

用于精密测量的自动变焦系统及标校方法的研究

杨小君^{1,2} 苏秀琴¹ 郝伟^{1,2} 李哲^{1,2} 刘刚^{1,2} 杨秀芳³

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3 西安理工大学机械与精密仪器工程学院, 西安 710048)

摘 要 介绍了变焦距镜头在高速电视测量仪中用于精密测量的控制和标校方法. 系统主要采用 PC104 系统核心模块, 运动控制卡, 以及步进电机来实现对变焦系统的精确控制, 再加上对镜头的精确标校修正镜头自身的系统误差, 从而使得基于变焦距镜头的高速电视在用于弹道测量中成为可能, 大大提高了靶场测量准确度.

关键词 高速电视测量; 自动变焦; 变焦镜头; 标校

中图分类号 TP317.4 **文献标识码** A

0 引言

高速电视测量仪在对空中飞行的目标进行摄像过程中, 目标离测量站的距离不断地发生变化, 引起目标的大小也发生不断的变化, 从而影响系统的跟踪和判读. 为了使得在 CCD 上所成的像的大小基本不变, 必须实时地通过获得目标离测量站的距离来改变焦距的大小. 所以变焦距测量成为了现代光电测量设备中的重要组成部分. 传统的定焦距测量系统中, 由于目标位置的较大改变使得像面离开了景深的范围, 必需采用微距调焦的办法才能使得成像面落到感光器件上, 增加了系统的复杂性. 变焦距镜头则可以通过系统中若干透镜组的移动, 不仅使系统的焦距发生变化, 而且还可保持像面的位置基本不变, 即物像之间的共轭距不变^[1].

变焦距镜头不仅具备了定镜头的功能, 还有定镜头所不具备的灵活性, 方便性, 但是在近代的光电经纬仪以及一些要求比较高的弹道测量系统中, 只是用于摄录和观察, 一直没有得到广泛的应用, 主要原因是担心其焦距输出的准确性和稳定性不能满足系统需要. 针对这一点本文重点提出解决方法.

1 变焦镜头的结构

变焦光学系统采用机械补偿式光学结构, 由前固定组、变焦组、补偿组、后固定组、可变光栏及滤光片等组成; 机械补偿式变焦距光学系统具有结构尺寸小, 重量轻等优点. 变焦组作线性运动改变系统焦距; 为稳定像面需设置补偿组, 补偿组作非线性运动补偿像面的移动. 变焦组和补偿组组件以主轴为基准组合加工, 同轴度要求 $< 0.005 \text{ mm}$; 两组在槽

内平稳运动, 短焦到长焦全行程摆动 $< 1'$. 变焦全行程像面位移 $< 0.07 \text{ mm}$, 视轴晃动的系统量将通过软件予以实时修正, 随机量^[3] $\sigma_{\text{随}} \leq 0.02 \text{ mm}$.

2 控制系统的原理和实现

变焦控制系统(见图 1). 由执行机构和可编程控制器(见图 2)组成, 可编程控制器主要是由 PC104 系统核心模块和运动控制卡组成. 执行机构主要是由步进电机及其驱动器, 齿轮机构, 凸轮机构, 以及滑动机构组成. 实现在目标距离改变时, 调整焦距以保证高速电视靶面上能得到一定比例的目标图像.

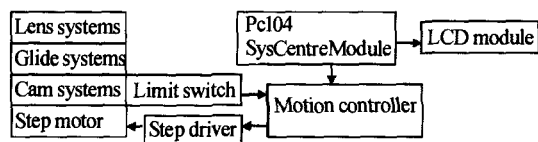


图 1 自动变焦系统原理
Fig. 1 Principle of automatic focusing systems

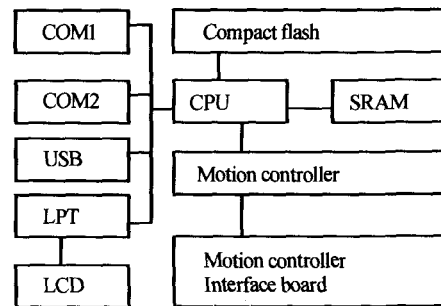


图 2 可编程控制器的配置
Fig. 2 Configure about programmable controller

2.1 PC104 系统核心模块

SCM/SPT PC/104 模块是一款 all-in-one 的 CPU 模块, 其 CPU 是一片 X86 兼容的 64 位第六代处理器, 最高运行速度可达 300MHz, 内存支持最大达到 128M 3.3V SDRAM. SCM/SPT 模块遵从 PC/104+ 标准, 提供 PC/104 总线及 PC/104+

总线。

串口1和串口2分别作为上位机和视频记录部分,以一定的周期实时送出焦距值。并口控制液晶模块的显示,显示焦距值,光圈值,系统状态等信息。PC104系统核心模块和运动控制卡是通过PC104总线连接的,运动控制卡接收系统核心模块的命令调用相应的函数实现步进电机的各种复杂的运动^[3]。

2.2 运动控制器

固高公司生产的GT系列运动控制器,可以同步控制2个运动轴,实现多轴协调运动。其核心由ADSP2181数字信号处理器和FPGA组成,可以实现高性能的控制计算。

关于运动模式的选择:运动控制器针对单轴运动提供4种运动控制模式:S-曲线模式、梯形曲线模式(如图3)、速度控制模式、电子齿轮模式。

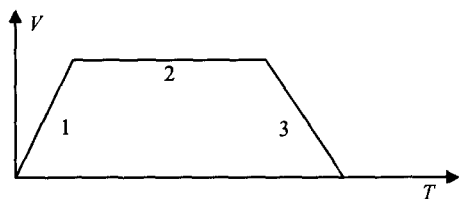


图3 梯形曲线模式

Fig. 3 Mode of trapeziform curve

手动调焦时,系统只需检测按键是否按下来决定是否启动步进电机的运动,所以要求运行比较平稳就可以,无需不停地改变速度大小,本文采用梯形曲线模式。

自动变焦时,要求系统根据理论弹道的变化,实时地改变焦距值使得所成的图像大小基本保持不变。这就使得电机的速度要不停地改变,才能在固定的时间内产生不一样的位移。所以本文采用速度控制模式。运动控制器将当前轴设定成速度控制模式,需要设定最大速度和加速度两个参数。在该模式下,开始运动时将以设定的加速度连续加速到设定的最大速度,运动方向由最大速度的符号确定,即正速度产生正向运动,而负速度则产生负向运动。在运动过程中,这两个运动参数可以随时修改^[4]。

不管是那种方式电机都是慢启动,慢停止,这样既确保了电机在运行过程中做到不失步或只有少量的失步,又保证了调焦准确度。

2.3 步进电机驱动器

选用的是SH-2H057MM型驱动器,该驱动器用于驱动二相或四相混合式步进电机。步进脉冲信号CP用于控制步进电机的位置和速度,CP脉冲的频率改变则同时使步进电机的转速改变,控制CP脉冲的个数,则可以使步进电机精确定位。这样就

可以很方便的达到步进电机调速和定位的目的。本驱动器的CP信号为低电平有效,要求CP信号的驱动电流为8-15 mA,对CP的脉冲宽度也有一定的要求,一般不小于5 ms。

在本系统中,选用的细分数设定为40、驱动0.9°/1.8°电机,其细分步距角为 $1.8^\circ \div 40 = 0.045^\circ$ 。另外齿轮组的减速比为20:1,所以步进电机作用于镜头凸轮系统的步距角为 $0.045^\circ / 20 = 0.00225^\circ$ 。这是保证焦距准确度的重要手段。

3 镜头的标校

因为存在凸轮曲线的加工误差、齿轮的偏心以及齿距的加工误差造成的系统误差、随机误差,所以必须对镜头进行标校,修正系统误差,减少随机误差,从而提高焦距的输出准确度。标校选用的是1300 mm的平行光管,镜头的最长焦是600 mm,基本上是被标镜头的2倍,符合光管选择的一般原则。

3.1 焦距的标定

首先确定一个基准点,作为系统焦距测量的基准,我们选择短焦的光电限位处作为标焦的基准。为了消除基准点的空回,要求系统每次回零时,电机到达基准点后,向长焦处再前进n步,在此基础上开始测量。如图4,同样的转角长焦处变化比较大,所以在短焦处可以标得稀疏一些,长焦处稠密一些,这

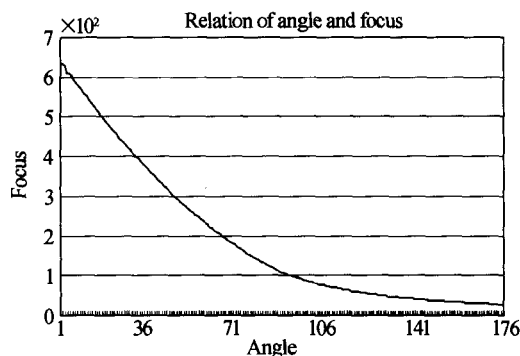


图4 转角和焦距的关系图

Fig. 4 Relation of angle and focus

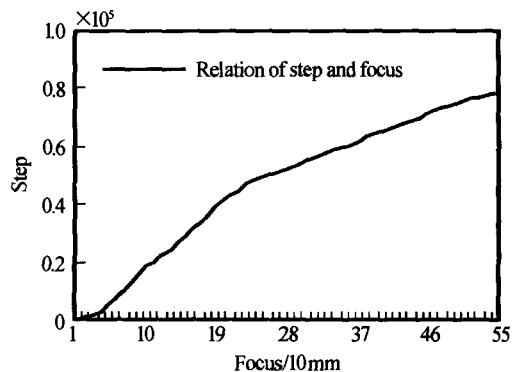


图5 步距和焦距的关系图

Fig. 5 Relations of step and focus

样不仅能保证一定的准确度,也能缩短查找表的长度.图 5 就是标焦出步距和焦距的关系图,不难看出是一个复杂的函数关系.

3.2 视轴晃动的测量

在测量视轴晃动前,先穿轴使得平行光管的光轴和镜头的光轴一致,也就是使得光管的星点图长短焦都和 CCD 靶面中心尽可能重合,这是测量视轴晃动的先决条件.测量视轴晃动就是每隔一定的焦距值获得星点离 CCD 靶面中心的偏移量.从而建立一个查找表,在时后判读时将其修正^[5].

3.3 传动系统的空回

由于镜头的传动系统采用齿轮传动,所以齿轮间隙引起的空回必不可少.而齿轮转角和焦距的关系并不是线性关系而是一个复杂的曲线关系(如图 4),但从总体看同样的转角随着焦距变大,影响也逐渐明显.因此为了获得精确的焦距值,测量和修正空回成为必不可少的部分.

4 自动变焦的实现

在高速电视测量仪实施跟踪时,系统主要是通过理论弹道来引导,单杆修正以及电视跟踪加权实现跟踪.所以跟踪过程中焦距的变化也主要是通过事先载入的理论弹道的数据来实现的.

4.1 初始焦距的确定

在实际的应用中,到系统处于待机状态时,焦距值也处于一个合适的值使得目标长正好为视场的一半.因此初始焦距和目标长、CCD 的纵向像元数、像元大小有关.即

$$f_0 = R_0 \frac{0.5 H_{CCD} u_{CCD}}{l}$$

式中 R_0 为目标离镜头的初始距离, H_{CCD} 为 CCD 的纵向像元数, u_{CCD} 为像元大小 0.0083, l 为目标的长度.

4.2 变焦机制及软件流程图

变焦时采用每隔一秒从理论弹道中获取一个目标与镜头的距离值,计算出电机所需要的速度,实时地调整电机的速度,从而达到连续实时变焦的目的.在变焦过程中,如需要实时地修正理论弹道的偏移,可以通过手动调整焦距+,焦距-的按键来及时修正.整个过程的流程如图 6.

5 准确度分析

高速电视测量仪从功能看,是一种典型的高速电视经纬仪.系统总测量准确度由诸多因素所决定,是一个复杂的函数关系,按照典型经纬仪的准确度分析方法分析是合理的.高速电视测量仪其特点之一是光学测量系统采用了连续变焦镜头,众所周

知,连续变焦镜头系统存在不可避免的焦距实时输出误差和视轴晃动误差,两种误差均对判读测量误差和零向测量误差有影响,因此,我们在研制和标定变焦镜头时,对其两种误差量给予了较严格的控制,并在事后处理时通过软件对视轴晃动误差(其中的系统量)进行了修正.

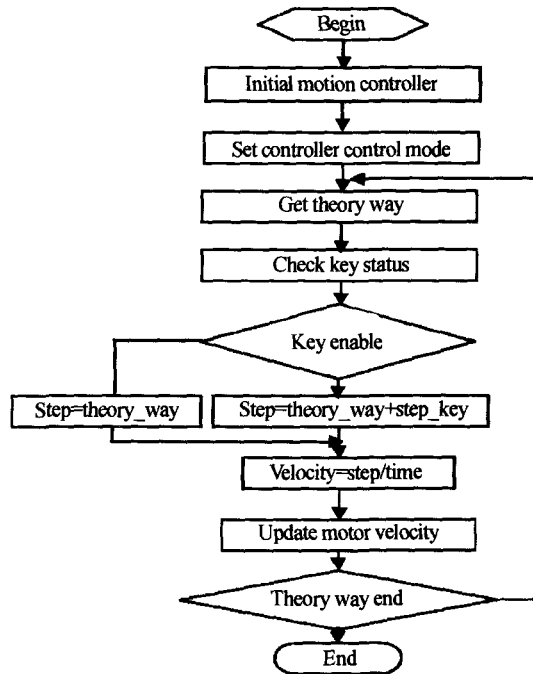


图 6 自动变焦流程图

Fig. 6 Automatic focusing flow chart

5.1 焦距输出误差

变焦镜头焦距的实际输出值是通过事先标定而给出的,焦距输出准确度可以控制在 0.5% 以内,如 $f=500$ mm、焦距输出误差在 0.5%、判读点在 0.7ω (mm) 时,焦距输出误差对脱靶量测量的影响为

$$\Delta_1 = \arctan \frac{X \cdot \Delta f}{f^2} = \frac{1.73 \times 2.5}{500^2} = 3.6''$$

式中 X 为 0.7 视场时的脱靶量(mm), Δf 为焦距输出误差

5.2 视轴晃动误差

镜头在变倍过程中,变焦组、补偿组和调焦组在轴向移动时,在径向方向的晃动造成视轴晃动,根据对镜头标定和检测的情况看,视轴晃动误差的随机量小于 3 个象元,系统量小于 4 象元;考虑到标定误差,因此在系统量修正后仍存在残差,修正后实际视轴晃动误差近 2.3 个象元(0.02 mm), $f=500$ mm 时,视轴晃动误差为

$$\Delta_2 = \arctan \frac{2.3 \times 0.0083}{f} = 7.5''$$

式中 0.0083 为 CCD 像元的大小(mm)

6 结论

综上所述,采用变焦距镜头作为光电测量在国内是第一次采用,但是只要控制步进电机的稳定性和准确性,提高镜头标校准准确度,发挥变焦距镜头的连续变焦的特长,采取各种措施提高焦距输出的稳定性和准确性,将其用于精密测量具有很大的优越性。

参考书目

- 1 何照才. 光学测量系统. 北京:国防工业出版社,2002. 1
He Zhao cai. Optical Measure Systems, Beijing: National Defence Industry Press. 2002. 1
- 2 李林,安连生. 计算机辅助光学设计的理论和应用. 北京:国防工业出版社,2002. 4
Li L, An L S. Theory and Application about Optical Design by Computer. Beijing: National Defence Industry Press. 2002. 4
- 3 SysCentreModuleTM/SPT 技术手册. 版本 1. 5, SBS Science & Technology Co., Ltd.
SysCentreModuleTM/SPT technical manual. Vol 1. 5, SBS Science & Technology Co., Ltd
- 4 杜云飞,曹建中. 捕获电视的精确调焦. 光子学报,2003, 32(12):1526~1528
Du Y F, Cao J Z. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(12): 1526~1528
- 5 胡炳梁,曹建中. 变焦距镜头组的自适应调焦的实现. 光子学报,2003,32(8):1004~1006
Hu B L, Cao J Z. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(8): 1004~1006

The Study at Automatic Focusing Systems and Methods of Calibrated Focal Length Used in Precision Measurement

Yang Xiaojun^{1,2}, Su Xiuqin², Hao Wei^{1,2}, Liu Gang^{1,2}, Li Zhe^{1,2}, Yang Xiufang³

¹ Graduate College of Chinese Academy of Science, Beijing 100039

² Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

³ College of Machinery and Precision Instrument, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048

Received date: 2004-10-19

Abstract Introduced a method of controlling and calibrating focal length about zoom lens used in precision measurement in High-Speed TV Measurement Instrument. Systems adopted PC104 SysCentreModule, Motion Controller and Step Motor to realize precision control in the zoom systems. In addition, correct lens systematic error by precise calibrated focal length. In this method, it became possible that High-Speed TV Measurement Instrument Systems based on zoom lens were used in trajectory measurement and to improve measurement accuracy in shooting range greatly.

Keywords High-speed TV measurement; Automatic focusing; Zoom lens; Calibrated focal length



Yang Xiaojun was born in 1978 and graduated from Xi'an Institute of Technology in 2000. Then he became a graduate student of Graduate School of The Chinese Academy of Sciences in Communication & Information System. Now his research jobs are Image Processing, Moving Target Tracking and DSP processing at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of Chinese Academy of Science.