

一种高精度调焦机构设计

林为才, 王晶

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘要: 调焦机构是变焦距镜头中重要的组成部分, 目前对变焦距镜头的调焦主要采用凸轮机构的变焦方式, 其缺点是体积大、效率低、精度差。为此本文提出了采用电机驱动和直线导轨配合的方式进行调焦的原理与方法, 介绍了一种应用系统, 其主要由步进电机、THK 导轨、电位计等组成, 具体给出了测量系统的组成结构和实验结果, 并进行了精度影响因素分析, 实验结果表明测量精度可保证在 0.005mm 内。

关键词: 步进电机; 直线导轨; 电位计; 调焦

中图分类号: TM359.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870 (2010) 04-0040-03

A High Precision Focal System Design

LIN Weicai ,WANG Jin

(Chinese Academy of Sciences ,Changchun Institute of Optics ,Fine Mechanics and Physics ,Changchun 130033)

Abstract : The focal system is an important part in zoom lens. The cam mechanism is conamonly used in focal system now. The cam mechanism is bulky , inefficient and low accuracy .The theory and methods for the zoom focal system using motor and liner track are discussed in the paper.An practical system is presented .The system is composed with motor , THK liner track , displacement sensor and digital signal processor etc. The principle and structure of the focal system are given in the concrete. The system accuracy is analyzed. The system accuracy is controlled in 0.005 millimeter.

Key words : motor ; liner track ; potentionmeter ; focal

在现代光学镜头设计中, 变焦距镜头是一个不可缺少的部分, 为了实现对目标的连续跟踪捕获, 镜头焦距必须实时进行调整, 而实现变焦的关键在于调焦机构, 调焦机构组件主要用于在目标的距离或者环境温度发生变化时, 调整目标的像面位置, 保证变焦距镜头的图像清晰。否则离焦会降低目标的清晰度, 影响跟踪和测量的效果^[1]。本文介绍了一套高精度调焦机构, 由步进电机、直线导轨、电位计等组成, 由距离信息与温度传感器测量得到的温度信息, 通过接口电路送入调焦控制器并计算出调焦量。摄像机由步进电机驱动, 通过齿轮变速和精密丝杠速比变换机构, 带动摄像机前后移动来进行距离调焦和温度调焦。通过调焦控制电路驱动步进电机运行, 从而实现自动调焦, 保证在像面上始终得到清晰的目标图像。

1 调焦机构的原理和组成

如图 1 所示。调焦系统调整放置在望远镜光路中的摄像机, 移动摄像机改变镜头的像面位置。摄像机的移动量, 是根据机下计算机发出的距离信息, 由 DSP 模块控制。自动调焦系统利用电位计作为检测元件, 电位计将位移变化转换成电压信号, 电压信号的大小对应移动的距离。根据牛顿公式,

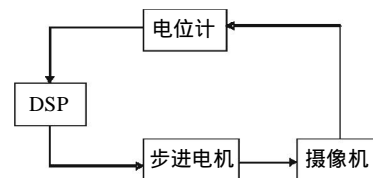


图 1 系统原理图

Fig.1 The element of system

收稿日期: 2010-08-16

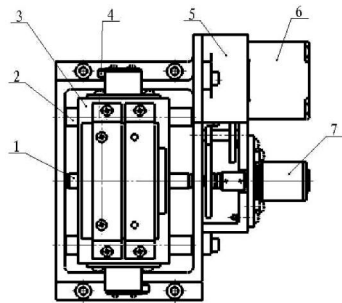
基金项目: 国防科技预研基金资助项目 (1040603)

作者简介: 林为才 (1973-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事光电经纬仪镜头结构设计工作, Email:lllinwei@sina.com。

通讯作者: 王晶 (1966-), 女, 研究员, 主要从事光电经纬仪总体机构的设计工作。

计算像面位置误差,如果误差不等于零,DSP控制步进电机带动摄像机移动,同时也带动电位计向减小误差方向运动,直至误差趋近于零,系统处于平衡状态^[2,3]。

调焦组件采用丝杠导轨机构,主要由精密丝杠螺母副、THK导轨、滑板、减速箱、电位计、步进电机等组成,如图2所示。



1.精密丝杠螺母副 2.THK 导轨 3.滑板 4.限位开关
5.减速箱 6.42BYG015 步进电机 7.电位计

图2 调焦机构结构图

Fig.2 The structure of focal system

由步进电机通过减速箱驱动精密丝杠螺母副转动,带动滑板前后移动,滑板依靠 THK 高精度导轨保证前后移动的直线性,摄像机和滑板连接在一起移动,通过电位计的转动反馈摄像机的移动量,从而保证系统的调焦精度。

2 调焦机构的计算

2.1 调焦机构的像面移动分辨力计算

步进电机转一圈所走的步数为 $360/0.9=400$ 步,螺旋传动螺距选用 0.5mm ,因此步进电机每转一步,镜头移动 $0.5\text{mm}/400\text{步}=0.00125\text{mm}$;

步进电机与螺旋丝杆之间用齿轮传动,选用的齿轮模数为 0.5 ,齿轮的厚度为 3mm ,由步进电机到螺旋丝杆的速比为 $36:1$ 。

像面移动分辨力为: $0.00125/36=0.035\mu\text{m}$ 。

由于受机构爬行等因素的影响,实际分辨力要略大于 $0.035\mu\text{m}$,能满足像面的调整要求。

2.2 调焦机构的电位计分辨力计算

由于螺旋丝杠的螺距选用 0.5mm ,所以 2mm 的传动范围内丝杠也将转动 4 圈。

由于电位计与丝杠同轴,速比为 1,所以电位计的转角 $4\times 360^\circ = 1440^\circ$

选用 5 圈电位计可满足要求 电位计精度为 1% , 5 圈电位计控制的转角误差为 $5\times 360\times 1\%=1.8^\circ$,丝杠螺距 0.5mm ,电位计的分辨力为 $0.5\times 1.8/360=0.0025\text{mm}$,电位计的分辨力满足要求。

2.3 调焦机构的调焦量计算

可见光光学系统的作用距离初始设计均以无限远计算,近距离时通常用前组调焦也可以用像面调整。短焦光学系统,可以不用调焦;长焦光学系统,距离大于 5km ,可以不用调焦,我们假设目标距离为 500m ,调焦量 1.28mm 。

如果温度调焦范围为 $-30 \sim +50$,设装调时或检测时标准温度为 20 ,镜筒材料为铝,可求出该系统的温度调焦量如表 1。

表 1 温度调焦量

Tab.1 Temperature focal quantity

温度	-30	-20	0	20	40	50
调焦量	-0.5551	-0.4445	-0.2232	0	+0.1849	+0.2783

由上述两项计算可得:系统调焦镜组的最大调焦量不大于 $\pm 1\text{mm}$,在该系统的调焦机构实际设计中,实际调焦量为 $\pm 5\text{mm}$,满足调焦范围的要求。

2.4 调焦机构的驱动力矩计算

步进电机带动齿轮减速器运行,带动螺旋丝杆

表 2 调焦机构的转动惯量计算表

Tab.2 Moment of inertia calculate for focal system

零件	外径 D	内径 d	比重 p	长度 L	转动惯量 $J_x(\text{g} \cdot \text{cm}^2)$	电机上的转动惯量 $(\text{g} \cdot \text{cm}^2)$
电机齿轮	1	0.5	7.8	0.3	3.445934383	3.445934383
	0.8	0.5	7.8	0.5	2.126371243	2.126371243
齿轮 1	3	0.5	7.8	0.3	297.4990017	33.05544464
	1	0.5	7.8	0.3	3.445934383	0.382881598
齿轮 2	3	0.5	7.8	0.3	297.4990017	3.672827182
	1	0.5	7.8	0.3	3.445934383	0.0425424
齿轮 3	4	0.5	7.8	0.3	940.7400866	0.725879696
	1	0.5	7.8	1	11.48644794	0.008863
丝杠	1	0.4	7.8	7	83.56988174	0.064482933
合计转动惯量						43.52522707

表 3 实验数据对比表

Tab.3 The data system experiment contrast

正向 1	数显表	反向 1	正向 2	数显表	反向 2	最大绝对误差 δ
0	0	0	0	0	0	0
0.0123	0.012	0.0124	0.013	0.012	0.0135	0.0015
0.0233	0.024	0.0245	0.024	0.024	0.0255	0.0015
0.035	0.036	0.0335	0.0355	0.036	0.035	0.003
0.0453	0.048	0.047	0.05	0.048	0.055	0.007
0.0553	0.06	0.0575	0.0605	0.06	0.0605	0.0045
0.068	0.072	0.07	0.0735	0.072	0.0755	0.008
0.793	0.08	0.083	0.086	0.08	0.088	0.0045
0.0905	0.092	0.091	0.0965	0.092	0.0955	0.0035
0.1045	0.104	0.1055	0.1055	0.104	0.1085	0.0045
0.1155	0.112	0.1155	0.1145	0.112	0.1135	0.0043

运动,为了步进电机可靠地运行,选择 42BYG015 步进电机,调焦机构的转动惯量计算如表 2 所示。

调焦机构的移动组件重量为 1.2kg,对于移动组件的移动惯量为:

$$J_c=W(p/2\pi)^2=1200\times(0.05/2\pi)^2=0.076\text{g}\cdot\text{cm}^2$$

式中:W—移动体的重量;P—螺距。

总惯量为:

$$J=J_c+J_h=43.6\text{g}\cdot\text{cm}^2$$

步进电机的运行由于是冲击式的运动,所以其加速力矩 T_a 为:

$$T_a=\frac{J_c+J_h}{g}\cdot\left(\frac{\theta_s}{180}\right)^2\cdot\pi\cdot Z_R\cdot f_i^2=0.212\text{kg}\cdot\text{cm}$$

负载力矩 T_l 的计算:

取 $W=1.2\text{kg}$, $F=\mu_0 W=0.3\times 1.2=0.36\text{kg}$; 60° 高角时预加载荷 $1.2\times\tan 60^\circ=1\text{kg}$,

$$T_l=\left(\frac{FP}{2\pi\eta}+\frac{\mu_0 F_0 D}{2\pi}\right)\frac{1}{I}=0.0014\text{kg}\cdot\text{cm}$$

式中: F —轴向载荷(kg); F_0 —预加载荷(kg); W —移动载荷的重量(kg); P —螺距(cm); D —丝杠直径(cm); μ_0 —摩擦系数(0.3); η —变换效率(0.3 ~ 0.6); I —减速比= $n_{\text{电机}}/n_{\text{丝杠}}$; θ_s —一步距角; Z_R —转子齿数; f_i —启动脉冲速度;

安全系数取 2,电机所需的转矩 T :

$$T_m=(T_l+T_a)\times 2=(0.212+0.0014)\times 2=44\text{mN}\cdot\text{m};$$

42BYG015 步进电机的静转矩 130 mN·m,可以满足使用要求。

3 实验结果和精度影响因素

3.1 实验结果

为了测试调焦机构的实际定位精度,利用数显千

分表为检测工具,将电位计测量的位移数与数显千分表测量的位移数进行对比,对比结果如表 3 所示,测试现场环境条件如下:大气压力 102.53kPa;室温 25.03;相对湿度 77.25%;电机温度 28。

由表 3 数据可以看出,在正反四组共 40 次的测量中,最大绝对误差在 0.005mm 内,而光学系统的焦深都大于 0.01mm,所以本调焦机构的精度可以满足系统调焦的要求。

3.2 精度影响因素分析

本系统产生误差的原因主要有以下几点:

1. 电位计的误差。直线的定位精度主要取决于位置检测元件的精度,如分辨率、线性度等^[4]。电位计的精度为 1‰,5 圈电位器控制的转角误差为 $5\times 360\times 1\text{‰}=1.8^\circ$,丝杠螺距 0.5mm,电位计的分辨率为 $0.5\times 1.8/360=0.0025\text{mm}$ 。

2. 步进电机自身精度的影响。电机在运行过程中的发热、隔磁、防护等问题对定位精度都有影响,步进电机每步走 0.9° ,螺旋传动螺距选用 0.5mm,因此步进电机每转一步,镜头移动 $0.5\text{mm}/400\text{步}=0.00125\text{mm}$,对步进电机的控制误差不大于一个步进角,因此误差为 0.0012mm,因此对电机的控制系统要求也很高。

3. 直线导轨的直线以及安装误差也会影响系统的精度,本文选用日本 THK 株式会社的小型可调整式(RSR)滚动直线导轨,摩擦系数为 0.002 ~ 0.005,且动、静摩擦系数相差级小,可以有效的避免爬行现象,定位精度可达到 0.001mm。

本系统产生的理论最大误差为 0.0047mm,和实验结果的最大绝对误差 0.005mm 基本相符合。

(下转第 39 页)

机构的设计方法，其主要依靠一种精密直线运动轴系来实现激光扩束器大、小物镜轴向间距的精确调整。从对直线轴系同轴精度的检测结果来看，轴系行成6mm时的同轴精度为0.0022mm，完全达到了本设计中的16倍激光扩束器大物镜与小物镜的同轴度不大于0.02mm的指标要求。结合该激光扩束器参加外场试验的结果，进一步验证了在环境温度变化时激光扩束器准直性调整机构的可行性，表明带有大、小物镜轴向间距调整机构的激光扩束器可以精确调整两透镜间距，使环境温度变化等因素引起的两透镜面形变化不至于造成扩束器准直性的改变，通过该设计方案设计的激光扩束器的准直性可以实现随时调整，确保准直性满足使用要求。这种结构设计方案简单，精度高，可以在各种倍率的激光扩束器中使用，有希望在工程实践中得到推广应用。

(上接第42页)

4 结论

以步进电机作为动力源，以高精度导轨作为移动副，将调焦机构进行优化设计，并配以高精度的位置检测元件和控制系统时，可以达到很高的精度，此种高精度调焦机构主要用于精密测量光学系统中。

参考文献

- [1] 刘万里,曲兴华,欧阳健飞,等.激光跟踪测量系统角度自动校正装置设计[J].光学精密工程,2008,16(9):1695-1700.
- [2] 闫勇刚,欧阳健飞,夏飞.激光制导测量机器人及几何误差分析[J].光学精密工程,2008,16(5):907-911.
- [3] 史亚莉,高云国,张磊,等.提高CCD激光自准直测角精度的硬件方法[J].光学精密工程,2008,16(4):726-732.
- [4] 程义涛,杨进华.相位激光测距发射系统实验研究[J].长春理工大学学报:自然科学版,2010,33(3):29-31.
- [5] 陈彦超,赵柏秦,李伟.用于纳秒级窄脉冲工作的大功率半导体激光器模块[J].光学精密工程,2009,17(4):695-700.
- [6] 徐记伟,时家明.激光光斑尺寸对烟幕干扰效果影响的研究[J].红外与激光工程,2007,36(6):838-841.
- [7] 刘雷,马宏.准分子激光束束系统的研究[J].长春理工大学学报:自然科学版,2009,32(2):224-226.
- [6] 武旭华,陈磊,肖韶荣.干涉仪准直系统波前质量检测[J].红外与激光工程,2008,37(1):106-110.

参考文献

- [1] 丁亚林,田海英,王家骥.空间遥感相机调焦机构设计[J].光学精密工程,2001,9(1):35-38.
- [2] 王志伟.基于直线电机和光栅测量系统的精确定位平台设计[J].苏州大学学报,2004,24(6):38-41.
- [3] 吴玉厚,宋德儒.PMAC下直线电机定位精度分析与误差补偿技术[J].沈阳建筑大学学报,2005,21(5):586-590.
- [4] 张新洁,严昌翔.星载光学遥感器调焦机构设计[J].光学精密工程,2009,17(11):2758-2761.