

文章编号:1001-5078(2012)03-0296-05

· 光电技术与系统 ·

彩色大面阵数字航空遥感相机技术的研究

惠守文, 刘立国

(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:提出了一种以彩色大面阵 CCD 探测器作为成像介质的的大视场数字航空摄影相机设计技术。采用对称 Russar 型光学系统,在获得了大视场角的同时最大程度的降低了光学畸变;设计了精确的微位移传动系统移动 CCD 探测器以补偿前向像移,提高了相机的动态分辨率;设计了一种双叶片的中心式机械快门,获得了宽范围的曝光时间控制,保证了探测器的均匀曝光及合适的图像重叠率。地面及空中成像测试中相机的静态分辨率达到了 CCD 特征频率的要求,获得了清晰的航拍彩色图像,表明相机的各项技术性能满足要求,该相机技术已应用到国土资源的遥感普查中。

关键词:彩色大面阵 CCD;光学系统;中心式快门;像移补偿

中图分类号:V216.8 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.03.012

Study on area scan color CCD for digital aerial remote sensing camera

HUI Shou-wen, LIU Li-guo

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

Abstract: This paper describes an aerial digital camera with large format of view using Area Scan color CCD as imaging medium. Large field and low distortion of optical lens is emphatically studied. The symmetrical Russar optical system not only ensures a wide field of view, but also reduces the distortion mostly. In order to improve imaging resolution and imaging quality of aerial photography image, a forward imaging moving compensation device has been designed to provide microscopic operations. To adapt to illumination change and obtain appropriate image overlap. It is adopted a two-blade mechanical central shutter which can fit for wide exposure range while ensuring the homogeneity of the detector exposure. According to the imaging test on ground and in flight, the camera's static resolution reaches the CCD's characteristic frequency. Obtaining clear color images in aerial tests proves that the camera's technical parameters can meet the requirements. Currently the camera is being used in remote sensing survey in our country.

Key words: area scan color CCD; optical system; mechanical central shutter; image displacement compensation

1 引言

近20多年来,科技的发展和 CCD 探测器技术日益成熟极大地提高了数字航空遥感相机的成像质量。数字航空遥感相机至今已发展至很高的水平,种类趋于多样化。如 Leica 的 ADS40 相机,蔡司公司生产 DMC 数字相机,代表了当今航空遥感相机的发展水平。按照成像方式航空遥感相机可分为推扫

式、全景式和画幅式。画幅式航空遥感相机应用广泛,焦距灵活,可适应低空、中高空等不同高度的遥感要求,具有遥感区域大、图像分辨率高、结构紧凑、

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划项目(No. 2007AA701203)资助。

作者简介: 惠守文(1974-),男,研究员,硕士,主要从事航空遥感器的研究工作。E-mail:2581876@sina.com

收稿日期: 2011-07-13

适应能力强、操作方便等优点,已成为航空遥感相机中重要的一员^[1-2]。

本文探讨的画幅式航空遥感数字相机主要在低空工作,采用彩色大面阵 CCD($4\text{ k} \times 7\text{ k}$)作为成像器件,相机的横向视场达到了 75° 。由于彩色面阵 CCD 探测器不具备电子快门和 TDI 功能,研制了一套宽范围曝光的中心式快门和一套补偿前向像移精确传动系统。

2 彩色面阵 CCD 的工作原理

相机主要由光学镜头、叶片式中心快门、面阵 CCD、前向像移补偿系统、存储控制系统等组成,如图 1 所示。

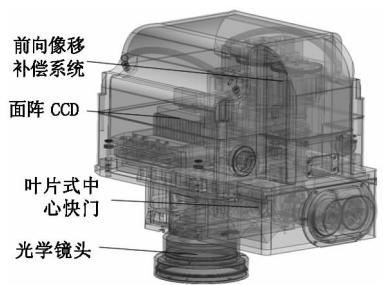


图 1 相机外形图

Fig. 1 the shape of camera

相机垂直安装在 Y-5、Y-12 等遥感飞机上,面阵 CCD 平行于地面放置,来自地面景物的光线经大气、光学镜头及中心快门会聚在面阵 CCD 上;相机工作时像移补偿系统推动面阵 CCD 沿飞行方向微量移动,达到补偿前向像移的目的;同时中心快门根据光照条件选择合适的曝光时间,并且保证拍照周期能够实现相邻两次成像区域所需的重叠率。原理如图 2 所示。

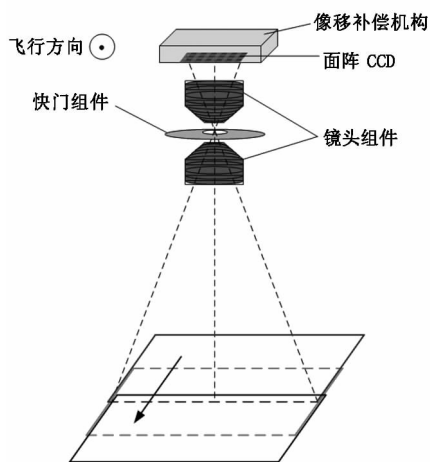


图 2 相机成像原理图

Fig. 2 theoretical illustration of camera imaging

3 关键技术分析

3.1 大视场高分辨率摄影光学系统

相机采用 $4\text{ k} \times 7\text{ k}$ 的全帧彩色大面阵 CCD,根据彩色 CCD 光谱曲线的特点,相机光学系统的光谱范围设计为 $450 \sim 650\text{ nm}$ 。

根据面阵 CCD 的幅面、光谱曲线及相机横向视场 75° 的要求,采用 Russar 型光学系统,因其结构完全对称,消除了慧差、畸变的影响,并且进一步复杂化光学系统的结构形式^[3-5],优化出了满足系统要求的光学系统,各种像差也得到了很好的校正。图 3 为设计的光学系统图,图 4 为 MTF 图。光学系统的视场角可达到 83° ,全视场畸变不大于 0.04% 。

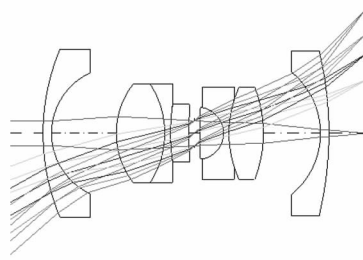


图 3 光学系统图

Fig. 3 structure of optic system

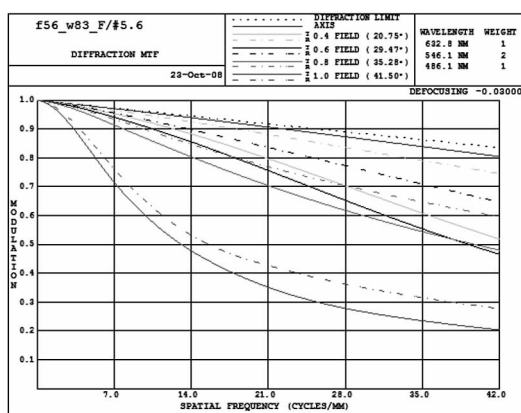


图 4 光学系统的传递函数曲线

Fig. 4 MTF of optic system

3.2 前向像移补偿技术

空中摄影时由于曝光瞬间飞机的向前运动产生了影像位移,造成图像分辨率下降,为了提高成像质量,现代航空遥感相机都设有像移补偿装置^[6-7]。常见的前向像移补偿方式有移动成像器件、移动镜头、旋转反射镜等。针对数字摄影相机的特点,设计了一套精密的微位移传动系统,驱动面阵 CCD 运动,使面阵 CCD 运动速度与像移速度一致以消除前向像移的影响,相机前向像移补偿原理如图 5 所示。

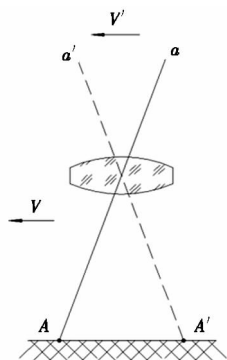


图 5 前向像移补偿原理

Fig. 5 compensation for forward imaging moving

由于飞机的运动使景物 A 以速度 V 运动到了 A' , 景物 A 的像 a 以速度 V' 运动到了 a' , 相机在曝光过程中, 使面阵 CCD 以速度 V' 作微位移移动 (始终在光学系统视场内), 保持像 a 相对静止不动, 即影像静止不动, 从而达到了补偿前向像移的目的。

由飞机前向飞行引起的像移速度为:

$$V' = \frac{V}{H} \cdot f \cdot \cos \theta$$

式中, V' 为像移速度; V 为飞机的飞行速度; H 为飞机的飞行高度; θ 为目标的倾斜角, 根据本相机工作方式, $\theta = 0^\circ$ 。

根据彩色面阵 CCD 的性能指标, 数字摄影相机的摄影周期不应小于 2 s, 像移补偿系统应至少每隔 2 s 工作一次, 像移补偿系统不但要达到补偿所需的速度, 还要保证 CCD 每次都回到初始位置, 即补偿系统应为一个往返循环运动系统。前向像移补偿系统主要由高品质驱动电机、离合器、凸轮、精密传动机构及编码器等组成。选择无停留等速凸轮^[8]与双滚子传动机构配合作为补偿系统的核心元件, 凸轮运动曲线如图 6 所示。

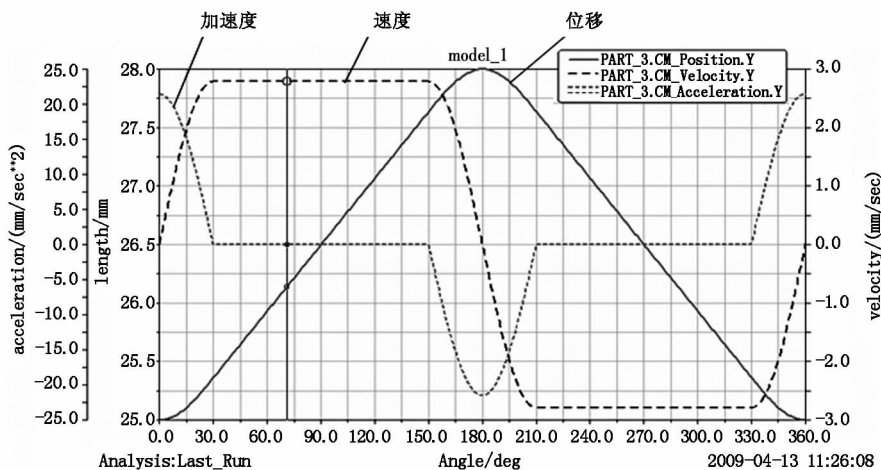


图 6 凸轮运动曲线

Fig. 6 cruve of cam movement

像移补偿系统工作原理如下: CCD 探测器通过精密传动机构与凸轮连接, 凸轮与离合器连接。离合器吸合时, 电机将运动传递给凸轮机构, 凸轮机构推动 CCD 探测器移动, 实现前向像移补偿。凸轮旋转一周后, CCD 探测器回到初始位置, 离合器释放锁紧 CCD 探测器, 凸轮机构不再传递运动, 直至离合器下次吸合。编码器用于精确测量 CCD 探测器的运动速度和位置。

3.3 中心式快门技术

快门是在一段给定的时间内允许从被拍摄物体来的光线通过它落到 CCD 感光层上去的一种机构, 根据结构的不同, 现有的航空摄影快门可分为中心式、百叶窗式和帘幕式三种形式。由于数字相机光学系统的后截距较短, 选择了中心式快门的技术方案, 并将中心式快门放在光学镜头中光束最细的地

方 (光栏孔径处), 以减少中心快门的体积和提高效率。为了适应不同的光照度和获得合适的图像重叠率, 提出了一种快速的共轴双叶片中心式机械快门技术, 获得了宽范围的曝光时间控制, 同时保证探测器的均匀曝光^[9]。

数字相机快门主要由叶片、齿轮机构、框架、快门驱动电机、离合器及编码器等组成。工作原理如下: 两片叶片分别有各自的传动系统, 且转轴同心, 其中一片叶片的转速是另一片叶片的 4 倍, 分别称之为快叶片和慢叶片, 每片叶片上都开有扇形孔。相机摄影一次, 慢叶片和快叶片同时转动, 慢叶片通过光学系统的光栏孔径时, 其上的扇形孔将光栏孔径打开, 此时, 快叶片也快速通过光栏孔径, 控制光栏孔径开关的时间, 使相机曝光成像一次, 通过改变快门电机的转速实现曝光时间的连续可调。叶片的

启动和停止依靠离合器控制,快门的有效曝光时间范围为 $1/100 \sim 1/1000$ s。

快门效率是快门参数中一项重要的指标,快门必须具有较高的效率才能保证相机的图像质量,对彩色数字相机来说尤为如此。快门的工作分为三个阶段:光栏孔径被逐渐打开阶段;光栏孔径被完全打开阶段;光栏孔径被逐渐关闭阶段。图 7 是本相机快门工作一个循环的特性曲线,图上表示了光栏孔径光孔面积 S 随时间 t 的变化。

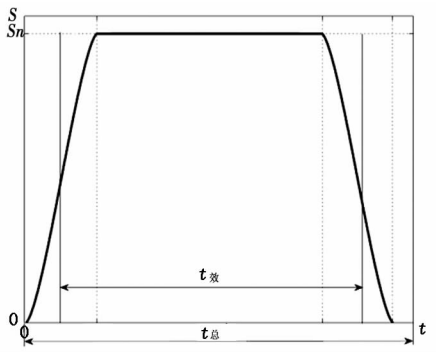


图 7 快门特性曲线

Fig. 7 curve of shutter characteristic

快门效率计算公式如下:

$$\eta = \frac{t_{\text{效}}}{t_{\text{总}}}$$

式中, η 为快门效率; $t_{\text{效}}$ 为有效曝光时间; $t_{\text{总}}$ 为实际曝光时间。

经计算,数字摄影相机快门效率为 72%。

4 地面和空中成像测试

4.1 地面成像测试

数字相机装配调试完成后,首先进行了室内鉴别率板静态成像试验(黑白图像)和外界景物成像试验,获得的鉴别率板图像表明相机达到了选用面阵 CCD 探测器的特征频率要求(41.6 lp/mm),静态照相分辨率达到了理论设计值;相机获得的清晰图像表明相机的功能及性能达到了设计要求。获得的图像如图 8 所示。

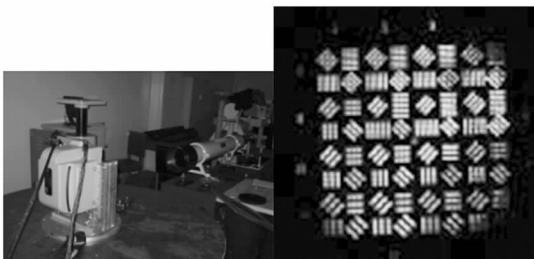


图 8 鉴别率板成像

Fig. 8 resolving power imaging

4.2 飞行成像测试

2010 年 11 月,在河南安阳对彩色数字航空遥感相机进行了 Y-5 遥感飞机搭载飞行测试,如图 9 所示。目的是对彩色数字航空遥感相机进行空中成像测试,总共进行了两个架次的飞行,共获得 300 多张图像,获得了清晰的彩色图像,取得了满意的结果。图 10 为获得的图像。



图 9 相机机上安装图

Fig. 9 camera in the aeroplane



图 10 飞行获得的图像

Fig. 10 acquired image in flight

5 结论

在航空遥感中,应用彩色 CCD 获得彩色照片能够使人们更加直观清晰的观察目标,是航空遥感技术的发展趋势,彩色数字航空遥感相机不但解决了大视场高传函光学镜头技术,还解决了彩色 CCD 补偿前向像移的难题,并提出了一种快速双叶片的中心式快门技术,无论是地面成像测试,还是空中成像测试,都获得了清晰的彩色图像,使数字摄影相机获得了真正的应用。

在后续研究中,可对数字摄影相机进行内、外方位元素标定和加装惯导定位系统,从而实现精确的空中测量。

参考文献:

- [1] Chang Benyi. Status and consideration of high resolution digital photogrammetric[J]. Geomatic Science and Engineering, 2005, 25(3): 1-4. (in Chinese)
常本义. 高分辨率数字航测相机现状与思考[J]. 测绘科学与工程, 2005, 25(3): 1-4.
- [2] Wang Jiaqi. Optical instrument total design[M]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Science, 1998. (in Chinese)

nese)

王家琪. 光学仪器总体设计[M]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,1998.

- [3] Feng Xiuheng. The photograph optical system design [M]. Changchun, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, the Chinese Academy of Science, 2009. (in Chinese)

冯秀恒. 摄像光学系统设计[M]. 长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2009.

- [4] Zhang Yimo. Applied optics[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1982. (in Chinese)

张以谟. 应用光学[M]. 北京:机械工业出版社,1982.

- [5] Chang Lingying, Yang Jianfeng. A new plane array CCD space three-dimension photographic system[J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(8): 1165 - 1168. (in Chinese)

常凌颖,杨建峰. 一种新型面阵 CCD 航天立体摄影测量光学系统[J]. 光子学报, 2005, 34(8): 1165 - 1168.

- [6] Alexander Hinz, Christoph Drstel. Digital Modular Camera: System Concept and Data Processing Workflow [C]. Amsterdam, 2000.

- [7] Alexand. DMC-The Digital Sensor Technology of Z/I-Imaging[M]. Wichmann Verlag, Heidelberg, 2001.

- [8] Chang. Daxian. Mechanism design handbook/machine [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004. (in Chinese)
成大先. 机械设计手册/机构[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.

- [9] Н. П. Эказнов. The shutter of aerial camera [M]. Beijing: Science Press, 1974. (in Chinese)

Н. П. 扎卡兹诺夫. 航空摄影机的快门[M]. 北京:科学出版社, 1974.