

文章编号: 0253-2239(2010)01-0105-04

航空成像设备自动调焦方法

周九飞 翟林培 周 刚 冷 雪 陈滢惠

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要 随着航空技术的不断发展,航空成像设备不断涌现,对设备调焦精度要求也越来越高。提出一种航空成像设备自动调焦方法,重点分析自动调焦控制原理和光栅法调焦原理,同时给出自动调焦系统在整个航空成像设备中的工作流程,对光学系统允许离焦量进行计算及实验验证,并说明实际照相过程中如何进行自动调焦补偿。实验表明,通过该方法进行自动调焦,调焦精度优于 0.02 mm,调焦时间约 5 s。

关键词 成像系统;航空成像设备;自动调焦;光栅法;离焦量;自动调焦补偿

中图分类号 O436 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20103001.0105

Autofocus Method of Aerial Imaging Device

Zhou Jiufei Zhai Linpei Zhou Gang Leng Xue Chen Xihui

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

Abstract More and more aerial imaging devices appear with the development of aviation technology, and imaging devices demand more and more high focusing precision. This paper discusses an autofocus method of aerial imaging device, in which, principle of autofocus control and grating method are analyzed in detail, flow chart of autofocus system in whole aerial imaging device is given out and off-focus quantity allowed is computed and verified in experiments, and indicates how to proceed with automatic focusing compensation at the actual photographic process. The experimental results show that using the method of automatic focusing, focusing precision is less than 0.02 mm, focusing time around 5 s.

Key words imaging system; aerial imaging device; autofocus; grating method; off-focus quantity; autofocus compensation

1 引 言

我国航空成像设备起步较晚,早期的设备功能结构简单,一些设备没有自动检焦功能,甚至有的设备调焦功能都不具备。近年来航空成像设备的相关研究也进入一个新的阶段,出现了许多调焦机构和调焦方法,然而多数设备调焦精度不高,调焦时间较长^[1~5]。特别是长焦成像设备是当前研究的一个重要方向,而长焦距成像设备对调焦精度要求更高。为此介绍一种快速高精度自动调焦方法^[6~8],并通过实验进行验证,进而为航空成像设备自动调焦提供一种切实可行的方法。

2 自动调焦控制原理

该自动调焦方法采用光栅法调焦,它的基本工

作原理如图 1 所示。每次照相前,航空成像设备自动调焦系统首先要进行校准,以便确定在开始照相之前航空成像设备的焦距。这时的航空成像设备焦距不等于所标定的焦距,航空成像设备标定的焦距是航空成像生产单位在规定的环境下(即一定压力和温度)测得的,而照相前由于航空成像设备的环境条件改变,所以焦距不同。通常把这种校准叫做对无限远调焦。校准时,扫描头反射镜首先处到校准位置,此时扫描头反射镜与航空成像设备镜头的主光轴垂直。同时自动调焦灯照亮光栅板,光栅标板的影像通过镜头再由扫描头反射镜反射到光电聚焦传感器上。光电聚焦传感器将所接收的光栅像信号送放大器进行比较放大,而后控制伺服电机工作。伺服电机驱动调整胶片展平板的位置,当胶片乳剂

收稿日期: 2009-02-10; 收到修改稿日期: 2009-03-23

基金项目: 中国科学院知识创新工程领域前沿项目(O70Y32R070)资助课题。

作者简介: 周九飞(1975—),男,硕士,助理研究员,主要从事航空成像与测量技术等方面的研究。

E-mail: xia_ming_zi@sohu.com

面处于无限远焦面位置时,放大器输出为零,调焦驱动伺服电机停止工作,并将确定的无限远焦面位置电压信号存储在储存器中,此时校准结束。

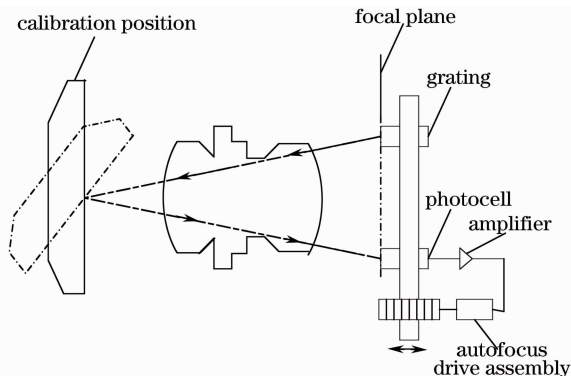


图 1 自动调焦控制原理

Fig. 1 Principle of autofocus control

校准完成后,扫描头反射镜返回照相的位置。航空成像设备微机根据航空成像设备倾斜角和飞机惯性制导提供的高度信号求得照相斜距,并根据斜距计算出调焦补偿量。再通过电路把这个距离调焦补偿量变成模拟电压量去控制调焦伺服机构工作,直至将胶片乳剂面调到镜头最佳焦面位置,这时航空成像设备开始曝光。如果是进行一个周期多幅的照相,照相倾斜角的变化引起照相斜距的变化,则航空成像设备微机将根据新的倾斜角确定新的距离调焦补偿量,调焦伺服机构便进行一次新的调焦。

飞行高度变化引起大气压力变化,空气压力传感器探测到航空成像设备的环境气压,并按照在实验室中标定的镜头焦面位移和气压变化的函数关系产生模拟电压,去控制调焦伺服机构完成压力调焦补偿。

3 光栅法调焦原理

该方法中,在光敏电阻前方有一个光调制盘,光调制盘的作用是使焦点在光敏电阻表面附近沿轴向低频摆动,以便确定调焦方向。光调制盘是一个圆形的玻璃盘,它的一半厚,一半薄,由调制电机带动转动,调焦光路通过光调制盘后照射在光敏电阻上。光调制盘每转一周,调焦光路分别通过光调制盘的厚区和薄区各一次。玻璃厚区光程长,玻璃薄区光程短,光调制盘转一周使光栅影像从“近距”位置到“远距”位置摆动一次。

光调制盘使焦面在光敏电阻表面附近摆动的原理,在图 2 中用图示的方法说明。

- 1) 焦点位置,其中 A 点为无调制盘时的焦点。
- 2) 光调制盘薄区部分对正光路时的焦点位置,此时焦点 B 后移, $a < b$ 。
- 3) 光调制盘厚区部分对正光路时的焦点位置,此时焦点 C 又向后移动了一点, $a < b < c$ 。
- 4) 光调制盘转动使焦点在光敏电阻表面附近沿轴向前后摆动。当焦距正确时,光敏电阻表面在两焦点正中央,这时光敏电阻的阻值始终为某值不变,光敏电阻输出的电压波形如图 2(d-2) 所示,波形图中的小尖脉冲是光调制盘转动时光路通过厚区与薄区交界处所造成的。
- 5) 焦距减小时,光敏电阻靠近 C 点,光调制盘转动使焦点摆动,造成光敏电阻的阻值呈周期性变化,光敏电阻输出电压的波形如图 2(e-2) 所示。
- 6) 焦距增大时,光敏电阻靠近 B 点,光调制盘转动使焦点摆动,造成光敏电阻的阻值呈周期性变化,光敏电阻输出电压的波形如图 2(f-2) 所示。

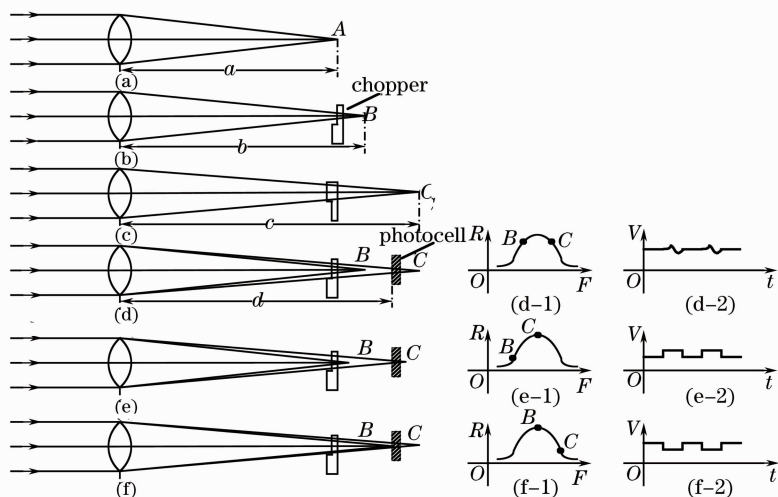


图 2 光栅法调焦原理

Fig. 2 Focusing principle of grating method

由图 2 可见,焦距减小和增大时,光敏电阻输出电压波形的相位差为 180° 。

4 调焦工作流程

自动调焦伺服系统有四种工作方式,分别是准备状态、校准状态、保持状态和距离状态。说明如下:

准备状态:航空成像设备总开关拨至“准备位置”时,航空成像设备处于准备状态,自动调焦伺服系统此时也处于准备状态。在准备状态下,自动调焦伺服系统进行调焦以补偿大气压力和温度造成的聚焦误差,该状态下的调焦叫近似调焦,也称粗调焦。

校准状态:航空成像设备总开关从“准备”位置拨至“工作”位置时,自动调焦伺服系统首先处于校准状态。在校准状态,自动调焦传感器部件工作,调焦灯亮,低频电机转动,自动调焦伺服系统开始确定对无穷远聚焦的焦面位置,这种调焦叫精调焦,也称细调焦。

距离状态:自动调焦校准状态结束后,系统便自动进入距离状态。在距离状态,航空成像设备微机根据飞行高度和航空成像设备倾斜角确定照相斜距,产生距离调焦补偿模拟电压量,控制自动调焦伺服系统进行微量调焦。

保持状态:航空成像设备曝光时不希望调焦,在快门曝光之前,航空成像设备微机向自动调焦伺服系统发出停止调焦指令,自动调焦伺服系统停止调焦。

航空成像设备在准备状态下,对航空成像设备自动调焦进行自检,自动调焦伺服系统先将焦面调到粗调焦位置(即理论焦面加上温度压力补偿后的焦面位置),在该位置进行一次调焦校准,并记录焦面位置;之后将焦面以距离调焦的方式将焦面位置从当前位置往增大方向移动 0.254 mm ;然后又进行一次调焦校准,并记录第二次焦面位置,最后将两次记录的结果进行比较,若两次结果对应的码值之差在 $-19\sim+19$ 之间,则表示自动调焦正确;若两次结果对应的码值之差不在该范围内,则指示调焦故障。航空成像设备准备好后,进入工作状态,航空成像设备首先进行一次调焦校准,校准时间约 5 s 。

5 调焦允许误差及实验结果

航空成像设备允许的离焦误差为

$$\delta = \frac{\Delta}{2} = 2F^2\lambda = 34.49\ \mu\text{m}.$$

通过上面的分析可知,航空照航空成像设备自动调焦允许的调焦误差为 ± 19 个码值,19 个码值对

应焦面移动的电压为 0.092 V ,对应的距离为 $9.4\ \mu\text{m}$,则自动调焦允许误差范围为 $\pm 9.4\ \mu\text{m}$ 。航空成像设备两次上电,各进行四次自动调焦校准的测量结果如表 1 及表 2 所示。

表 1 第一次测量记录

Table 1 First measurement record

Number	Ready status /V	Calibration status /V	Focusing time /s
1	6.025	5.891	5
2	6.024	5.894	5
3	6.026	5.896	5
4	6.024	5.903	5
Maximal error	0.002	0.012	

表 2 第二次上电测量记录

Table 2 Second measurement record

Number	Ready status /V	Calibration status /V	Focusing time /s
1	6.027	5.855	5
2	6.024	5.892	5
3	6.028	5.894	5
4	6.026	5.973	5
Maximal error	0.004	0.039	

第一次上电测量误差为 $1.2\ \mu\text{m}$,第二次上电测量误差为 $3.9\ \mu\text{m}$ 。两次实验测量数据表明,单次上电多次自动调焦,调焦误差均小于 $9.4\ \mu\text{m}$,调焦时间均为 5 s ,实际调焦精度优于 0.02 mm 。

6 自动调焦补偿

每次照相前,航空成像设备首先进行校准,以便确定在开始照相之前相机的焦距。这时的相机焦距不同于相机所标定的焦距。相机标定的焦距是相机生产单位在规定的条件下(即一定的大气压力和温度)测得得,而空中照相时由于相机的环境条件改变,焦距也随之变化,前面讨论的校准所确定的焦面即是成像设备照相环境条件下的焦面,通常称为无限远焦面。但在实际成像过程中,有三个主要方面的因素会造成航空成像设备离焦:1)随着飞行高度的变化大气压力也随之变化,这种变化会引起光学焦面的位移;2)设备环境温度的变化也会造成光学系统中空气折射率的变化,从而也会引起设备镜头离焦;3)空中照相的照相距离由飞行高度和成像设备的倾斜角确定的,不同的照相距离对应象面的位置也是不同的,因而也造成离焦。正是由于存在这些因素会对设备照相造成离焦,因此设备确定无穷远焦面后还必须根据实际环境条件进行自动调焦补偿。在实际照相过程中,设备控制系统要根据当

前飞行高度和倾斜角计算出照相距离,并根据照相距离计算出调焦补偿量,同时控制系统还要根据当前设备的环境气压和环境温度,按照在实验室中标定的镜头焦面位移同气压及温度变化的函数关系计算出大气压力及环境温度引起的离焦量。在照相前调焦伺服控制系统完成距离、压力和温度调焦补偿。一般来说,无限远焦面每次照相任务只需校准一次,而自动调焦补偿是在每幅照相前都需要补偿的,这样航空成像设备每次照相时相机的离焦量都能控制在设备的 0.5 倍焦深之内,从而保证图像的清晰度和分辨率。自动调焦补偿时间都相当短,不同的是自动调焦系统确定无穷远焦面时间较长,通常需要几十秒,因此 5 s 的无限远焦面校准时间是相当快的。

7 结 论

实验结果表明,利用该方法进行自动调焦,调焦时间快,调焦精度高,尤其适用于对时间要求较高的航空侦察设备进行自动调焦。同时航空成像设备在每幅照相前自动进行距离、压力和温度调焦补偿,因此在实际照相过程中,虽然设备环境发生变化,但设备焦面仍能保持在规定的焦深范围内。该方法具有通用性,也可用于其它需要精确调焦的光学系统中。

参 考 文 献

1 X. F. Da, B. H. Zhang, Q. P. Bian. Electronics system design of high resolution many spectrum digital camera [J]. *Opt. Technol.*, 2006, **32**(4): 521~523

- 达选福,张伯琦,边川平. 高分辨率多光谱数字相机电子学系统的设计[J]. *光学技术*, 2006, **32**(4): 521~523
- 2 Suzuki Kenichi. The autofocus technology of the single lens reflex[J]. *Optical Instrument in Jiangxi*, 2001, (2): 45~49
- 铃木谦二. 单反照相机的自动调焦技术[J]. *江西光学仪器*, 2001, (2): 45~49
- 3 Li Zhaohui, Kuang Haipeng, Han Changyuan *et al.*. Study of real-time autofocus technique using correlation method for space camera[J]. *China J. Science Instrument*, 2002, **23**(2): 166~169
- 李朝辉,匡海鹏,韩昌元等. 空间相机相关法实时检焦技术研究[J]. *仪器仪表学报*, 2002, **23**(2): 166~169
- 4 Xu Weian. The mechanical design of the autofocus system in the theodolite [J]. *Optics and Precision Engineering*, 1996, **14**(3): 52~57
- 徐维安. 电影经纬仪自动调焦的结构设计[J]. *光学精密工程*, 1996, **14**(3): 52~57
- 5 Fan Yiwei, Gong Mali, Wang Changting *et al.*. Off-axis detect on approach: a new autofocus method [J]. *Acta Optica Sinica*, 1990, **10**(5): 470~475
- 范易伟,巩马理,王常廷等. 一种新的自动调焦方法-离轴探测法[J]. *光学学报*, 1990, **10**(5): 470~475
- 6 Zhao Lin, Jin Weiqi, Chen Yinan *et al.*. Blind restoration for defocus blurred image based on autocorrelation of derivative image [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(9): 1703~1709
- 赵琳,金伟其,陈翼男等. 基于微分图像自相关的离焦模糊图像盲复原[J]. *光学学报*, 2008, **28**(9): 1703~1709
- 7 Sun Minglei, Zong Guanghua, Dong Dai *et al.*. A method of image resolution calibration for automatic microscopic zooming based on NCCO [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(6): 1117~1123
- 孙明磊,宗光华,董代等. 基于标准互相关函数的图像分辨率自动标定方法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(6): 1117~1123
- 8 Chen Xin, Sun Yi, Zhu Peiping. Reconstruction algorithm of cone-beam phase X-ray computer-tomography based on grating imaging [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(6): 1079~1084
- 陈欣,孙怡,朱佩平. 光栅成像的锥束相位 CT 重建算法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(6): 1079~1084