

文章编号 1004-924X(2002)04-0402-05

空间相机中的偏流角控制

李友一

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

摘要:像移补偿技术是高分辨力空间相机的关键技术。由于偏流角的存在,使得像移速度在像面坐标系存在两个分量:前向像移速度和横向像移速度,偏流角控制本质上是消除横向像移速度,因此,偏流角控制是空间相机像移补偿的一部分。不同类型的空间相机有不同的像移补偿措施,也就有不同的偏流角控制方法,本文对像移补偿方法中的偏流角控制及作用进行分析,并且介绍和分析了采用TDICCD器件的图像传输型空间相机的偏流角控制的方法。

关键词:空间相机;像移补偿;偏流角控制

中图分类号:V447.3 文献标识码:A

1 引言

随着科学技术的发展及人类对宇宙空间的不断认识,人们的开发领域从地面转向空间,空间技术已经成为科技研究的热点。从空间技术的起步开始,遥感和遥测就是它的一个重要应用领域。在诸多的空间遥感器中,空间相机以其高分辨力、高可靠性的特点,受到人们的青睐。

空间相机是安装在空间飞行器上对地面摄影的精密光学仪器。空间相机的载体是在空间运动着的空间飞行器,用来在大气层外的宇宙空间对地面进行摄影。因其在较短的时间内即可提供大量客观的地面素材,在军事、科研和国民经济各领域中都得到广泛应用。

为了更加清晰的分辨地面目标,空间相机应具有更高的分辨力,事实上分辨力是空间相机最重要的设计指标之一。从国内外空间相机发展的历程看,随着对空间相机观测能力和功能等方面要求的不断提高,空间相机的分辨力直接决定了获得地面目标细节信息的多少,决定了获得信息的准确程度。

空间相机与一般地面照相的主要区别在于空间相机在工作过程中,始终处于运动状态,当感光胶片曝光时,被摄目标与胶片间的相对运动就产

生了影像运动,产生像移,这种像移导致成像质量的降低,因此,必须设法消除。

2 偏流角的产生及其影响

在空间照相,对相机来说被摄目标的速度基本上是地球表面自转速度和空间飞行器速度在地球表面上的投影这两个速度的合速度,如图1所示。

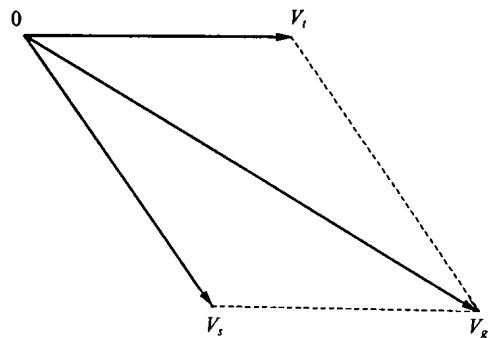


图1 目标速度的合成

Fig. 1 Synthesis of target speed.

其中: V_t 为地球表面自转速度;
 V_s 为空间飞行器速度在地球表面上的投影;
 V_g 为被摄目标速度;
目标速度 V_g 折合到像平面坐标系上的像

移速度为 V_p , 将 V_p 在像面坐标系的 P_1 轴和 P_2 轴上投影, 得到 V_{p_1} 和 V_{p_2} , V_{p_1} 称为前向像移速度, V_{p_2} 称为横向像移速度, V_p 与 V_{p_1} 的夹角为 β , 称为偏流角, 如图 2 所示。

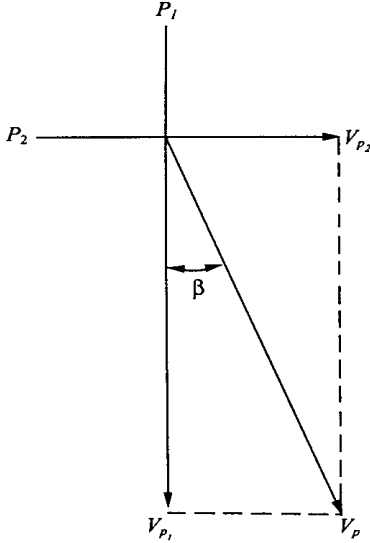


图 2 像平面中像移速度分解图

Fig. 2 Image motion speed analysis in image plane.

其中:

V_p 为像平面中像移速度;

V_{p_1} 为像平面中前向像移速度;

V_{p_2} 为像平面中横向像移速度。

相机的像移补偿系统要对目标的像移速度进行补偿, 如果没有偏流角, 意味着像移速度在像面坐标系的 P_1 轴上。由于偏流角的存在, 使得像移速度在像面坐标系存在两个分量: 前向像移速度和横向像移速度, 像移补偿系统需要同时补偿前向像移速度和横向像移速度这两个分量, 来消除像移。像移补偿的一种途径是旋转像面使得像面坐标系的 P_1 轴与像移速度方向尽量重合, 在 P_1 轴上产生一个与像移速度值相等、方向相同的补偿速度, 就可以消除像移, 换言之, 偏流角控制本质上是消除横向像移速度, 因此, 可以说偏流角控制是相机像移补偿的一部分。

设偏流角控制系统的误差为 $\Delta\beta$, 曝光时间为 T , 则前向剩余像移量 L_{p_1} 和横向剩余像移量 L_{p_2} 分别为:

$$L_{P_1} = V_p(1 - \cos \Delta\beta) \cdot T, \quad (1)$$

$$L_{P_2} = V_p(\sin \Delta\beta) \cdot T \quad (2)$$

从式(1)、式(2)不难看出偏流角控制误差越大, 剩余像移速度和像移量越大, 对相机成像质量影响就越大。因此必须消除偏流角, 以便相机能得到高质量的图像。

3 像移补偿方法

像移补偿技术是高分辨力空间相机的关键技术, 不同类型的空间相机有不同的像移补偿方法。

1) 机械像移补偿法^[1]

机械像移补偿法的实质是在拍照瞬间根据影像的移动速度移动胶片, 使影像在胶片上的像移量为零。这只有在胶片速度等于像移速度, 并且胶片速度方向与像移速度方向相同才是可能的。

采用机械像移补偿法进行像移补偿时, 需要两个机构来完成: 一是实时控制相机胶片盒转动, 保持补偿机构带动胶片运动方向与像移补偿方向一致, 即消除偏流角; 另一个是控制胶片运动速度, 在曝光时间内使胶片的运动速度与像移速度数值相等。

2) 电子学补偿方法^[1]

这种方法是利用 TDICCD 行转移匹配能力而实现的一种补偿方法。TDICCD 采用的电荷延时积分方法, 通过在像移速度方向上以像移速度同步的速度转移电荷, 保证像移的补偿。TDICCD 只在列方向具有像移补偿能力, 因此, 这种像移补偿方法只有在 TDICCD 的积分时间与像移速度匹配, 并且, TDICCD 列方向与像移速度方向重合才是可能的。

采用电子像移补偿法进行像移补偿时, 需要两个机构来完成: 一是实时控制相机的 TDICCD 器件转动, 保持 TDICCD 列方向与像移速度方向一致; 另一个是控制 TDICCD 的行转移速度, 与像移速度匹配, 完成像移速度数值上的补偿。

本文主要研究采用 TDICCD 器件摄像的图像传输式相机的偏流角控制方法。

4 偏流角控制

采用 TDICCD 器件摄像的图像传输式相机的总体设计中, 相机是垂直地面工作的, TDICCD 列方向在像面坐标系的 P_1 轴上, P_1 轴相对于相机外筒的位置是确定的。

相机搭载的空间飞行器在 300 ~ 450 Km 的圆

轨道飞行,TDICCD 对地球表面的景物进行推扫成像。像移速度 V_p 在 45 ~ 66mm/s 的范围之内。选择 TDICCD 像元尺寸为 $13\mu\text{m} \times 13\mu\text{m}$,级数为 96 级,行转移周期为 0.29 ~ 0.19ms。

设行方向允许的最大剩余像移量 $L_{p_2} = b/2$,偏流角调整精度为 θ ,根据公式(1)、(2)得出:

偏流角调整精度 θ 为:

$$L_{p_2} = V_p \cdot \sin \theta \cdot N$$

$$= V_p \cdot \sin \theta \cdot N \cdot \frac{b}{2}$$

$$= \arcsin\left(\frac{b}{2 \cdot V_p \cdot N}\right)$$

$$= \arcsin\left(\frac{13}{2 \times 66 \times 0.19 \times 10^{-3} \times 96}\right) = 0.3^\circ$$

TDICCD 列方向剩余像移量 L_{p_1} 为:

$$L_{p_1} = V_p(1 - \cos \theta) \cdot N$$

$$= 66 \times (1 - \cos 0.3^\circ) \times 0.19 \times 10^{-3} \times 96$$

$$= 0.02\mu\text{m}$$

其中:

b 为 TDICCD 像元尺寸;

T 为行转移周期;

N 为 TDICCD 的级数;

t 为曝光时间;

偏流角调整精度要求不大于 0.3° 时,TDICCD 列方向上的剩余像移量 L_{p_1} 远小于 TDICCD 像元尺寸的一半。

相机总体要求偏流角调整精度不大于 0.3° ,这个调整精度包括光学误差、机械误差、偏流角计算误差和偏流角控制误差等相关误差,因此要求偏流角控制系统必须满足位置精度: $\pm 0.05^\circ = 3''$ 。

偏流角控制系统主要由偏流角控制器、偏流角功率放大电路、偏流角执行元件一步进电机、偏流角测量元件—编码器、偏流角调整机构等组成。

偏流角调整机构的传动结构示意图如图 3 所示。

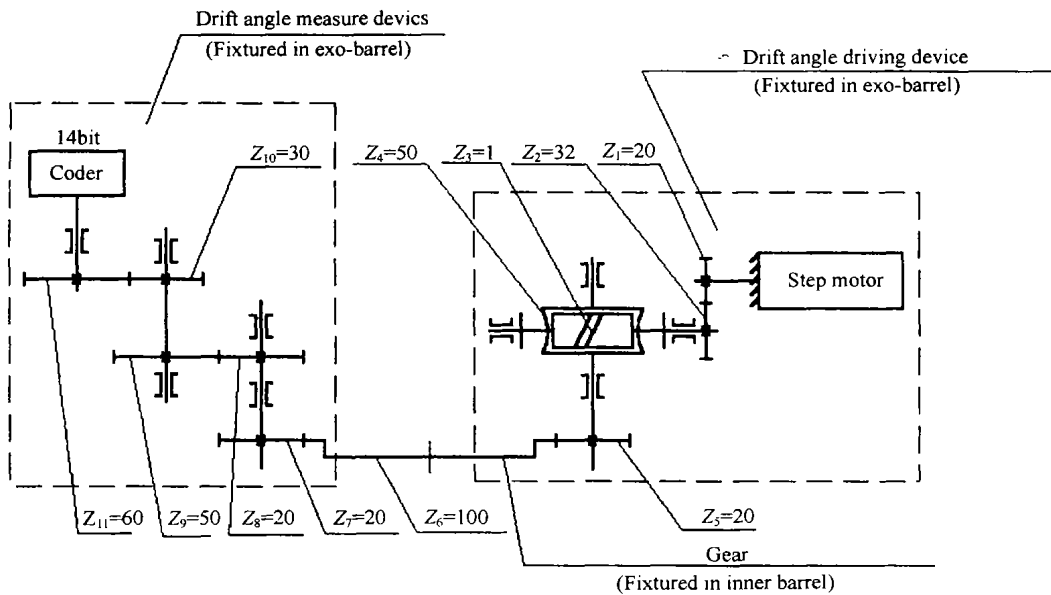


图 3 偏流角调整机构的传动结构示意图

Fig. 3 Drive structure of the drift angle adjusting wheel.

偏流角调整机构由偏流角驱动装置和偏流角输出测量装置组成。当电机旋转时偏流角调整传动装置使得内筒相对外筒旋转,组成一个旋转轴系,以实现偏流角调整的功能。偏流角驱动装置总的减速比为 400。当内筒旋转时偏流角输出测量装置通过减速比使编码器输出的转角与内筒相

对外筒旋转的角度相同。

偏流角控制系统原理框图如图 4 所示。

偏流角控制系统的工作原理是:当偏流角控制器接收到相机控制器发出控制命令和偏流角计算值时,偏流角控制器读取偏流角测量元件—编码器测量出的偏流角测量值,计算偏流角偏差即

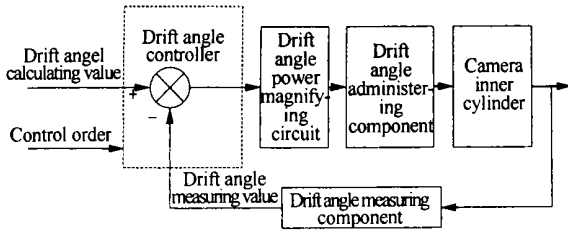


图 4 偏流角控制系统原理框图

Fig. 4 Schematic diagram of the drift angle control system.

偏流角计算值与偏流角测量值之差,如果偏流角测量值与偏流角计算值相等或偏流角偏差在容许范围内,则偏流角执行元件一步进电机不工作;当偏流角偏差不在容许范围内时,偏流角控制器判断步进电机转动方向,控制步进电机按减小偏流角偏差的方向转动一步,通过偏流角调整驱动装置,使相机内筒相对于相机外筒转动,偏流角控制器再读取偏流角测量值,再计算偏流角偏差,如果偏流角测量值与偏流角计算值相等或偏流角偏差在容许范围内,步进电机停止工作;如果偏流角偏差不在容许范围内,偏流角控制器控制步进电机按减小偏流角偏差的方向继续转动,直至偏流角偏差等于零或在容许范围内为止。

偏流角控制执行元件为三相步进机,轴系防冷焊处理,以满足空间环境的要求,步进机采用三相六拍工作方式,偏流角步进机走一步,偏流角输出 $1.5^\circ \times 3600 / 400 = 13.5^\circ$,保证偏流角位置精度的要求。

偏流角测量元件选用十四位绝对式光电轴角编码器,测量精度为 80',用以测量相机内筒的实际位置。

偏流角步进电机功率放大电路为斩波平滑功放电路。偏流角控制器用 80C31 作为处理器。

5 实验结果

空间相机工作在空间环境,因空间环境变化很复杂,所以对空间相机的环境实验要求很高,主要有热循环、热真空等。热循环指在常压下,温度从 $-15^\circ \sim +45^\circ$,测试在 -15° 和 $+45^\circ$ 时进行;热真空指在真空 1.3×10^{-4} 大气压下,温度从 $-15^\circ \sim +45^\circ$,测试在 -15° 和 $+45^\circ$ 时进行。

实验设备有高低温箱、真空罐、空间相机、空间相机地面仿真器等。

偏流角调整实验为同样的环境条件。偏流角给定角度为 $45^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 315^\circ$,测试 10 次,测试结果如表 1。

表 1 实验结果

Table 1 Results of experimentation

次 数 \ 角 度	45°	90°	180°	270°	315°
1	45 01 20	90 01 40	180 01 20	270 01 20	315 01 20
2	44 58 20	90 01 40	180 01 20	269 58 20	315 01 20
3	45 02 00	90 01 40	179 59 00	270 02 00	314 59 00
4	45 01 40	90 02 00	179 58 20	270 01 40	314 58 20
5	44 59 00	90 01 20	180 01 40	269 59 00	315 01 20
6	44 58 20	89 58 40	180 02 00	269 58 20	314 58 40
7	45 01 20	89 58 40	179 58 40	270 01 20	314 58 40
8	45 01 20	89 58 20	179 58 20	270 01 20	314 58 20
9	44 59 20	90 00 40	179 59 20	269 59 20	315 01 20
10	44 58 40	89 59 20	179 59 20	268 58 40	314 59 20

计算给定角度与测量角度的偏差,得出偏流角控制平均误差 $\pm 2'$,满足相机要求的偏流角调整位置精度 $\pm 3'$ 的要求,经公式(1)、(2)可知满

足相机 TDICCD 行方向允许的最大剩余像移量 $L_{p_2} \leq 6.5\mu\text{m}$ 的要求。

参考文献:

- [1]李兴华.高分辨力空间摄影相机像移补偿控制技术研究[D].长春:长春光学精密机械与物理研究所,2000.
- [2]王俊.空间光学传感器成像质量评价与优化[D].长春:光学精密机械与物理研究所,2000.
- [3]史光辉.卫星对地观测高分辨力光学系统的设计问题[J].光学精密工程,1997,7(1):16-24.
- [4]Suhail A,Dave D,William W, *et al*. High speed dual output channel,stage selectable,TDI CCD image sensor for high resolution applications[J]. *SPIE*,1995,2415:124-133.
- [5]杨秉新,赫云彩.长焦距TDICCD 传感器光学系统的特点和发展趋势[J].航天返回与遥感,1999,20(1):13-18.
- [6]丁福建,李英才.CCD 相机像移补偿[J].光子学报,1998,27(10):941-948.
- [7]赵巨波,孙华燕.一种图像边缘特征提取算法[J].光学精密工程,2000,8(4):325-327.
- [8]王建民,浦昭帮.提高图像测量精度的细分算法的研究[J].光学精密工程,1998,6(4):44-50.
- [9]王世杰.IGBT 栅极驱动技术讨论[J].光学精密工程,2001,9(1):76-78.
- [10]王毅,刘丽华.跟踪伺服系统的工程研制及检测[J].光学精密工程,1995,3(3):53-59.

Study of the drift angle control in a space camera

LI You-yi

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China*)

Abstract: Image motion compensation(IMC) is the key technology of a high-resolution space camera. Image motion speed is separated into two vectors in the image coordinate for existence of the drift angle: the forward direction image motion speed and the crosswise image motion speed. In fact, drift angle control eliminates the crosswise image motion speed, so it is a part of image motion compensation. Different kind space cameras use different image motion compensation methods and drift angle controls, respectively. The applications of drift angle control in the mechanical image motion compensation and electronic image motion compensation are introduced and analyzed in this paper. The drift angle control method in a TDICCD image transfer space camera is emphasized.

Key words: space cameras; image motion compensation; drift angle control

作者简介:李友一(1968-),男,辽宁新宾人,1992年毕业于原华东工学院自动控制系,获工学学士学位,现在中国科学院长春光学精密机械与物理研究所工作,主要从事空间相机的研制工作。