

文章编号: 1002-2082(2011)03-0460-04

一种彩色面阵 CCD 测绘相机前向像移的补偿方法

张景国, 亚林, 田海英, 李延伟, 远国勤, 于春风

(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: 为了实现对前向像移的补偿, 提出一种通过合理调整快门曝光时间和飞机速高比之间的关系来补偿前向像移的方法, 对前向像移产生的原因进行研究。介绍彩色面阵 CCD 工作原理、相机工作原理, 从光学系统成像原理的角度分析产生前向像移的原因, 还分析了速高比和曝光时间误差。实验结果表明: 速高比误差和曝光时间误差均可控制在合理误差范围内, 满足前向像移量小于 1.5 个像元尺寸的补偿要求, 达到了测绘相机的精度指标。

关键词: 彩色面阵 CCD; 前向像移; 曝光时间; 速高比

中图分类号: TN911.73; V216.8

文献标志码: A

Compensation for forward image motion of color area array CCD mapping camera

ZHANG Jing-guo, DING Ya-lin, TIAN Hai-ying, LI Yan-wei, YUAN Guo-qin, YU Chun-feng
(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, CAS, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to compensate the forward image motion of a mapping camera on an aircraft, a method by adjusting the relationship between the shutter exposure time of the camera and the speed-altitude ratio of the aircraft was put forward. The causes of the forward image motion were studied. Firstly, the operation principles of the color area array CCD and the camera system were introduced. Then the causes of the forward image motion were analyzed based on the imaging principle of the optical system. Finally, the errors of the speed-altitude ratio and the exposure time were analyzed. The experimental results show that the errors are controlled within allowable limit and it meets the compensation requirement of less than 1.5 pixel for the forward image motion.

Key words: color area array CCD; forward image motion; exposure time; high-speed ratio

引言

目前航空数字相机已逐渐取代传统胶片式相机, 成为大比例尺地理空间信息获取的主要手段。我国自主研发的 TOPDC4 四拼数字航空测绘相机已成功应用于我国第 2 次土地调查。

与此同时国外也推出了新型号 Uitracam XP 和 ADS80 以及新的大幅面 DiMAC WiDE、Rollei-Metric AICX4 和中幅面 Applanix DSS439 等测绘相机, 其硬件性能进一步提高, 目前一些发达国家

正致力于大面阵 CCD 的研究。面阵 CCD 按颜色可分为黑白面阵 CCD 和彩色面阵 CCD 两种, 彩色面阵 CCD 成像采用的是 Bayer 滤波形式, 因此无法象黑白 CCD 那样通过电荷转移的方式进行像移补偿。当相机垂直地面进行推扫成像时, 由飞机前向飞行速度造成的前向像移势必影响相机成像质量, 造成相机分辨率下降。通常解决前向像移的方法有机械方法(通过机构移动像面)和电子学方法(通过 CCD 电荷移动的方式), 由于载机空间

收稿日期: 2011-11-08; 修回日期: 2010-12-01

作者简介: 张景国(1972-), 男, 黑龙江双鸭山人, 硕士, 主要从事航空光学仪器结构设计工作。E-mail: hitzjg@126.com.

和相机质量的限制以及彩色 CCD 成像等原因,无法采用机械和电子学的方式进行前向像移补偿,为此,本文结合实际情况提出了一种通过合理调整快门曝光时间和飞机速高比之间的关系来补偿前向像移的方法。

1 彩色面阵 CCD 工作原理

对于彩色面阵 CCD 而言, CCD 每个像元对应有 R、G、B 中的一种颜色滤镜,彩色滤镜阵列采用 Bayer 滤波模式, Bayer 滤波器的模式如图 1 所示。在由 4 个像素组成的模块中,其中一个吸收红光,一个吸收蓝光,另外两个吸收绿光,从图中可以看出,传感器面阵中每个像素吸收一种彩色光谱,其周围的像素吸收了另外两种彩色光谱。面阵 CCD 输出的原始图像数据为单色数据,通过计算机软件将单色图像处理为彩色图像。

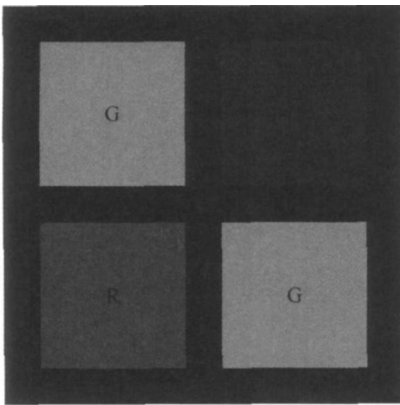


图 1 Bayer 滤波器模式简图

Fig. 1 Diagram of Bayer filter mode

从彩色面阵 CCD 工作原理可以看出,当 CCD 平行地面向前推扫成像时,由飞机前向飞行速度造成的像移是无法象单色 CCD 那样通过电荷转移的方式进行像移补偿,即彩色面阵 CCD 不具有 TDI 功能。相机的工作原理如图 2 所示。

相机垂直地面安装,面阵 CCD 平行于地面布置。来自地面景物的光线经大气、光学镜头和快门成像在面阵 CCD 上,实现对地面上的一个区域成像。再次拍照时,随着飞机向前飞行,相机对地面上的另一区域成像。通过适当设置拍照周期,实现相邻 2 次成像区域所需的重叠率。

2 前向像移分析

航空照相与一般地面照相的主要区别在于航空相机在工作过程中,始终处于运动状态。当

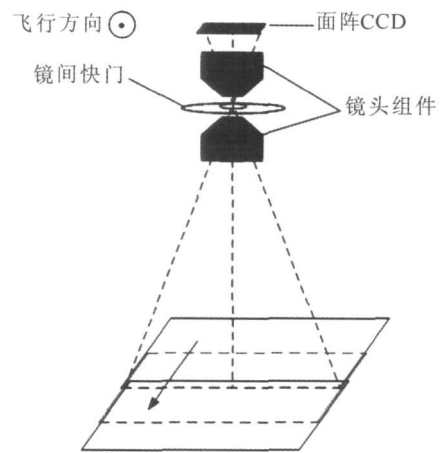


图 2 相机工作原理图

Fig. 2 Principle diagram of camera operation

CCD 在一定的时间内曝光时,被拍照的景物影像与 CCD 之间的相对运动就产生了影像移动(简称像移),这种像移导致成像质量降低,从而造成了相机分辨率下降。

前向像移是由飞机的前向飞行速度造成的,光学系统成像原理简图如图 3 所示。

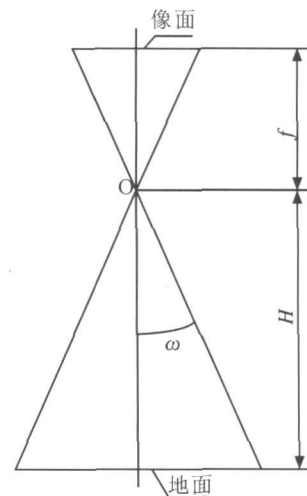


图 3 光学系统成像原理简图

Fig. 3 Schematic diagram of optical system imaging principle

像面上各点的前向像移速度 V 由下式表示:

$$V = f \frac{V}{H} \cos \omega \quad (1)$$

式中: ω 为速高比; V 为飞行速度; H 为飞行高度(飞机距地面目标的高度); f 为镜头焦距($f = 46 \text{ mm}$); ω 为视场角。

由公式(1)可以看出,当 $\omega = 0$ 时, $\cos \omega = 1$, V 最大,即像面中心点处的像移速度最大。

像面上的最大前向像移量 L 由下式表示:

$$L = V_{\max} t = f t \quad (2)$$

式中: t 为快门曝光时间。

由公式(2)可知,通过合理调整 f 和 t 的取值 (f 为常量),可以改变最大前向像移量 L 的大小,从而使 L 达到一个允许的像移范围内。

航空测量中,当像移量小于 1.5 个像元尺寸时,不影响测绘标定,通常当像移量达到 1.5 个像元尺寸时才进行补偿。就本相机所选 CCD 而言,像元尺寸 $b = 7.2 \mu\text{m}$,所以 $1.5b = 0.0108 \text{ mm}$,取像前向像移最大允许值 $L = 0.01 \text{ mm}$ 。由公式(1)和公式(2)可得到快门曝光时间与允许飞机最大速高比之间的对应关系,如表 1 所示。

表 1 曝光时间与最大速高比对应关系

Table 1 Relationship between exposure time and speed-altitude ratio

快门曝光时间/s	允许最大像移速度/mm s ⁻¹	允许最大速高比/1 s ⁻¹
1/150	1.5	0.03
1/200	2	0.04
1/300	3	0.065
1/450	4.5	0.097
1/600	6	0.13

由表 1 可以看出,通过合理调整快门曝光时间可控制飞机的速高比,我们就可以将像前向像移量控制在 1.5 个像元尺寸之内,达到补偿前向像移的目的。例如,当快门曝光时间为 1/200 s 时,则速高比不能超过 0.04 1/s,这时相机的最大前向像移量 $L = 0.01 \text{ mm}$ 。

3 误差分析

前向像移量误差由(2)式可得

$$dL = \frac{L}{d} d + \frac{L}{t} dt \quad (3)$$

又 dL 、 d 、 dt 均为小量, $d \ll L$, $dt \ll t$, $dL \ll L$, 代入(3)式得:

$$L = \frac{L}{d} + \frac{L}{t} t \quad (4)$$

由前面叙述可知,不用前向像移补偿的条件是:

$$L + \Delta L < 1.5b \quad (5)$$

式中: L 为前向像移量误差; b 为像元尺寸。把(4)式代入(5)式化简得:

$$\Delta L < -\frac{L}{d} + \frac{1.5b - L}{L} t \quad (6)$$

将 $L = 0.01 \text{ mm}$, $b = 7.2 \mu\text{m}$ 代入(6)式得:

$$\Delta L < -\frac{L}{d} + 0.08 \quad (7)$$

经实际测量,快门曝光时间误差能够控制在 5%,由公式(7)可知,当 $-\frac{L}{d} < 0.03$ 时满足补偿前向像移的要求。由于载机采用激光测距机测距和 GPS 测速系统,飞行实验证明满足速高比误差要求。

4 实验

4.1 静态分辨率板成像

相机通过平行光管对 5 号鉴别率板成像,如图 4 所示。相机的静态分辨率为 70 lp/mm,接近 CCD 的极限分辨率。

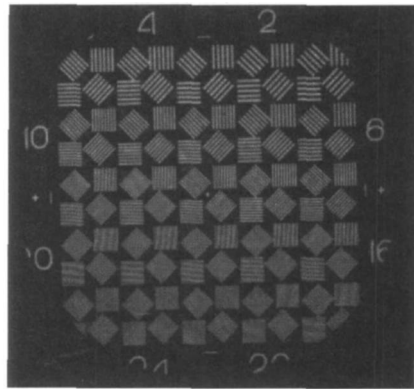


图 4 相机静态鉴别率板成像图

Fig. 4 Image of static resolution chart for camera

4.2 模拟动态目标成像

图 5 是相机模拟动态目标成像示意图。在速高比为 0.05 1/s,快门曝光时间为 1/450 s 时,相机对动态目标发生器所模拟的动态目标成像,如图 6 所示。此时相机的前向像移量为 0.005 mm,动态分辨率约为 58 lp/mm。

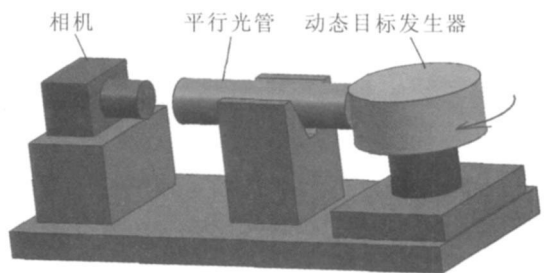


图 5 模拟动态目标成像示意图

Fig. 5 Schematic diagram of simulated dynamic target imaging

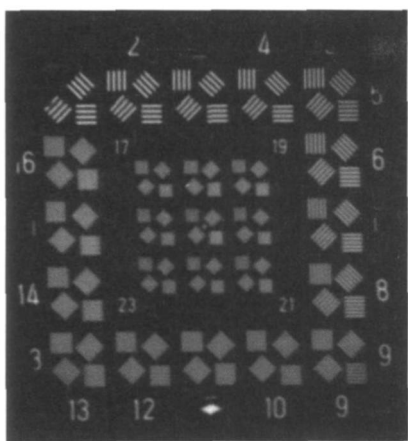


图6 相机模拟动态目标成像图

Fig.6 Schematic diagram of simulated dynamic target imaging for camera

通过模拟动态成像,图像满足前向像移量小于1.5个像元尺寸的补偿要求,达到了作为测绘相机所需的精度。经飞行实验验证,图像清晰,满足判读要求。

6 结论

本文通过对前向像移产生的原因,影响前向像移量因素的分析,结合实际提出了一种利用合理调整快门曝光时间和飞机速高比之间的关系来补偿前向像移的方法。通过分析和实验,前向像移量完全可控制在0.01 mm以内,曝光时间误差和速高比误差均可控制在合理误差范围内,满足前向像移补偿的要求,达到了测绘相机的所需精度。

参考文献:

- [1] 罗潇,孙海江,陈秋萍,等. Bayer 格式图像的实时彩色复原[J]. 中国光学与应用光学, 2010, 3(2): 182-187.
LUO Xiao, SUN Hai-jiang, CHEN Qiu-ping, et al. Real-time demosaicing of Bayer pattern images [J]. Chinese Journal of Optics and Applied Optics, 2010, 3(2): 182-187. (in Chinese with an English abstract)
- [2] 杨秉新. T DICCD 在航天遥感器中的应用[J]. 大连理工大学学报, 1997(9): 15-18.
YANG Bing-xin. Application of TDICCD in spacecraft

sensor [J]. Journal of Dalian University of Technology, 1997(9): 15-18. (in Chinese with an English abstract)

- [3] 许兆林,付战平. TDI CCD 图像传感器在侦察相机中的应用[J]. 传感器技术, 2001, 20(11): 46-49.
XU Zhao-lin, FU Zhan-ping. Application of TDICCD image sensor in reconnaissance camera [J]. Journal of Transducer Technology, 2001, 20(11): 46-49 (in Chinese with an English abstract)
- [4] 张树青,丁亚林,于春风. 凝视模式下的画幅相机两轴像移补偿[J]. 光学精密工程, 2007, 15(11): 1789-1795.
ZHANG Shu-qing, DING Ya-lin, YU Chun-feng. Attitude compensation of frame aerial camera based on spot mode [J]. Optics and Precision Engineering, 2007, 15(11): 1789-1795. (in Chinese with an English abstract)
- [5] 张以谟. 应用光学[M]. 3版. 北京: 电子工业出版社, 2008.
ZHANG Yi-mo. Applied Optical [M]. 3th ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008. (in Chinese)
- [6] 苏大图. 光学测量[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
SU Da-tu. Optics testing [M]. Beijing: China Machine Press, 1988. (in Chinese)
- [7] 谢尔巴科夫 E. 航空照相机的设计与计算[M]. 孙振洲,周贵琴,译. 吉林: 吉林省科技翻译协会, 1985.
SHERBAKOV E. Design and calculation of aerial cameras [M]. translated by SUN Zheng-zhou, ZHOU Gui-qing. Jilin: The association of Science and technology Translation in Jilin, 1985 (in Chinese)
- [8] 周睿,孔东. 一种高精度相位激光测距方法的实现[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(21): 6337-6343.
ZHOU Rui, KONG Dong. Realization on a method of accurate phase shift laser range finder [J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(21): 6337-6343. (in Chinese with an English abstract)
- [9] 张德元,陈怿,卢希荣. GPS 速度法确定飞机空速系统位置误差[J]. 飞行力学, 2000, 18(2): 62-66.
ZHANG De-yuan, CHEN Yi, LU Xi-rong using GPS system to determine the position error of pitot static system [J]. Flight Dynamics, 2000, 18(2): 62-66. (in Chinese with an English abstract)