

文章编号 1004-924X(2007)11-1784-05

用作图法判定航空相机 TDI CCD 积分方向

田海英, 惠守文, 李友一, 丁亚林, 王灵杰

(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: 由于 Time Delay and Integration CCD(TDI CCD)是一种类似面阵结构的线阵输出 CCD,其光电荷转移具有一定的方向性,所以 TDI CCD 图像传感器的积分方向与 CCD 成像运动方向必须保持一定的关系才能成像。本文以推扫成像相机和摆扫成像相机为例,介绍了一种基于高斯成像原理的作图法,用以确定 TDI CCD 积分方向与传感器成像运动方向的关系,分析和论证表明,TDI CCD 的积分方向必须与地物在像面上的像移方向一致。实践证明这种方法可以清楚、简便、快速地确定 TDI CCD 的积分方向,从而确定 TDI CCD 的安装方向,适宜在实际的工程设计中采用。

关键词: TDI CCD; 积分方向; 像移方向; 作图法

中图分类号: V248.3 文献标识码: A

Estimation of TDI direction of CCD sensor in aerial camera by graphing method

TIAN Hai-ying, HUI Shou-wen, LI You-yi, DING Ya-lin, WANG Ling-jie

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

Abstract: Time Delay and Integration CCD(TDI CCD) is a kind of CCD with frame structure and linear output, its charge transfer has certain directivity. Therefore, CCD integral direction and TDI CCD imagery heading must maintain certain relation for imaging. This article takes a push-broom and a whiskbroom scanning camera as examples, and introduces a graphing method based on Gaussian imaging system to determine the relation between TDI CCD integral direction and sensor imagery heading. The conclusion is that integral direction must be in accordance with image motion direction. The result shows that this method is intuitional, practical and easy to determine TDI CCD integral direction, which is suitable for the practical engineering design.

Key words: Time Delay and Integration CCD(TDI CCD); TDI direction; image motion direction; graphing method

收稿日期: 2007-07-22; 修订日期: 2007-10-18.

基金项目: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所创新工程资助项目(No. ZJ99130B)

1 引言

TDI CCD 是一种类似面阵结构的线阵输出 CCD,具有多重积分功能,在低照度下具有较好的成像性能,且灵敏度高、信噪比高、结构紧凑,已经被广泛地应用于航空、航天遥感以及测量等领域。

由于 TDI CCD 的工作方式很特殊,要求同一列上的每一个像元依次对同一目标曝光,电荷转移累加后输出,这就决定了 TDI CCD 的光电荷转移具有一定的方向性。为保证相机能够成像工作,TDI CCD 的积分方向是 TDI CCD 使用过程中必须研究的一个问题。

航空相机的焦距一般较长,光学系统的视场角相对较小,在进行像移分析时可以将其近似为理想的高斯成像系统。

本文以推扫成像相机和摆扫成像相机为例,介绍如何利用作图法来确定 TDI CCD 的积分方向,并给出 TDI CCD 积分方向与相机像移方向之间的关系。

2 TDI CCD 的工作原理

Time Delay and Integration Charge Coupled Device(TDI CCD)即时间延迟积分 CCD,是线阵 CCD 器件,但它的结构像一个面阵器件,其列数是一行像元数,行数是 TDI CCD 的级数 M 。通常一个 TDI CCD 可选控的级数 M 为 6、12、24、48、96 或其它数值类似排列,TDI CCD 工作时可根据目标光亮度的不同选择不同的级数。TDI CCD 工作模型简图如图 1。

TDI CCD 采用扫描叠加方式对同一目标进行多次曝光。其工作原理是:某一列的第一个像元在第一个曝光积分时间内的电荷包并不直接输出,而是移向同列的第二个像元并与第二个像元曝光积分时间内的电荷包相加,依此类推,最后一行的像元累加了本身和前面所有电荷包后输出信号。假如一个 TDI CCD 图像传感器的级数为 M ,则输出的信号电荷是经过了对目标 M 次曝光后累加得出的。正是通过多达 M 次的曝光,CCD

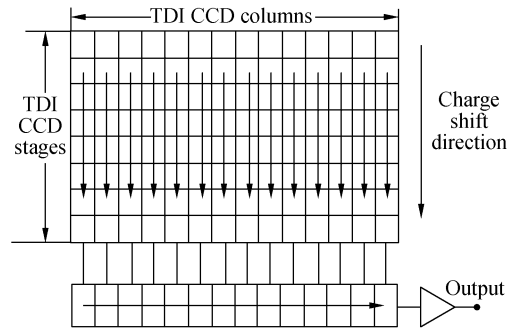


图 1 TDI CCD 工作模型简图
Fig. 1 Work model of TDI CCD

图像传感器才能不断地累加光电荷,从而产生比普通线阵 CCD 更加清晰的图像。

从 TDI CCD 的成像特点可以看出,TDI CCD 作为一种扫描成像的器件,其积分方向是与 TDI CCD 扫描成像时的运动方向相对应的,因此,TDI CCD 工作时的运动方向确定了,TDI CCD 积分方向也就随之确定了。

3 推扫成像相机 TDI CCD 积分方向的确定

推扫成像的相机工作时,相机随载机运动推扫成像,TDI CCD 行方向与相机运动方向垂直。推扫成像原理如图 2 所示。

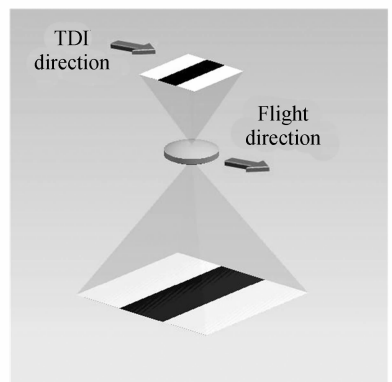


图 2 TDI CCD 推扫成像原理简图
Fig. 2 Principle of TDI CCD pushbroom imaging

当相机工作时,TDI CCD 推扫成像,利用作图法确定 TDI CCD 积分方向时,可假设相机静止,则地物以与相机运动方向相反的方向运动。图 3 是利用作图法确定推扫成像时 TDI CCD 积分方向示意图,图中水平方向为 TDI CCD 级的方向,垂直纸面的方向为 TDI CCD 行的方向。

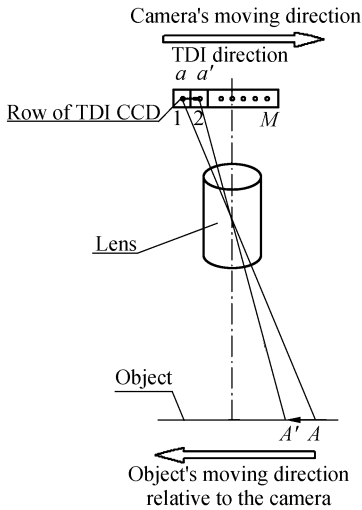


图 3 推扫成像 TDI CCD 积分方向

Fig. 3 TDI CCD direction of pushbroom camera

如图 3 所示,首先作出航空相机成像光路示意图,并确定相机移动方向。然后取地面上点 A 及点 A' ,并作出 A 及 A' 点通过相机光学系统所成的像点 a 及 a' 。由于假设相机静止,物点相对相机移动,所以可以认为点 A 经过一定时间后移动到点 A' 。也就是说,假设在 t 时刻,地物点 A 通过相机光学系统成像在像面的 a 点,对应于 TDI CCD 的像元 1,经过很短的时间 Δt 后,在 t' 时刻,地物点 A 相对于相机移动到了 A' 点,通过相机光学系统成像在像面上 a' 点,对应于 TDI CCD 像元 2 的位置。

由 TDI CCD 的工作原理可知,TDI CCD 像元的每一级都要对同一目标曝光,因此,在 t' 时刻,已经对地物点 A 曝光的电荷应该转移到像元 2 的位置,这也就是说 TDI CCD 的电荷转移方向为 $1 \rightarrow 2$,即 TDI CCD 积分方向应该为 $1 \rightarrow 2$,这样才能保证 TDI CCD 正常成像工作。

从图中可以看出,推扫成像 TDI CCD 积分方向与相机移动方向相同,与地物点像移方向相同。

4 摆扫成像相机 TDI CCD 积分方向的确定

图 4 是某宽视场摆扫成像航空相机的工作示意图,地面景物通过扫描镜、镜头和焦面镜成像在 TDI CCD 上。相机镜筒的转轴与飞机飞行方向平行,摆扫的方向与飞机飞行方向垂直,扫描镜、镜头、焦面镜和 TDI CCD 同时绕镜筒转轴转动,从而使 TDI CCD 对地面景物扫描成像。图中, N 代表 TDI CCD 的像元数, $1 \rightarrow N$ 为 TDI CCD 的行方向。

由于相机摆扫成像的方向与飞机飞行方向正交,而 TDI CCD 的积分方向应该与其成像方向平行,所以在确定 TDI CCD 积分方向时不必考虑相机随飞机的飞行运动。与推扫相机判别积分方向作图步骤相同,作图时假设相机摆扫成像时相机是静止的,首先作出航空相机成像光路示意图,并确定相机移动方向。然后取地面上点 A 及点 A' ,并作出 A 及 A' 点通过相机光学系统所成的像点 a 及 a' 。由于假设相机静止,物点相对相机移动,所以可以认为点 A 经过一定时间后移动到点 A' ,则地物相对于相机光轴的运动方向如图 4 所示。

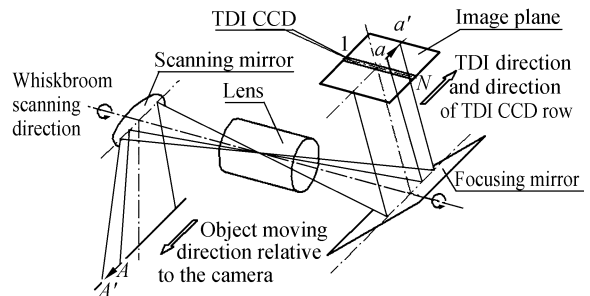


图 4 摆扫成像相机 TDI CCD 积分方向

Fig. 4 TDI CCD direction of whiskbroom scan camera

根据 TDI CCD 的像元的每一级要对同一目标曝光积分的特性,在 t' 时刻已经对地物点 a 曝光的电荷应该转移到 a' 的位置,也就是说 TDI CCD 的电荷转移方向为 $a \rightarrow a'$,即 TDI CCD 积分

方向为 $a \rightarrow a'$,才能保证 TDI CCD 正常成像工作。

从图中可以看出,摆扫成像相机 TDI CCD 积分方向与相机摆动方向相反,与地物点像移方向相同。

5 相机像移方向与 TDI CCD 积分方向的关系

航空相机照相时,由于飞行器运动和震动等原因致使被照物的影像相对于相机的感光介质产生相对移动,称为像移。在航空相机设计过程中,必须判定航空相机工作时像移的方向及大小,进行像移补偿,以保证相机成像质量。

对于推扫成像相机,从图 3 可以很明显地看出,相机前向像移方向与飞机飞行方向一致,也就是说,地面上地物移动矢量 AA' 在像面上的像为 aa' ,即相机前向像移矢量的方向与 TDI CCD 积分方向一致。

对于摆扫成像相机,像移方向可以用光线追迹的方法准确得出。本文用 ASAP 软件建立了相机成像模型,如图 6 所示。从建模分析的结果可知,对应于物点的移动矢量为 AA' ,相机像面上的像移矢量为 aa' ,这与作图法确定的 TDI CCD 积分方向也是一致的。

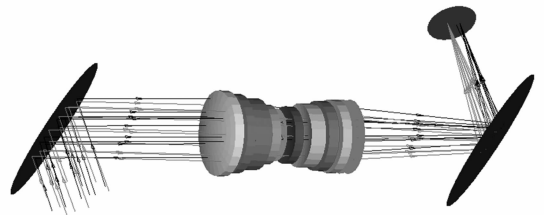


图 6 摆扫相机成像过程仿真图

Fig. 6 Simulation of whiskbroom scan camera imaging

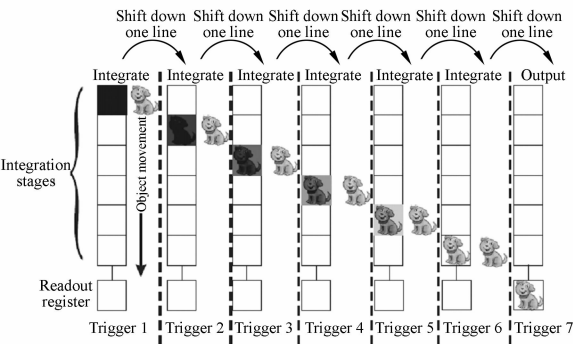


图 5 TDI CCD 成像原理示意图

Fig. 5 Principle of TDI CCD imaging

图 5 是 TDI CCD 成像原理示意图,从图 5 可以看出,TDI CCD 在成像时,光电荷随着曝光时间的推移从像元第一级转移到第二级,并与像元第二级光电荷累加后转移到第三级,以此类推,也就是说,地物点通过相机光学系统成的像要随着光电荷的移动而移动,因此,为保证像元的每一级依次都对同一物点成像,TDI CCD 的积分方向必须与像移方向保持一致。对 TDI CCD 用于推扫相机和摆扫相机成像时积分方向的判定可以验证这一点。

6 结 论

由于 TDI CCD 工作方式的特殊性,TDI CCD 积分方向的判定是相机设计中必须清楚的问题。本文介绍了确定 TDI CCD 积分方向的作图法,分析判断表明,TDI CCD 的积分方向必须与地物在像面上的像移方向一致。

若碰到较为复杂的相机光学系统,如光路中存在棱镜的光学系统时,光学系统图像会有倒置和旋转问题,这也是确定 TDI CCD 积分方向从而确定 TDI CCD 安装方向的一个必须要注意的问题,在作图时要仔细研究。

总之,本文介绍的作图法可以清楚、简便、快速地确定 TDI CCD 的积分方向,从而确定 TDI CCD 的安装方向或积分控制方向,适宜在实际工程设计中采用。

参考文献:

- [1] 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, 11(4):46-49.
XU ZH L, FU ZH P. Application of TDI CCD image sensor in reconnaissance camera[J]. *Journal of Transducer Technology*, 2001, 11(4):46-49. (in Chinese)
- [2] WONG H S, YAO Y L, SCHLIG W S. TDI sharge-coupled devices: design and applications [J]. *IBM J. Res. Develop*, 1992, 36(1):83-105.
- [3] LAREAU A G. Electro-optical imaging array with motion compensation [J]. *SPIE*, 1993, 2023:65-79.
- [4] 王庆有. CCD 应用技术[M]. 天津:天津大学出版社, 2000.
WANG Q Y. *CCD Application Technology*[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2000. (in Chinese)
- [5] 关志军,田海英,丁亚林,等. 航空相机像旋转判定的两种方法[J]. 光学 精密工程, 2003, 11(2): 45-49.
GUAN ZH J, TIAN H Y, DING Y L, *et al.*. Two methods to estimate the image's rotating direction of aero camera imaging system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003, 11(2): 45-49. (in Chinese)
- [6] 翟林培, 刘明, 修吉宏. 考虑飞机姿态角时倾斜航空相机像移速度计算[J]. 光学 精密工程, 2006, 14(5):490-494.
ZHAI L P, LIU M, XIU J H. Calculation of image motion velocity considering airplane gesture angle in oblique aerial camera[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(5):490-494. (in Chinese)
- [7] 刘明,吴宏圣,匡海鹏,等. 航相机的像移补偿方法及应用[J]. 光学 精密工程, 2004, 12(4):30-34.
LIU M, WU H SH, KUANG H P, *et al.*. Method and application of image motion compensation in aerospace camera[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2004, 12(4):30-34. (in Chinese)

作者简介:田海英(1975—),女,山西汾阳人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士,副研究员,主要从事航空相机的研究工作。E-mail:thygzjhj_74@21cn.com