

空间相机偏流角的周期性连续调整

Periodicity continuum adjusting of drift angle of space camera

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 于 涛
YU Tao

摘要: 为了减小偏流角对空间相机图像质量的影响,延长相机一次性有效连续摄像时间,提出了一种在相机摄像前的准备阶段,偏流角的周期性连续调整方法。首先,详细分析偏流角调整的需求,确定调整策略;然后,介绍了偏流角调整系统的构成及工作原理;最后,系统设计和实验验证。实验结果表明:单次调整误差 $\leq 40''$,调整周期为 512ms,摄像开始时偏流角 $\leq 56''$,对图像 MTF 值的影响 $\leq 0.03\%$,一次性有效连续摄像时间最大可延长 9.488s。有效减少了偏流角对图像质量的影响,延长了有效摄像时间,完全满足空间相机对偏流角的控制要求。

关键词: 空间相机; 偏流角; 周期性; 连续

中图分类号: V **文献标识码:** A

Abstract: In order to decrease the influence on image quality caused by drift angle and prolong once availability continuum photography time, proposed a method of periodicity continuum adjusting drift angle at the preparation stage. First, analyzed system requirements in detail and presented adjusting tactic, and then introduced the composition and work principle of drift angle adjusting system, finally designed system and then carried out experimental verifying. The results show that once adjusting error is no larger than $40''$, adjusting period is 512ms, drift angle is no more than $56''$ in the beginning of photographing and over MTF is no larger than 0.03%, the most once availability continuum photography time can prolong 9.488s. It can efficiently decrease the influence on image quality caused by drift angle, prolong availability photography time and fully satisfy the requirements on drift control for space camera.

Key words: Space camera; Drift angle; Periodicity; Continuum

1 前言

除地球同步卫星外,其它卫星与地面都有相对移动,装载于此类卫星上的空间相机在轨进行摄像时,地面目标的相对移动在相机像面上产生像的移动,称之为像移。一般情况下,像移会在两个正交方向上产生分量,一个是飞行器飞行方向产生的前向像移分量,另一个是在飞行器飞行的垂直方向产生的横向像移分量,即由偏流角产生的像移分量。

考虑偏流机构颤振和 TDICCD 焦面移动对图像质量的影响,对于高分辨率 TDICCD 空间相机在摄像阶段不调整偏流角。目前空间相机大多采用准备阶段进行一次调整,调整结束后不再调整,这种调整方法可能使相机摄像开始时,偏流角仍较大。首先,由于相机需要调焦和主动热控等操作,使偏流角调整结束后,需等待秒或更长时间才摄像;其次,空间相机在轨期间,由于飞行器姿态变化和地球自转等因素,偏流角可能逐渐变大,使图像质量符合要求的有效摄像时间缩短;另外,对于偏流要求高而飞行器姿态又不是很好的系统,相机开始摄像时可能根本就不具备正常拍摄条件。基于以上分析,应对偏流角进行周期性连续调整,使相机摄像开始时,横向像移分量达到最小,保证相机图像质量。

2 需求分析与策略

偏流角的存在主要由两部分组成,一部分是由飞行器姿态及地球自转引起的姿态偏流角,另一部分则是由相机本身的各

项误差引起的非姿态偏流角。非姿态偏流角是由系统误差产生的,可以事先修正,而姿态偏流角动态变化,随飞行器姿态及位置而变化。

偏流角对相机成像质量的影响以成像传递函数 MTF 为考察依据,MTF 下降 5%,对图像无本质影响,因此 MTF 下降 5% 可以作为相机有效摄像的指标要求。根据偏流角与传递函数 MTF 的计算公式(1),在 $N=96$ 的条件下,计算 MTF 下降 5% 时,允许的偏流角值为 $12'$,这其中包括相机本身的各项误差引起非姿态偏流角和姿态角测量与偏流角计算误差,一般情况下这些误差可控制在 $7.2'$ 的范围内,所以允许的偏流角控制误差应不大于 $4.2'$ 。

$$MTF = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{f_c \cdot N \cdot \Delta d}{f_n \cdot d}\right)}{\frac{\pi}{2} \cdot \frac{f_c \cdot N \cdot \Delta d}{f_n \cdot d}} \quad (1)$$

式中取特征频率 $f_c=f_n \cdot N$ 为 TDICCD 积分级数, $\Delta d/d$ 为横向匹配的残余误差。

根据系统约束,飞行器姿态因素引起的偏流角最大变化速率为 $0.506'/s$,相机准备阶段为 10s,考虑准备阶段开始时偏流角较小,第一次调整时间较短,如果不再对偏流角继续调整,那么摄像开始时,偏流角最大可达到 $5.06'$,超过了偏流角控制允许的最大误差,使成像传递函数 MTF 下降超过 5%,不满足图像无本质影响的要求。

假定飞行器姿态因素引起的偏流角变化速率恒定,偏流角第一次调整时间较短或准备阶段开始时不需要调整偏流角,如果以偏流角不大于 $4.2'$ 作为相机摄像有效的条件,那么偏流角周期性连续调整与一次性调整相比,考虑相机开始摄像时的偏

流角,前者已控制到较小,后者以恒定速率已逐渐变大到一定角度,从摄像开始到偏流角增大到 4.2',前者比后者最多会晚 10s,因此比较二者的有效摄像时间,前者比后者最大可延长 10s。

综上所述,空间相机必须根据反应飞行器姿态的平台参数周期计算相机的偏流角并对其进行连续调整,严格控制偏流调整误差,保证相机摄像时的图像质量符合要求,延长相机的一次性有效摄像时间。

3 系统构成和工作原理

偏流角周期性连续调整系统主要由偏流控制电路(偏流控制器和偏流功率放大电路)、偏流执行元件(偏流步进电机)、偏流角测量元件(光电轴角编码器)、偏流调整机构等组成,结构关系如图 1 所示:

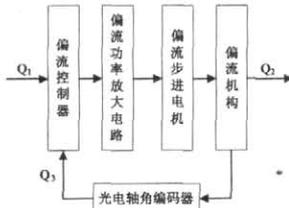


图 1 偏流角调整系统框图

Fig.1 Block diagram of drift angle adjusting system

图 1 中,Q1 为偏流角目标值,即计算得出的偏流机构所应到达的角度位置;Q2 为偏流角当前实际值,即偏流角调整后偏流机构实际的角度位置,Q3 为偏流角当前测量值,即编码器测量后的偏流机构实际角度位置。

偏流角调整工作原理:相机在准备阶段对偏流角进行周期性连续调整,准备阶段相机不摄像。相机控制器根据反应飞行器姿态的平台参数周期计算偏流角目标值 Q1。通过偏流编码器计算偏流机构当前位置 Q3。如果偏流机构需要调整,那么根据 Q1 和 Q3 计算偏流步进电机的运行方向和步数,控制偏流步进电机以固定频率按计算方向运行相应的步数,带动偏流机构转动,直到偏流角 Q13 在容许范围内。偏流角目标值 Q1 周期计算,偏流机构连续调整,使偏流角 Q13 在相机工作的准备阶段趋于零,保证相机摄像开始时由偏流角产生的横向像移分量达到最小。

4 系统设计与实现

系统采用 TMS320C30 作为系统控制器,实现偏流控制参数的采集和处理,偏流电机的控制,与偏流编码器的串行通讯,以及偏流角的周期性连续闭环调整。

4.1 偏流控制参数的采集和处理

系统控制器根据 1553B 协议与有效载荷数据处理单元进行通讯,获取偏流命令和平台参数等控制参数,平台参数更新周期为 512ms,因此偏流角计算周期为 512ms。

4.2 偏流编码器串行通讯

采用 16 位光电轴角编码器做为偏流机构的侧角器,系统与偏流编码器之间采用 RS422 串行通讯协议,波特率为 62500Bps,应用 DS26C31 和 DS26C31 元件将串行通讯信号进行差分,提高串行通讯的抗干扰能力和可靠性。

4.3 偏流电机控制

采用步进电机做为偏流控制的驱动元件,控制方式为四相八拍,运行频率为 667Hz,电机运行步数见公式(2),偏流机构转动

角度与偏流编码器变化关系见公式(3),偏流编码器与偏流机构位置对应关系见公式(4)。

$$N = K_1 \times |A_1 - A_3| \div M \quad (2)$$

式中,N:偏流电机运行步数;A1:偏流角目标值对应的编码器值;A3:偏流角当前测量值对应的编码器值;M:偏流电机与编码器速比,系统中取 478;K1:转换系数,系统中取 163.84。

$$\Delta A_1 = K_2 \times \Delta \theta_1 \quad (3)$$

式中,ΔA₁:偏流编码器值变化量;Δθ₁:偏流机构角度变化量;K2:转换系数,系统中取 182。

$$A_1 = H_1 + K_2 \times \theta_1 \quad (4)$$

式中,A₁:偏流机构位置对应的编码器值;H₁:偏流机构零点位置对应编码器值;θ₁:偏流机构位置。

4.4 偏流角调整误差

偏流角调整误差分为两个方面:一方面是单次偏流角调整结束后偏流角当前测量值 Q3 与偏流角目标值 Q1 的误差;另一方面是准备阶段偏流角调整结束后的误差,即摄像开始时的偏流角误差。

4.4.1 单次偏流角调整误差

单次偏流角调整误差由编码器测量误差 e₁ 和电机控制误差 e₂ 组成。

编码器测角误差 e₁:采用 16 位绝对式光电轴角编码器,分辨率为 20"。偏流角当前实际值 Q₂ 与偏流角当前测量值 Q₃ 的差值,即编码器测量误差 e₁ 为 20"。

电机控制误差 e₂:已知步进电机控制方式为 4 相 8 拍,步距角为 0.9°,步进电机与偏流机构速比为 478。电机控制误差 e₂ 为 7"(步进电机运行一步对应偏流机构变化的角度)。

e₁ 与 e₂ 的和为 27",由于编码器的分辨率为 20",所以单次偏流角调整误差最大值为 40"。

4.4.2 摄像开始时的偏流角误差

平台参数采集周期为 512ms,偏流角目标值 Q1 最后一次计算和偏流角调整结束,距摄像开始最长有 512ms 延时,这段时间内飞行器姿态因素引起的偏流角最大变化量为 16"。由于最后一次调整误差最大值为 40",所以摄像开始时的偏流角最大值为 56",根据公式(1)计算,摄像开始时图像传递函数 MTF 最大下降 0.03%。

4.5 偏流角的周期性连续闭环调整

偏流角目标值 Q1 周期计算,实时判读偏流角当前测量值 Q3,通过判断 Q1 与 Q3 的偏差对偏流角进行周期性连续闭环调整,控制偏流角误差不大于 40",单次偏流角闭环控制流程见图 1。

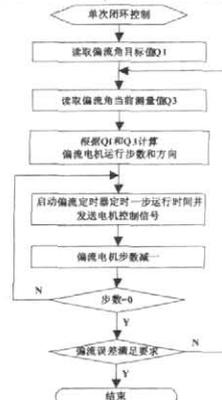


图 1 闭环控制流程图

Fig.1 Program flow char of closed-loop control

技术创新

5 实验

根据偏流编码器与偏流机构的装配,偏流机构零点对应编码器值为 8000H,飞行器姿态因素引起的偏流角变化速率恒定为 0.506°/s,偏流角当前测量值 Q3 初始为 500°,开始偏流角调整的角度误差为 40°(即 Q1 与 Q3 的差值),相机准备阶段 10s 时间内偏流角周期性连续调整数据见表 1。

表 1 偏流角调整数据

Tab.1 Data of drift angle adjusting

时间	偏流角目标值 Q ₁	偏流角当前测量值 Q ₃	时间	偏流角目标值 Q ₁	偏流角当前测量值 Q ₃
9:2:16.003	801°	780°	9:2:21.135	960°	940°
9:2:16.515	816°	780°	9:2:21.649	976°	940°
9:2:17.030	832°	820°	9:2:22.164	992°	980°
9:2:17.543	848°	820°	9:2:22.577	1008°	980°
9:2:18.057	864°	860°	9:2:23.191	1024°	1020°
9:2:18.571	880°	860°	9:2:23.705	1040°	1020°
9:2:19.083	896°	860°	9:2:24.216	1056°	1020°
9:2:19.596	912°	900°	9:2:24.730	1072°	1060°
9:2:20.109	928°	900°	9:2:25.243	1088°	1060°
9:2:20.622	944°	940°	9:2:25.700	1088°	1060°

实验结果表明:如表 1 所示,相机准备阶段的 10s 时间内,偏流角单次调整误差小于 40°。相机在时刻 9:2:25.755 开始摄像,最后一次偏流角目标值 Q1 还未计算,但实际值大于 1088°小于 1104°,满足摄像开始时偏流角误差小于 56°的要求。若考虑上述偏流角控制延时,根据偏流角目标值 Q1 的计算周期,最后一次偏流角调整结束时刻与开始摄像时刻最长时间间隔为 512ms,因此第二章需求与策略中分析的偏流角周期性连续调整与一次性调整相比,有效摄像时间,前者比后者最大可延长 9.488s。

6 结论

偏流角在相机准备阶段周期性连续调整,单次调整误差 ≤ 40°,调整周期为 512ms,摄像开始时偏流角 ≤ 56°,对图像调制传递函数(MTF)值的影响 ≤ 0.03%,一次性有效摄像时间最大可延长 9.488s,有效改善了偏流角调整策略,提高了相机摄像开始时的图像质量。

本文作者创新点:通过对偏流角的周期性连续调整,使相机摄像开始时,有效减少了偏流角对图像质量的影响,并延长了相机有效摄像时间。

作者对本文版权全权负责,无抄袭。

参考文献

- [1]于涛,徐抒岩,韩诚山,等.空间相机偏流角的间歇式实时调整[J].光学精密工程.2009,8(17):1908-1914.
- [2]樊超,李英才,易红伟.颤振对 TDICCD 相机像质的影响分析[J].光子学报,2007,9(36):1714-1717.
- [3]刘明,刘刚,李友一,等.航空相机像移计算及补偿分析[J].光电工程,2004,31(增刊):12-14.
- [4]王家骥.光学仪器总体设计[M].长春:长春光机所研究生部,2003.
- [5]刘广建,贾平等.基于小波和维纳图像复原的像移补偿方法[J].微计算机信息,2009,6(3):296-297.
- [6]樊超,李英才,易红伟.偏流角对 TDICCD 相机像质的影响分析[J].光电工程,2007,9(34):70-74.
- [7]李新峰.轨道姿态误差对 TDI_CCD 相机行周期及偏流角的影响分析[J].空间科学学报,2008,28(3):254-259.

作者简介:于涛(1980-),男(汉族),吉林省长春市人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所助理研究员,主要从事计算机

控制方面的研究。

Biography:YU Tao(1980-), male(Han), Changchun city of Jilin province. He is a assistant researcher in Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences. The major research direction is the computer control.

(130033 吉林 长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 于涛

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

YU Tao

通讯地址:(130033 长春市经济技术开发区东南湖大路 3888 号 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所空间一部) 于涛

(收稿日期:2010.04.06)(修稿日期:2010.07.06)

(上接第 188 页)

设计在与以太网端的处理上没有设计成 PLC 主动向 PC 发送数据,而是被动发送,即只有 PC 来请求 PLC 时才发送。因为 ModBus/TCP 每帧仅能传输 128 个字,在数据量大时,PLC 主动发送会因不断等待 PC 机的应答而延误 PLC 的正常刷新,同时会造成 PC 机的网络指令队列溢出,并进一步造成网络 PC 死机现象。笔者用装有 GE 的 1553B 通信板卡的工控机构建 BC,用装有 MODSCAN 软件的网络计算作为监控 PC,将两者分别与该设计的 PLC 相连,经过验证,BC 与网络 PC 通信流畅,协议转换透明,该设计为解决 1553B 系统与网络监控系统的通信困难奠定了基础。

本文作者创新点:首次提出在 PLC 上集成 1553B 协议,使用 PLC 作以太网和 1553B 系统之间的“网关”,为解决 1553B 系统与网络监控系统之间的通信困难奠定基础,为该方案设计 RT/MMT 模式底层软件。

作者对本文版权全权负责,无抄袭。

参考文献

- [1]迟君平,王斌,李业友.模块化编程方法在 PLC 程序开发中的应用[J].微计算机信息,2005,6-2:26-27.
- [2]karl—heinz,John.Michael,Tiegelkamp.IEC61131—3 工业自动化程序系统的编制[M].北京:中国机电一体化技术应用协会秘书处翻译出版.2003.71-223.
- [3]LC1553B-10 用户手册.中国航天时代电子公司第七七一研究所,2008,10.
- [4]Richard c.Doff 等,现代控制系统北京:高等教育出版社.2003,2:310-312.

作者简介:张萌(1982-),女,硕士,北京航天自动控制研究所助理工程师,主要从事国产 PLC 系统的研究与系统软件研制。

Biography:ZhangMeng (1982-), female, Beijing. Working in Beijing Aerospace Automatic Control Institute, assistant engineer, mainly study on development of PLC, especially in the Bottom Software of the PLC.

(100854 北京 北京航天自动控制研究所) 张萌 陈涛 刘瀛

(BeiJing Aerospace Automatic Control Institute, Beijing, 100854, China) ZHANG Meng CHEN Tao LIU Ying

通讯地址:(100854 北京市海淀区永定路 50 号) 张萌

(收稿日期:2010.07.12)(修稿日期:2010.10.12)

欢迎投稿 欢迎订阅