

文章编号 1004-924X(2012)10-2324-07

全球陆地光学遥感影像获取技术与应用

王兴玲^{1,2,3*}, 刘龙飞^{1,2}, 于 钢^{1,2}, 雷 宇^{1,2}, 陶 亮^{1,2}

(1. 民政部国家减灾中心, 北京 100124; 2. 民政部卫星减灾应用中心, 北京 100124;
3. 民政部减灾与应急工程重点实验室, 北京 100124)

摘要:介绍了 2010 年开始利用环境减灾 A、B 星 CCD 传感器获取全球陆地光学遥感影像的工作, 用于研究全球地表覆盖和土地利用情况。环境减灾 A、B 星是我国第一个以组网方式运行的具有 48 h 重访周期、30 m 中高分辨率的光学星座。利用卫星获取全球陆地光学遥感影像时不仅综合考虑了地面光照条件、云量、季节、地物特性等因素, 同时考虑了卫星观测能力、地面接收能力、全球陆地分布特点、全球云量分布等多种因素。通过一年多的时间, 获取了全球陆地面积 85% 以上的平均云量小于 20% 的有效光学影像数据, 获得的数据是我国首个中高分辨率全球覆盖的遥感光学影像集, 已成为我国开展全球环境变化研究最重要的中高分辨率光学影像数据源。文中总结了 A、B 星全球陆地光学遥感影像获取计划的思路与实际应用效果, 可为后续光学星的规划及有效载荷的设计提供有益的参考。

关键词:环境减灾卫星; 电荷耦合器件(CCD); 遥感图像; 全球影像;

中图分类号: TP751 **文献标识码:** A **doi:** 10. 3788/OPE. 20122010. 2324

Global optical image acquisition technology and its applications

WANG Xing-ling^{1,2,3*}, LIU Long-fei^{1,2}, YU Gang^{1,2}, LEI Yu^{1,2}, TAO Liang^{1,2}

(1. National Disaster Reduction Center, Ministry of Civil Affairs, Beijing 100124, China;
2. Satellite Disaster Reduction Application Center, Ministry of Civil Affairs, Beijing 100124, China;
3. Key Laboratory of Disaster Reduction and Emergency Response Engineering of the
Ministry of Civil Affairs, Beijing 100124, China)

* Corresponding author, E-mail: wangxingling@ndrcc.gov.cn

Abstract: This paper introduces the acquisition of global land optical images from 2010 by the CCD cameras on HJ-1A/B to research the global land coverage and land usage situations. The HJ-1A/B is the first optical constellation with a ground resolution of 30 m and the revisit ability of 48 h in our country. When the optical remote sensing images are acquired by the HJ-1A/B constellation, the ground lighting conditions, cloud cover, season, terrain features and other factors must be considered, especially the more factors such as the satellite capacity, ground receiving ability, global land distribution and cloud distribution should be taken account of because the optical satellite has been used. Through one year's work, effective images with the cloud less than 20% covered more than 85% of global land are obtained. It is China's first middle-high resolution global coverage optical remote-

收稿日期: 2012-04-30; 修订日期: 2012-06-28.

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2009AA122002)

sensing image sets and has become the main data sources for global scale remote-sensing research. The ideals and applications to acquire the global land optical images by the HJ-1A/B constellation can provide references for planning optical constellations and designing payloads.

Key words: HJ-1A/B satellite; Charge Coupled Device(CCD); remote sensing image; global image

1 引言

全球环境变化研究是当今地球科学领域研究的热点问题,已引起世界各国的高度重视和大力支持。具有全球观测能力的遥感技术是全球环境变化研究中重要且无可替代的技术手段^[1]。我国于 2008 年 9 月 6 日通过一箭双星的方式发射的“环境与灾害监测预报小卫星星座” A、B 星两颗光学小卫星(以下简称 A、B 星)已稳定运行 3 年之久,在灾害监测评估、环境监测评价、农作物估产等方面发挥了巨大作用,为我国综合减灾的科学化、现代化提供了有力的技术支持^[2-4]。A、B 星星座搭载 CCD、红外、高光谱 3 种光学载荷,具有中分辨率、宽覆盖、高重访的特点,由于具有严格的成像视场匹配,可实现 48 h 中国境内及周边地区的无缝覆盖^[5]。2009 年,国家 863 计划地球观测与导航技术领域设立重点项目,针对全球环境变化研究的迫切需求,计划以中高空间分辨率光学遥感影像为主要数据源,结合其它辅助数据,自主研制出填补我国空白、具有国际先进水平的新一代全球地表覆盖遥感数据产品,为全球变化研究和地球系统模式发展提供科技支撑。为有效保障这一国家重大科学目标的实现,我们通过精心设计观测任务,于 2010 年开始获取全球陆地光学遥感影像,截至 2011 年底,累计获取了全球陆地面积 85% 以上的有效影像(云量小于 20%),为全球地表覆盖遥感的研究提供了有力的数据支撑。本文总结了 A、B 星全球陆地光学遥感影像获取计划的任务规划思路与实际应用效果及经验,为后续光学星的规划及有效载荷的设计提供了有益的参考和借鉴。

2 全球陆地光学遥感影像获取的影响因素分析

2.1 卫星与地面接收系统能力分析

A、B 星的主要任务是对我国的灾害和环境

进行大范围、全天候动态监测,及时掌握灾害和环境事件发生、发展过程和变化趋势,为灾情快速评估、紧急求援、灾后救助和重建等工作提供科学依据。因此,全球陆地光学遥感影像获取任务需要在优先保证减灾和环保业务需求的前提下开展。如何充分挖掘卫星观测潜力,快速完成全球陆地光学遥感影像获取任务,需要综合考虑星座观测能力、全球陆地分布特点、全球云量覆盖时空分布特点和土地覆盖制图对季相的要求等多方面的因素,确定资源利用最少、观测效率最高的最优方案。

A、B 星是 2 颗光学小卫星,在同一轨道面内按 180° 分布,星座轨道高度为 650 km,轨道倾角 97.8°,回归周期为 31 d,回归圈数为 457 圈,卫星星下点速度为 6.8 km/s^[6]。其组成的光学星座具有 2 d 无缝覆盖中国及周边地区的能力,A 星搭载 30 m 分辨率/720 km 幅宽的多光谱 CCD 相机、100 m 分辨率/50 km 幅宽的超光谱成像仪,B 星搭载与 A 星相同性能指标的 CCD 相机和 150 m 分辨率/720 km 幅宽的红外相机^[5]。CCD 相机有 4 个波段,全球陆地光学遥感影像获取计划主要使用 CCD 相机,因此本文提到的卫星遥感影像获取仅指 CCD 影像获取。目前,中国境内有北京、喀什、三亚 3 个地面(简称三站网)接收站可以实时接收,其他相关约束条件见表 1。

表 1 A、B 星系统与地面接收系统能力

Tab. 1 Ability of payload and ground station of HJ-1A/B

类别	系统能力
单轨最大	三站网接收范围内: 20 min/orbit
工作时长	三站网接收范围外: 6 min/orbit
数传模式	三站网接收范围内: 成像同时下传 三站网接收范围内: 记录回放模式
星上固存容量	14 Gbit
有效载荷每日	4 orbit
工作轨数	
地面站	位置: 北京密云、新疆喀什、海南三亚 接收范围: 中国全境及周边国家

因境外无地面接收站,不能实现境外数据实时接收,只能通过数据记录-回放的方式完成境外观测,受卫星本身固存的限制,最多只能记录 6 min 的 CCD 影像,覆盖范围约为 $720 \text{ km} \times 2400 \text{ km}$ 。按照设计指标每颗卫星每天最多工作 4 orbit。在一个回归周期内,A、B 星每颗卫星可工作的轨数为 124 次,常规覆盖范围如图 1 所示,其中 77 次(占总数的 62.1%)经过我国境内,需要针对灾害和环保事件进行观测,另外 47 次(占总数的 37.9%)经过日本或中亚,可取消这部分观测任务,转而安排获取全球影像。

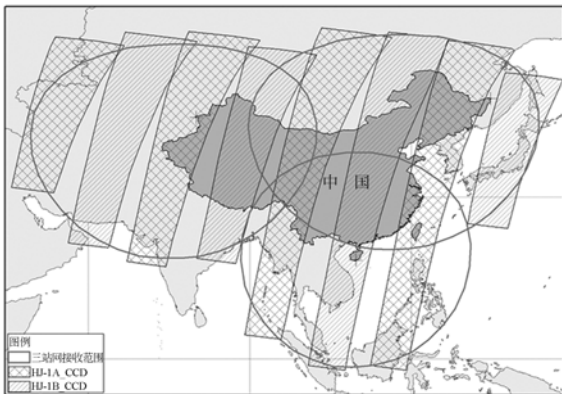


图 1 A、B 星运行一天的轨道覆盖示意图

Fig. 1 One day's coverage of HJ-1A and HJ-1B satellites

2.2 成像区域分析

全球陆地总面积约为 $1.5 \times 10^8 \text{ km}^2$ 。本方案所采用的陆地定义^[7-8]为:

- (1) 包括延伸至 200 m 水深的陆地区域;
- (2) 包含海冰覆盖的南极洲;
- (3) 包括延伸至 200 m 水深边界的暗礁、浅滩等所有已知岛屿。

A、B 星发射以来,根据减灾和环保的业务需求,对三站网接收范围采取过境即拍的策略观测,积累了大量的数据。三站网接收范围覆盖了我国全境,以及东亚、中亚、南亚的部分国家和地区(图 1),其中陆地面积达 $0.25 \times 10^8 \text{ km}^2$ 。因此,全球观测主要是考虑三站网接收范围外的 $1.25 \times 10^8 \text{ km}^2$ 陆地。

2.3 土地覆盖监测对光学影像的季相与时相要求

全球陆地光学遥感影像获取计划的主要目的是获取全球陆地影像,供我国自主生产全球地表

覆盖遥感数据产品使用。根据土地覆盖对遥感监测时相的要求,一般需要在植被的生长期和凋落期进行多次观测、在休眠期进行单次观测^[7-9]。考虑到卫星可用于全球陆地光学遥感影像获取的时间资源有限,因此在获取计划中,重点保证植被茂盛期观测数据的获取,以期获得易于判别和研究的植被茂盛期影像。在实际操作中,以多年 AVHRR 或 MODIS 的 NDVI 产品年平均值作为参考来判断植被处于茂盛期或无植被期。

同时,考虑到制作全球陆地覆盖图对遥感影像的季相要求,同一自然地理区域的影像应尽量在同一时期获取,以减少数据因太阳辐射、植被生长变化等产生的影像拼接问题,进而防止同一区域地表覆盖遥感数据产品的不一致的情况产生。因此,根据全球自然地理带从赤道向两极的水平分布规律可以划分出不同地理区域获取的时相。总体看来,全球陆地影像获取方案是从南半球到北半球分区域获取,5 月份之前以南半球影像获取为主,5 月~10 月份以北半球影像获取为主。

2.4 光学遥感影像获取对太阳光照条件的要求

A、B 星轨道倾角 97.8° ,可观测到的成像区域是全球南北纬大约 85° 之间的区域,成像时太阳高度角越低,影像就越暗,图像质量也会相应降低,因而成像时对太阳光照条件有一定的要求。太阳高度角随季节和纬度变化而变化,特别是在高纬度地区,特定季节由于地表太阳光照不足无法成像。一般情况下,光学成像仪对地观测要求太阳高度角不小于 5° ^[8]。也就是说,在太阳高度角大于或等于最小太阳高度角时,才是有效的成像时间窗口^[10]。为保证所获取影像质量较高,则北半球太阳高度角的阈值设置为 15° ^[11]为宜。

2.5 气象条件对光学遥感影像获取的影响

由于光学成像不能穿透云层,所以云量是影响光学遥感影像质量的关键因素和重要约束条件。国际卫星云气候计划(ISCCP)的研究报告显示,1986~1993 年全球陆地年均云盖百分率为 58.4%^[12]。另外,根据美国陆地卫星 Landsat7 自 1999 年发射以来并实施长期获取计划(LTAP)的实际统计,有 57% 的影像云覆盖小于 30%,有 39% 的影像云覆盖小于 10%,平均云覆盖为 34%^[9]。

利用 ISCCP 提供的 1983 年 7 月至 2009 年 12 月的月平均云量统计和年平均云量统计数据^[13],可以在整体上全面了解全球云量的月度分布情况,为 A、B 星全球分区域观测的时间窗口的优化安排提供基础。在分析全球月平均云量分布的基础上,结合了 Landsat7 长期全球影像获取计划的实例,得出全球分区域的最优观测时间窗口(图 2)。另外,在具体实施全球观测的过程中,还通过查询全球各大洲近 5 d 的中短期天气预报,为全球陆地光学遥感影像获取计划的实施提供辅助支撑,以避免卫星观测资源的浪费。

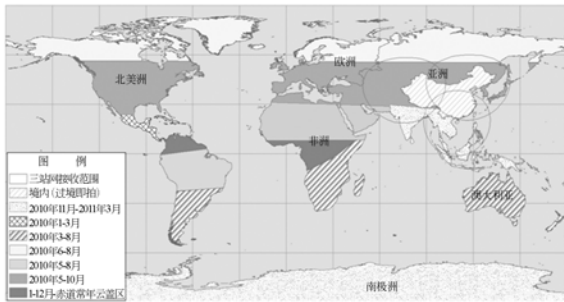


图 2 全球观测时间窗口规划示意图

Fig. 2 Time window of global observation plan

3 全球陆地光学影像获取的任务规划流程

3.1 任务规划周期

常规情况下,A、B 星观测计划编制以 7 d 为一个周期,其工作模式主要与卫星设计的任务目标以及我国卫星测控管理体制相关。因为 A、B 星的设计目标主要是实现我国境内及周边邻国的灾害与环境监测,测控采用的是卫星用户根据卫星业务应用需求提出业务测控计划(卫星有效载荷控制计划),并按时间要求传送至卫星测控中心,卫星测控中心将工程测控和业务测控任务融合在一起,并组织地面测控站统一操作^[14]的测控模式。另外,在灾害事件发生等紧急情况下可发送业务测控指令即应急观测计划,作为常规周观测计划的补充。

3.2 任务规划闭环工作流程

在全球陆地光学遥感影像获取任务规划中,不仅要考虑前面提到的种种限制条件,还必须从数据获取、处理的全过程进行综合分析,形成从任

务规划、成像结果评价、历史存档综合云量评估、云覆盖区域掩模、下一次成像规划辅助决策的闭环工作流程,使任务规划人员能够快速了解 A、B 星影像全球覆盖情况以及影像云覆盖情况,从而为下一次成像任务的制定和实施提供指导依据。全球观测任务规划的闭环工作流程如图 3 所示。

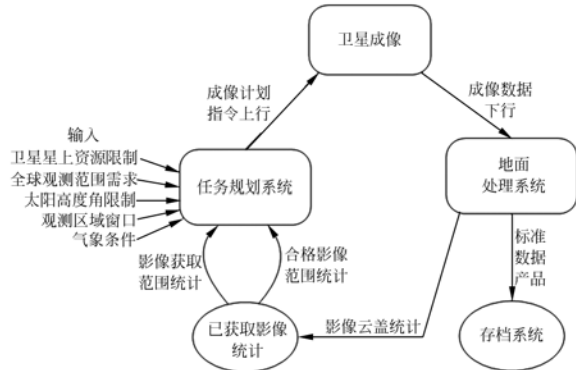


图 3 全球观测任务规划的闭环工作流程

Fig. 3 Closed-loop flow chart of global observation plan

3.3 光学遥感影像云盖统计

光学遥感影像的云覆盖情况不仅影响当前观测计划的实施还影响到未来的观测计划,因而,快速完成卫星成像质量和云量的判断是任务规划闭环工作中的重点。在全球观测任务实施中我们实行了自动评估与人工目视评估相结合的策略。自动评估即采用数据处理系统提供的每景影像的自动云量判读结果及时生成云掩模矢量数据,通过自动评估来得到合格影像的范围统计图。每景影像中云量小于 20% 的定义为合格影像,其中因境内成像次数频繁,指标可提高至 10%。人工目视评估主要是通过对快视浏览图进行校正后制作影像覆盖拼图,主要目的是为了让成像的效果更加

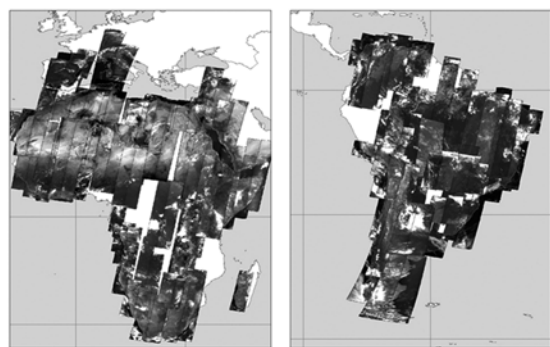


图 4 区域快视浏览影像覆盖图

Fig. 4 Quick view image mosaic

直观和可视化,并且能够避免在自动云量提取时因云雪、薄云等结果误判。快速制作的区域快视浏览影像覆盖图(图 4)能够大大优化本区域后续观测计划的制定和实施,提高观测效率。

4 全球陆地光学遥感影像获取计划应用效果

4.1 全球陆地光学影像覆盖情况统计

A、B 星全球陆地光学遥感影像获取计划从 2010 年开始全面实施,重点针对三站网接收覆盖范围之外的 $1.25 \times 10^8 \text{ km}^2$ 的陆地区域观测成像。截至 2011 年 9 月统计,A、B 星共获取 CCD 数据 5.8×10^5 景,数据量约为 81 TB,其中 CCD 影像已基本完成全球陆地成像,如图 5 所示,约 $1.2 \times 10^8 \text{ km}^2$ 陆地面积实现基本无云覆盖,占全球陆地总面积的 85% 以上。这一结果已经大大超出当初卫星的设计目标即国内及周边国家环境和灾害监测,影像获取范围从区域覆盖扩展到了全球覆盖,取得了丰硕的应用成果。



图 5 环境减灾卫星全球陆地有效影像(云量 $<20\%$)覆盖分布图(2010.1—2011.9)

Fig. 5 Image data coverage by HJ-1-A/B (scene cloud $<20\%$) from Feb. 2010 to Sep. 2011

4.2 未覆盖区域分析

A、B 星有效影像已经覆盖了全球 85% 以上的陆地区域,未有效覆盖区域包括俄罗斯北部、非洲中部热带雨林、南美洲中部热带雨林、北美洲北部、印尼、南极洲等区域,主要有以下几方面的原因:

(1) 自动云覆盖统计误差问题:在北极附近的

格陵兰岛以及南极等区域终年积雪,自动云覆盖统计时容易出现云雪误判的情况,从而造成此类地区有效影像覆盖统计较少的情况。

(2) 观测区域冲突:处于三站网接收范围南北两侧的俄罗斯、印尼部分地区与中国境内的观测区域在实际任务执行中常常发生冲突。如果同一轨道已经安排境内的实时成像则无法同时安排记录成像,若要获取此区域的影像必须放弃同轨的国内成像计划,鉴于国内观测计划为业务化的运行模式,因此,造成此类地区无法安排更多的重复观测。

(3) 气候影响:非洲中部热带雨林、南美洲亚马逊流域等赤道地区终年多云多雨,且这一区域对流云团控制的时间和区域变化强烈,因而有效光学影像获取的难度很大。在南极地区,在太阳高度角较为合适的夏季,由于天气变化明显,虽然安排了多次观测,但仍然难以获得符合要求的有效影像。

5 结 论

尽管全球陆地光学遥感影像获取计划的应用目标得以实现,但还是存在一些需改进的方面:(1) 缩短卫星观测计划编制周期。以 7 d 为周期的观测计划编制应进一步缩短,以便更有效地结合短期全球天气预报,提高观测任务实施的有效性,提高卫星资源利用率。(2) 提高数据处理系统效率速度和稳定性。由于数据处理和传输等问题往往造成已完成境外观测的卫星数据质量无法得到及时的评估,不利于后续观测计划的及时制定。(3) 拓展境外卫星接收站。境外记录回放的工作模式效率低,如果能够在境外合适的地域建立接收站将大大提高卫星资源的利用率。

全球陆地光学遥感影像获取计划的成功实施,充分发挥了 A、B 星光学星座组网、宽覆盖、高重访的优势。在不影响国内灾害与环境监测业务化运行的情况下,在较短的时间内完成了全球陆地光学遥感影像的获取任务,为全球地表覆盖遥感的制图提供了重要的影像数据支撑,为全球变化研究提供了宝贵的数据资料。

参考文献:

- [1] 王海花,刘耀龙,阎成赞. 遥感技术在全球变化研究中的应用[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(1):156-161.
WANG H H, LIU R L, YAN CH Z. Application of remote sensing technology to global environment change [J]. *Environmental Science and Management*, 2009, 34(1):156-161.
- [2] 范一大,杨思全,王兴玲.“环境减灾卫星”应用系统解读[J]. 中国减灾, 2008, 9:9-11.
FAN Y D. Interception of environment and disaster reduction system[J]. *Natural Disaster Reduction in China*, 2008, 9:9-11.
- [3] 杨思全,李素菊,和海霞. 环境减灾 A、B 星应用能力分析[J]. 中国航天, 2010, 4:3-7.
- [4] 王磊,和海霞,温奇,等. 环境减灾 A、B 星运行管理与减灾应用[C]. 2010 *International Conference on Remote Sensing (ICRS2010)*, Hangzhou, 2010:674-677.
WANG L, HE H X, WEN Q. The operation management and the disaster reduction/relief applications of HJ-1 A/B[C]. 2010 *International Conference on Remote Sensing (ICRS2010)*, Hangzhou, 2010:674-677. (in Chinese)
- [5] 白照广,沈中,王肇宇. 环境减灾-1A、1B 卫星技术[J]. 航天器工程, 2009, 18(6):1-11.
BAI ZH G, SHEN ZH, WANG Y Y. HJ-1A/1B Satellites Technology [J]. *Spacecraft Engineering*, 2009, 18 (6):1-11. (in Chinese)
- [6] 谭田,杨芳. 环境减灾-1A、1B 卫星星座轨道设计[J]. 航天器工程, 2009, 18(6):27-30.
TAN T, YANG F. HJ-1-A/B constellation Orbit Design [J]. *Spacecraft Engineering*, 2009, 18 (6):27-30. (in Chinese)
- [7] ARVIDSON T, GASCH J, GOWARD S N. Landsat 7's long term acquisition plan-an innovative approach to building a global archive, Special Issue on Landsat 7 [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2001, 78:13-26.
- [8] ARVIDSON T, IRISH R, MARKHAM B, et al.. Validation of the Landsat 7 long-term acquisition plan[C]. *Proceedings of Pecora 15, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, unpaginated CD-ROM*, 2002.
- [9] TERRY A, SAMUEL G, JOHN G, et al.. Landsat-7 long-term acquisition plan: development and validation[J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2006, 72(10):1137-1146.
- [10] 杨海涛,杨露,赵洪利. 天基信息获取任务规划模型研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(21):6710-6715.
YANG H T, YANG L, ZHAO H L. Research of space-based information acquisition mission task planning model[J]. *Journal of System Simulation*, 2009, 21(21):6710-6715. (in Chinese)
- [11] chapter5 Orbit and Coverage, landsat 7 Science Data Users Handbook.
- [12] ROSSOW W B, WALKER A W, BEUSCHEL D E, et al.. (1996) International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) documentation of new cloud datasets (p. 115) (WMO/TD-No. 737). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- [13] <http://isccp.giss.nasa.gov/products/browsed2.html>[OL].
- [14] 吴斌,黄学祥,黄永宣. 基于统一操作的近地卫星业务测控工作模式[J]. 中国航天, 2003, 9:29-33.

作者简介:



王兴玲(1973—),男,甘肃临洮人,博士,副研究员,1995年于西北师范大学获得学士学位,1999年于中山大学获得硕士学位,2002年于中科院遥感应用研究所获得博士学位,主要从事卫星地面应用系统、遥感应用等方面的研究。E-mail: wangxingling@ndrcc.gov.cn



刘龙飞(1977—),女,山东青岛人,硕士,助理研究员,2000年于武汉测绘科技大学获得学士学位,2004年于北京师范大学获得硕士学位,主要从事空间技术在减灾领域的理论与应用研究。E-mail: liulongfei@ndrcc.gov.cn



于 钢(1982—),男,黑龙江绥化人,硕士,助理研究员,2006 年于华中科技大学获得硕士学位,2009 年于中国科学院研究生院获得硕士学位,主要从事卫星运行管理、遥感应用等方面的研究。E-mail: yugang@ndrcc.gov.cn



陶 亮(1981—),男,河南信阳人,博士,助理研究员,2009 年于武汉大学获得博士学位,主要从事减灾信息化与云计算研究。E-mail: taoliang315@163.com



雷 宇(1974—),男,湖南桃江人,硕士,助理研究员,1996 年于湖南科技大学获得学士学位,2003 年于北京大学获得硕士学位,现主要从事 GIS、GPS 灾害应用方面的研究。E-mail: leiyu@ndrcc.gov.cn

(本栏目编辑:李自乐)

● 下期预告

新型 Hex-Rotor 无人飞行器及其飞行控制系统设计

官 勋¹,白 越^{2*},赵常均²,高庆嘉²,彭 程¹,田彦涛¹

(1. 吉林大学 通信工程学院,吉林 长春 130025;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

为克服现有多旋翼飞行器的欠驱动、强耦合特性对其飞行控制效果的影响,本文提出一种 Hex-Rotor 无人飞行器。利用 6 个旋翼独特的结构配置,保证了飞行器具有真正实现空间六自由度独立控制的能力。介绍了这种新型飞行器的结构特点并建立其动力学模型。同时引入滤波反步法与自抗扰算法设计了具有双环并行结构的飞行控制系统,并在数字仿真中实现了飞行器的空间六自由度独立控制并克服了未知外部扰动以及模型不确定性带来的影响。结果显示:原型机试飞实验中,飞行器的水平位移跟踪误差不超过 ± 4 m,高度误差不超过 ± 3 m,姿态角误差不超过 ± 0.05 rad,均保持在传感器的测量误差范围内,飞行器较为准确地跟踪了期望指令。仿真和实验结果证明了该新型 Hex-Rotor 飞行器具有期望的六自由度独立控制能力,建立的数学模型准确,设计的飞行控制系统能够保证轨迹与姿态跟踪飞行的实现。