.47 | 2.70 | 2.97 | 2.87 | 3.12 | 2.98 |
| 误差 | 24.8% | 22.6% | 20.3% | 12.9% | 4.2% | 7.4% | 0.6% | 3.9% |
| 步数 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 角度 | 3.23 | 3.35 | 3.42 | 3.15 | 3.35 | 3.43 | 3.50 | 3.17 |
| 误差 | 4.2% | 8.1% | 10.3% | 1.6% | 8.1% | 10.6% | 12.9% | 2.3% |
| 步数 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 角度 | 3.10 | 3.55 | 3.62 | 3.30 | 3.15 | 3.38 | 3.37 | 3.23 |
| 误差 | 0 | 14.5% | 16.8% | 6.5% | 1.6% | 9.0% | 8.7% | 4.2% |
| 步数 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 角度 | 3.15 | 3.22 | 2.98 | 3.23 | 3.12 | 2.83 | 3.20 | 2.85 |
| 误差 | 1.6% | 3.9% | 3.9% | 4.2% | 0.6% | 8.7% | 3.2% | 8.1% |

为了进一步减小步距角误差,提高精度,我们采取了软件误差修正的措施。在一般的步进电机细分驱动电路中,由于准确建立相电流与磁场幅值之间的数学表达式很困难,在具体的实现上往往采用查表法和拟合法。查表法比较简单,但在细分数较大的情况下显得复杂且不灵活。我们采

用了拉格朗日插值多项式拟合方法进行误差修正,该方法精度高,且易于在计算机上计算,其做法如下:设 $y = f(x)$ 在 $n + 1$ 个结点 x_0, x_1, \dots, x_n 上的值为 y_0, y_1, \dots, y_n 。求一个次数不高于 n 的插值多项式 $L_n(x)$,使得 $L_n(x) = y_i (i = 0, 1, \dots, n)$ 。利用该条件构造出 $L_n(x)$:

$$\begin{aligned}
 L_n(x) &= y_0 + L_1(x)y_1 + \dots + L_n(x)y_n \\
 &= \sum_{i=0}^n L_i(x)y_i = \sum_{i=0}^n \frac{(x-x_0)\dots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\dots(x-x_n)}{(x_i-x_0)\dots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\dots(x_i-x_n)} y_i \\
 &= \sum_{i=0}^n \left(\prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x-x_j}{x_i-x_j} \right) y_i, \tag{2}
 \end{aligned}$$

其中: $L_0(x_0) = \dots = L_{i-1}(x_{i-1}) = 0$, $L_i(x_i) = 1$, $L_i(x_{i+1}) = \dots = L_i(x_n) = 0 (i = 0, 1, \dots, n)$

利用上式用 MATLAB 编程,即可得到电流 - 步距角细分的拟合曲线,利用该曲线插值,得到修正

后的细分步距角对应的电流数据。

修正后的细分运行步距角测量值如表 2。从表中可以看出步距角精度得到了提高,其误差控制在 8.1% 以下。图 4 为修正前、后的细分步距角曲线图。

表 2 修正后细分步距角测量值(角分)

Tab. 2 Measured values of subdivision step angle after correcting error (Minute)

| 步数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 角度 | 3.15 | 3.17 | 3.18 | 2.98 | 2.97 | 3.25 | 2.85 | 3.18 |
| 误差 | 1.6% | 2.3% | 2.6% | 3.9% | 4.2% | 4.8% | 8.1% | 2.6% |
| 步数 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 角度 | 3.23 | 3.08 | 3.07 | 3.15 | 3.22 | 3.05 | 3.12 | 3.00 |
| 误差 | 4.2% | 0.6% | 1.0% | 1.6% | 3.9% | 1.6% | 0.6% | 3.2% |
| 步数 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 角度 | 2.90 | 3.12 | 3.22 | 2.93 | 3.08 | 3.18 | 3.07 | 3.00 |
| 误差 | 6.5% | 0.6% | 3.9% | 5.5% | 0.6% | 2.6% | 1.0% | 3.2% |
| 步数 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 角度 | 3.32 | 3.00 | 3.07 | 3.00 | 3.23 | 3.03 | 3.22 | 3.25 |
| 误差 | 7.1% | 3.2% | 1.0% | 3.2% | 4.2% | 2.3% | 3.9% | 4.8% |

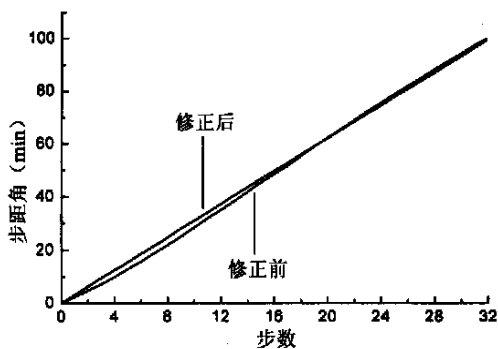


图 4 误差修正前、后步距角曲线图

Fig. 4 Step angle curves before and after correcting error

5 结束语

(1) 采用基于单片机控制的 PWM 电细分驱动和电流矢量恒幅均匀旋转的细分方法,可实现 32 细分微步驱动,其步距角误差的最大值为 24.8%。

(2) 当采用拉格朗日插值多项式拟合方法进行误差修正,提高了细分步距角的精度,在 32 细分时最大误差为 8.1%。

(3) 控制电路的有关参数对细分步距驱动的精度及工作的稳定性有较大影响,特别是锯齿波发生器应具有较好的波形线性度与合适的频率。

参考文献:

[1] 王岚,于惠珠. 跟踪测量电视的自动调光系统[J]. 光学 精密工程,1994,2(5):86-92.
 WANG L, YU H ZH. An automatic light control system of a TV tracker[J]. *Optics and Precision Engineering*, 1994, 2(5):86-92. (in Chinese)

[2] 于惠珠,王岚. 单片机智能控制摄影自动调光系统[J]. 光学 精密工程,1995,3(5):98-102.

- YU H ZH, WANG L. Microprocessor based intelligent automatic light-tuning control system for camera in cinetheodolite [J]. *Optics Precision Engineering*, 1995, 3(5):98-102. (in Chinese)
- [3] 王跃琼. 高速莫尔条纹信号单片机细分的一种方法[J]. *光学 精密工程*, 1997, 5(1):112-118.
WANG Y Q. Subdivision method on signals of high speed Moire fringe by single-chip micro computer[J]. *Optics and Precision Engineering*, 1997, 5(1):112-118. (in Chinese)
- [4] 王英翹, 徐征, 刘冲, 等. 一种基于操纵杆控制微操作系统三维运动的方法[J]. *光学 精密工程*, 2001, 9(6):553-556.
WANG Y Q, XU ZH, LIU CH, et al. Method for controlling micromanipulation system movement in three-dimensional way by joystick[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2001, 9(6):553-556. (in Chinese)
- [5] 晋兆琼. 基于单片机的步进电机细分驱动的实现[J]. *电气自动化*, 2000, (3):8-13.
JIN ZH Q. The realization of subdivision driving of stepper motor based on microprocessor[J]. *Electric Automation*, 2000, (3):8-13. (in Chinese)
- [6] 张志利. 步进电机超高分辨率细分控制函数发生器的设计与实现[J]. *微特电机*, 2001, (1):10-13.
ZHANG ZH L. Designing and realization of one controls function generator for superhigh differentiating rate fine of the stepper motor[J]. *Micro Motor*, 2001, (1):10-13. (in Chinese)

作者简介:雷 凯(1977 -)男,江苏南京人,苏州大学物理系现代光学研究所硕士研究生,主要从事微处理器与计算机应用的研究。

征订启事

向您推荐《液晶与显示》期刊

《液晶与显示》是中国最早的液晶学科期刊,也是中国惟一的液晶学科和显示领域中综合性学术期刊。它由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所和中国光学光电子行业协会液晶专业分会主办,科学出版社出版。

《液晶与显示》以研究报告、研究快报、综合评述、信息与动态和产品信息等栏目集中报道国内外液晶学科和显示领域中最新理论研究、科研成果和创新技术,及时反映国内外本学科领域及产业信息动态。本刊是英国《科学文摘》(SA)、美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(P)、美国《剑桥科学文摘》(CSA)和“中国科学引文数据库”、“中国科技论文统计源期刊”等国内外著名检索刊物和文献数据库来源期刊。

《液晶与显示》以创新性、综合性、实用性为办刊特色,其内容丰富,信息量大,涵盖面广,可读性强。既是启迪科技人员开拓创新思路的参考期刊,又是从事液晶和显示技术研究的广大科技人员、大专院校师生及相关领域的科技工作者进行学术交流的良好园地,也是图书、情报等部门必不可少的信息来源。《液晶与显示》热忱欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿,将您的科技创新、产品信息、企业风貌通过这一窗口展示出来。同时,竭诚欢迎社会各界洽谈广告业务、合作组织技术交流与信息发布活动。

《液晶与显示》为双月刊, A4 开本, 80 页, 国内定价 10.00 元, 国内外公开发售。国际标准刊号: ISSN 1007 - 2780, 国内统一刊号: CN 22 - 1259/O4, 国际刊名代码(CODEN): YYXIFY。广告经营许可证号: 200004100137。国内邮发代号: 12 - 203; 国外发行代号: 4868Q。同时,《液晶与显示》编辑部将竭诚为广大读者服务,随时办理订阅。

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登产品信息

| | |
|--------------------------|----------------------|
| 地 址: 吉林省长春市人民大街 140 号 | 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 |
| 《液晶与显示》编辑部 | 邮 编: 130022 |
| 电 话: (0431) 5261594 | 传 真: (0431) 5682346 |
| E-mail: yjxs@ciomp.ac.cn | 网 址: www.ciomp.ac.cn |