

天基中继传输在陆地遥感卫星影像获取中的应用分析

汪汇兵^{1,2}, 郑作亚³, 欧阳斯达¹, 张悦¹, 杨超¹, 黄宇³

(1.自然资源部国土卫星遥感应用中心, 北京 100048;

2.江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 江苏南京 210023;

3.中国电子科技集团有限公司电子科学研究院, 北京 100041)

摘要: 分析影响陆地遥感卫星影像获取的主要因素, 针对卫星数据星地接收瓶颈问题, 提出基于天基中继的卫星影像数据传输应用模式。仿真分析和量化测算中继传输的应用效果, 结果表明中继传输可以提高卫星数据接收可视时长, 从而极大提升影像数据获取总量, 有效发挥卫星运行效能。

关键词: 陆地遥感卫星; 影像获取; 数据接收; 中继传输; 卫星运行效能

中图分类号: TN393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.20200214

Application Analysis of Space-Based Relay in Land Resources Satellite Image Acquisition

WANG Huibing^{1,2}, ZHENG Zuoya³, OUYANG Sida¹, ZHANG Yue¹, YANG Chao¹, HUANG Yu³

1.Land Satellite Remote Sensing Application Center, MNR, Beijing 100048, China

2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing 210023, China

3. China Academy of Electronics and Information Technology, Beijing 100041, China

Abstract: With the analysis of the main factors affecting the image acquisition of land remote sensing satellite, the satellite image data transmission application mode based on space-based relay was proposed to solve the bottleneck problem of satellite-ground receiving. Through simulation analysis and quantitative calculation, the application effect of relay transmission was calculated. The results showed that relay transmission could improved the visible time of satellite data receiving, thus greatly improved the total amount of image acquisition, and effectived perform the satellite operation efficiency.

Keywords: land resources satellite, image acquisition, data reception, relay transmission, satellite operation efficiency

1 引言

遥感技术是获得自然资源和环境数据及信息的一种手段, 随着环境灾害预警和资源勘查等问题的提出, 卫星应用变得十分重要, 已成为促进国民经济持续增长的重要手段^[1-2]。基于我国自主卫星遥感技术, 实时掌握和动态获取地球自然资源、环境、灾害等发展态势的重要信息资料, 为自然资源调查监测提供技术保障, 从而提升我国自然资源卫星测绘遥感与调查监测能力, 对更好地服务于国家生态文明建设、国家治理体系及治理能力

现代化具有重要意义^[3]。

2 陆地遥感卫星影像获取能力影响分析

以光学载荷为主的陆地遥感卫星所拍摄获取的影像数据的应用价值, 由地面景物、光路成像条件和星上成像系统所影响的影像信息质量决定^[4]。因此, 影像信息质量随着每次成像而变化。由单圈成像数量、单日成像数量等卫星单位时间内获取地物的多少所表征的获取效率, 则是卫星影像获取能力系统性评价的一项重要指标^[5]。在卫星载

收稿日期: 2020-11-01; 修回日期: 2020-11-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.41871325)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(No.41871325)

荷幅宽已确定的情况下,成像数据即与成像时长呈线性正比,因此成像时长指标是卫星影像获取能力的重要因素。

2.1 传统时序回放模式卫星的获取影响分析

我国早期发射的陆地遥感卫星较多使用传统的时序回放控运模式,即地面系统指定每个数据传输弧段下传的文件^[6],按成像记录时间顺序,编号并逐一回放文件,一次成像对应一次数据接收,卫星成像次数受限于接收次数,卫星影像获取能力并未充分发挥。分析其主要影响表现在以下几个方面。

(1) 单次接收时长限制单次成像时长

在成像与数据传输量比(经星上压缩后的单位成像数据量与数据下传带宽的单位传输数据量比值)为1:1的情况下,单次成像时长即等于单次接收时长。以轨道高度500 km的太阳同步陆地遥感卫星仿真计算,地面站单次过境窗口时长不足600 s,即卫星单次成像时长不足10 min。

(2) 单日接收站可视时长限制单日成像总时长

卫星在接收站可视范围内,可采用实时传输进行成像与传输;在可视范围外,卫星采用先记录成像,后顺序回放的模式进行数据获取。因此,在数据获取时,需要考虑星上有限的存储空间及时回放成像数据,通过任务编排最大化地利用接收站可视窗口。但在成像与数据传输量比为1:1的情况下,单日成像总时长始终受限于单日接收站可视总时长,以轨道高度500 km的太阳同步陆地遥感卫星仿真计算,我国陆地遥感卫星主要使用的密云、三亚、喀什的3个地面站的单日可视范围总时长约为60 min,即卫星单日成像总时长约1 h。

2.2 新一代边记边放模式卫星的获取影响分析

我国近几年发射的陆地遥感卫星,对卫星数据下行接收进行了大幅的技术突破与提升^[7-9]。一方面对卫星的下行数据传输码速率及地面接收天线能力进行了升级;另一方面实现了星上自主管理任务合并优化,利用更为灵活的边记边放模式,实现了星上的记录与回放作业并行,使接收任务不再需要与成像任务在时序上一一对应,充分利用了地面站接收窗口^[10-12]。但随着卫星载荷不断增多、分辨率不断提高,卫星成像数据量也随之增长,接收能力的扩充跟不上成像能力的增长,卫星影像获取能力仍然受限^[13-14]。分析其主要影响表现在以下几个方面。

(1) 成像与数据传输量比限制成像时长

以光学影像获取为主的陆地遥感卫星,在星上采用对同值光谱信息合并的方式进行数据压缩,压缩比对影像数据的质量和信噪比影响较大,因此需保持星上数据压缩后的数据质量和信噪比可用,星上数据的压缩比一般为1:2

至1:4^[15-16]。在卫星运行过程中使用最大压缩比进行数据存储与下行数据传输的情况下,载荷多、分辨率高的卫星成像数据量大,对接收资源要求较高。10 Gbit/s的成像数据量,按1:4最大压缩比,及X接收频段的数据传输码速率的上限1.2 Gbit/s进行仿真测算,成像与数据传输量比在1:2左右,即1 min的成像,需要2 min的数据传输窗口接收,接收数据传输的速率及窗口时长亟待突破。

(2) 有限地面接收资源的多星分配限制成像时长

我国陆地遥感卫星利用数量有限的卫星地面接收站进行数据接收,但在轨陆地遥感卫星多,可用地面接收站少,需要在卫星运行过程中进行地面接收资源的协调分配,可分配的地面接收资源总量及分配到各颗卫星的接收资源量均有限,单日各星可成像的时长受制于接收资源使用情况^[17]。

因此,接收资源不足和能力有限是影响陆地遥感卫星影像获取的主要因素之一。增加卫星下行数据接收能力,是提升陆地遥感卫星的影像获取能力、时效性及使用效率的迫切需求。

3 陆地遥感卫星的天基中继传输设计

在卫星下行数据接收能力提升的技术实践中,优化数据压缩算法、双圆极化频率复用、提高调制解调体制效率等提升星地数据传输链路能力的方法,均已在现有的陆地遥感卫星数据接收中实现,而采用Ka频段增加带宽、全球布局地面接收站、用高轨卫星进行数据中继等方法,仍是解决遥感信息与数据传输能力之间矛盾的发展需求^[18]。

因此,本文根据国内技术发展现状,在我国天地一体化信息网络已开展了较为充分的技术论证与探讨的基础上,以陆地遥感卫星的中继传输为技术途径,探索提升卫星获取能力的解决方案^[19-20]。

3.1 地面接收与天基中继的数据接收仿真分析

仿真设计3颗国内可视的静止轨道中继卫星,从西至东编号G01、G02、G03,对比国内密云、三亚、喀什3个地面站。仿真设计1颗轨道高度500 km的太阳同步陆地遥感卫星,以1月1日0:00:00至1月7日24:00:00的7天时长,进行接收可视时长仿真,得到如下计算结果。

(1) 地面站可视时长

在卫星仅能同时与一个地面站进行通信的前提下,卫星与密云、三亚、喀什3个地面站在7天内的总可视时长为26 775 s,平均每天约64 min,与卫星实际运行的单日成像总时长60 min约束近似,具体仿真结果见表1。其中卫星同时可见密云站与三亚站时,以时间较长的可视窗口计算。

表1 地面站可视时长仿真结果

接收站	可视次数/次	最长可视 时长/s	最短可视 时长/s	平均可视 时长/s	可视 总时长/s
密云站	26	511	185	372.4	9 683
三亚站	21	506	35	338.7	7 113
喀什站	25	511	8	399.1	9 979
合计	72	511	8	371.9	26 775

(2) 静止轨道中继卫星可视时长

在卫星仅能同时与一颗中继卫星通信的前提下，卫星与G01、G02、G03 3颗静止轨道中继卫星在7天内的总可视时长为561 163 s，平均每天可视总时长为1 336 min，约22 h，具体仿真结果见表2。其中G01与G03存在可视范围重叠，且完全覆盖G02可视窗口；G02可视窗口不计，卫星同时可见G01与G03时，以时间较长的可视窗口计算。

表2 静止轨道中继卫星可视时长仿真结果

天基骨干 中继卫星	可视次数/次	最长可视 时长/s	最短可视时 长/s	平均可视时 长/s	可视 总时长/s
G01	75	11 909	49	3 137.6	235 323
G02	0	—	—	—	0
G03	75	12 816	2 496	4 344.5	325 840
合计	150	12 816	49	3 741.1	561 163

从可视时长的仿真计算结果对比来看，静止轨道中继卫星可视时长约是地面站时长的21倍，天基中继的传输能力较地面接收站具有明显优势，是增加卫星下行数据接收能力的可选解决途径之一。

3.2 陆地遥感卫星天基中继传输架构设计

针对陆地遥感卫星影像获取中数据接收下行资源不足的问题，探索陆地遥感卫星天基中继传输的技术架构。

(1) 陆地遥感卫星天基中继传输架构的组成

以陆地遥感卫星作为低轨卫星进行中继接入，利用静止轨道中继卫星进行中继数据传输；利用地面接收站进行静止轨道卫星中继数据的地面接收，最终提供在轨的中继传输与接收服务。将陆地遥感卫星天基中继传输进行部署划分，具体架构设计如图1所示。

1) 陆地遥感卫星接入

陆地遥感卫星以低轨接入节点进行网络接入，利用微波通信与天基中继星进行粗跟踪；在高低轨卫星信号捕获瞄准后，在可视窗口内利用激光通信进行高速的数据中继传输。

2) 天基中继网中继

天基中继星负责在收到低轨接入的陆地遥感卫星数

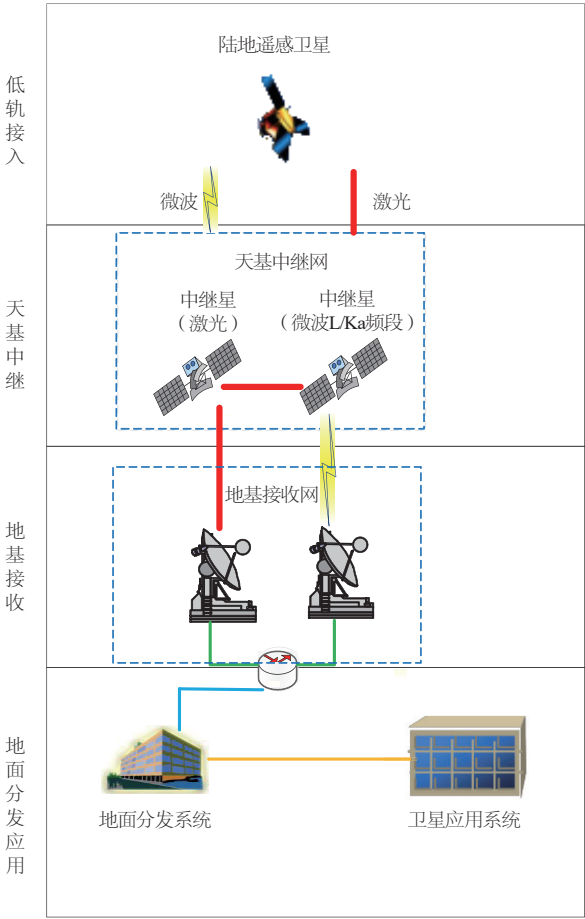


图1 陆地遥感卫星天基信息中继传输的架构设计

据后，根据天基中继星与地面接收站的可视情况选择中继传输链路：当卫星与地面站可视时，利用激光通信或微波通信进行高速的数据下传；当卫星与地面站不可视时，利用另一颗地面站可视的天基中继星进行二次中继下传数据，以保障中继卫星任务占用的及时释放和陆地遥感卫星数据接收的时效性。

3) 地基接收网接收

地基接收站负责根据实时运行情况，调配接收天线或激光接收终端资源，进行天基中继星的中继数据接收，并通过地面传输网络，将陆地遥感卫星数据传输至地面分发系统。

4) 地面分发应用

地面分发系统负责在收到陆地遥感卫星数据后，分发给卫星应用系统；卫星应用系统负责开展相关的遥感影像数据处理与应用。

(2) 陆地遥感卫星天基中继传输的运行模式

在陆地遥感卫星天基中继传输设计架构下，天基中继传输作为可独立运行的模式，可与现有陆地遥感卫星

运行模式并行运行,如图2所示。

1) 现有陆地遥感卫星运行模式不变

上行由卫星用户需求发起,将卫星成像需求交由卫星地面系统生成卫星任务指令及地面站接收计划;下行时卫星通过地面站接收数据,并通过地面系统分发至卫星用户。

2) 新增陆地遥感卫星天基中继运行模式

上行同样由卫星用户需求发起,将卫星成像需求交由卫星地面系统生成卫星任务指令,同时将卫星中继需求交由中继运控中心生成卫星中继传输任务指令、天基中继任务指令及地面接收计划;下行时卫星通过天基中继卫星进行激光中继传输,地面接收站接收到中继数据后经由地面分发系统分发至卫星用户。

3.3 天基中继的仿真效能分析

综合考虑星上能量平衡^[21-22]、地面成像需求^[23]等卫星实际运行条件及天基中继预计运行情况,从卫星使用与中继传输运行两方面进行条件假设,在同等条件下,进行地面站接收与中继传输能力仿真对比分析。

卫星使用与中继传输运行的假设条件有:

- (1) 不考虑地面站资源调配和捕获跟踪等过程消耗,3个地面接收站满负荷运行单日平均可视时长约64 min;
- (2) 按照全球3:7的陆地与海洋面积比与卫星地面轨迹覆盖的积分关系,估算卫星平均每日陆地成像需求时长约占全天的30%,即432 min;
- (3) 卫星每天运行16圈,单圈能量平衡以阳照面充电时长与载荷开机时长比2:1测算,90 min的轨道阳照时长约45 min,卫星单圈最长可工作时长约22.5 min,单日工作时长约360 min;
- (4) 在陆地遥感卫星天基中继传输过程中,星间

链路的捕获跟踪、链路切换、连接释放等过程均需消耗可视窗口时长,以10%的消耗预估,同时剔除仿真结果中小于平均可视时长的10%即374 s的可视窗口,3颗静止轨道中继卫星一周内仿真结果的单日平均可传输窗口为71 823 s, 1 197 min;

(5) 考虑中继传输服务用户资源分配情况,以可满足陆地遥感卫星每日中继需求的20%测算,约239 min。

在上述假设下,仿真计算地面接收与中继传输时长,预估的卫星单日成像总时长见表3。

表3 预估的卫星单日成像总时长

约束	地面站接收		中继传输	
	顺序回放	快记慢放	顺序回放	快记慢放
单圈成像时长/min	10.0	22.5	22.5	22.5
单日接收总时长/min	64	64	180	239
单日成像总时长/min	64.0	32.0	180.0	119.5

通过分析可知,在使用中继传输后,陆地遥感卫星的单圈成像时长受卫星单圈能量平衡最长可工作时长约22.5 min约束,在成像与数据传输量比为1:1时,单日成像总时长受能量平衡单日工作总时长360 min的约束;在成像与数据传输量比为1:2时,单日成像总时长虽受中继传输总时长239 min约束,但接近能量平衡单日工作总时长360 min(接收时长240 min,成像时长120 min)的约束。

效能仿真结果表明,通过陆地遥感卫星的天基中继传输的实现,限制卫星影像获取的主要因素已由接收能力不足转化为卫星能量平衡以及成像与数据传输量比的约束,天基中继传输可基本消除陆地遥感卫星数据接收资源不足对影像数据获取效能的影响。

4 结束语

本文提出的陆地遥感卫星的天基中继传输应用方案,基于低轨陆地遥感卫星接入、高轨静止卫星中继和地面接收站接收及分发应用,可实现在轨陆地遥感卫星的中继传输与接收应用,对卫星获取能力提升具有实际意义和实现价值,能有效解决地面接收站资源不足的陆地遥感卫星影像获取瓶颈问题。同时,为实现本文所分析设计的陆地遥感卫星的天基中继传输应用方案,诸如星载激光传输终端、接入节点中继运控、中继数据处理分发等基础性技术问题还有待进一步研究,以便实现陆地遥感卫星天基中继传输的实际在轨运行,提高卫星运行效能,支撑山水林田湖草等全要素调查监测,服务自然资源管理和生态文明建设。

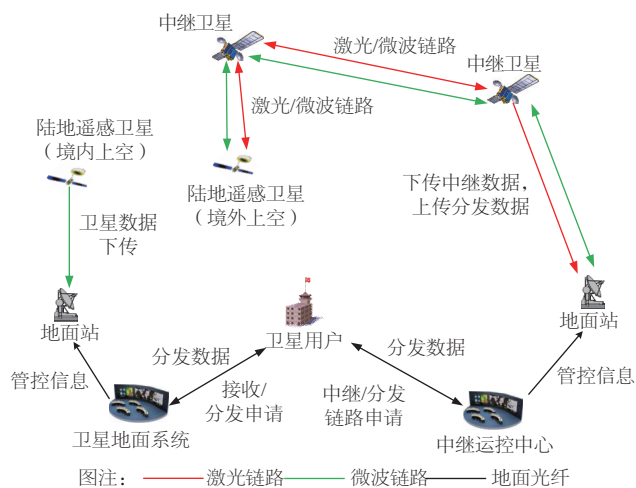


图2 陆地遥感卫星天基中继传输的运行模式设计

参考文献：

- [1] 徐冠华, 田国良, 王超, 等. 遥感信息科学的进展和展望[J]. 地理学报, 1996, 63(5): 385-397.
XU G H, TIAN G L, WANG C, et al. Remote sensing information science: Progress and prospect[J]. Acta Geographica Sinica, 1996, 63(5): 385-397.
- [2] 李德仁. 论空天地一体化对地观测网络[J]. 地球信息科学学报, 2012, 14(4): 419-425.
LI D R. On space-air-ground integrated earth observation network[J]. Journal of Geo-Information Science, 2012, 14(4): 419-425.
- [3] 黄露, 王爱华, 陈君, 等. 国产卫星遥感技术在自然资源调查监测中的应用[J]. 地理空间信息, 2020, 18(5): 73-75+7.
HUANG L, WANG A H, CHEN J, et al. Application of domestic satellite remote sensing technology in natural resource survey and monitoring[J]. Geospatial Information, 2020, 18(5): 73-75+7.
- [4] 陈世平. 景物和成像条件对遥感图像品质的影响[J]. 航天返回与遥感, 2010, 31(1): 1-10.
CHEN S P. The effects on remote sensing image quality from scenes and imaging conditions[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2010, 31(1): 1-10.
- [5] 刘锋, 李琳, 孟新. 遥感卫星系统能力指标体系构建模式研究[J]. 航天返回与遥感, 2017, 38(6): 40-45.
LIU F, LI L, MENG X. Research on construction model of the capacity index system for remote sensing satellite system[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2017, 38(6): 40-45.
- [6] 田志新, 汤海涛, 王中果, 等. 基于星上动态指令调度的卫星使用效能提升技术[J]. 宇航学报, 2014, 35(10): 1105-1113.
TIAN Z X, TANG H T, WANG Z G, et al. Satellite utility improvement technique based on dynamic on board command scheduling[J]. Journal of Astronautics, 2014, 35(10): 1105-1113.
- [7] 李德仁, 王密. 高分辨率光学卫星测绘技术综述[J]. 航天返回与遥感, 2020, 41(2): 1-11.
LI D R, WANG M. A review of high resolution optical satellite surveying and mapping technology[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2020, 41(2): 1-11.
- [8] 李增元, 覃先林, 高志海, 等. 高分遥感林业应用研究[J]. 卫星应用, 2018(11): 61-65.
LI Z Y, QIN X L, GAO Z H, et al. Research on forestry application with high resolution remote sensing[J]. Satellite Application, 2018(11): 61-65.
- [9] 童旭东. 中国高分辨率对地观测系统重大专项建设进展[J]. 遥感学报, 2016, 20(5): 775-780.
TONG X D. Development of China high-resolution earth observation system[J]. Journal of Remote Sensing, 2016, 20(5): 775-780.
- [10] 曹海翔, 张新伟, 赵晨光, 等. 高分七号卫星总体设计与技术创新[J]. 中国空间科学技术, 2020, 40(5): 1-9.
CAO H Y, ZHANG X W, ZHAO C G, et al. System design and key technologies of the GF-7 satellite[J]. Chinese Space Science and Technology, 2020, 40(5): 1-9.
- [11] 张驰, 刘杰, 王振兴, 等. 高分三号卫星自主任务规划设计与在轨验证[J]. 航天器工程, 2017, 26(6): 29-33.
ZHANG C, LIU J, WANG Z X, et al. Design and on-orbit verification of task self-arrangement for GF-3 satellite[J]. Spacecraft Engineering, 2017, 26(6): 29-33.
- [12] 陆春玲, 王瑞, 尹欢. “高分一号”卫星遥感成像特性[J]. 航天返回与遥感, 2014, 35(4): 67-73.
LU C L, WANG R, YIN H. GF-1 satellite remote sensing characters[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2014, 35(4): 67-73.
- [13] 孙伟伟, 杨刚, 陈超, 等. 中国地球观测遥感卫星发展现状及文献分析[J]. 遥感学报, 2020, 24(5): 479-510.
SUN W W, YANG G, CHEN C, et al. Development status and literature analysis of China's earth observation remote sensing satellites[J]. Journal of Remote Sensing, 2020, 24(5): 479-510.
- [14] 郑小松, 李立, 张雨, 等. 高分七号卫星数据处理与传输分系统设计与验证[J]. 航天器工程, 2020, 29(3): 74-81.
ZHENG X S, LI L, ZHANG Y, et al. Design and verification of data processing and transmission subsystem on GF-7 satellite[J]. Spacecraft Engineering, 2020, 29(3): 74-81.
- [15] 韩宇, 袁素春, 张建华, 等. 高分七号卫星图像压缩FPGA设计与实现技术[J]. 航天器工程, 2020, 29(3): 169-176.
HAN Y, YUAN S C, ZHANG J H, et al. Design and implementation technology of compression coder with FPGA on GF-7 satellite[J]. Spacecraft Engineering, 2020, 29(3): 169-176.
- [16] 高卫斌, 冉承其. 遥感卫星数据传输技术发展分析[J]. 中国空间科学技术, 2005(6): 30-36.
GAO W B, RAN C Q. The analysis on technology development of data transmission in remote sensing satellites[J]. Chinese Space Science and Technology, 2005(6): 30-36.
- [17] 向尚, 陈盈果, 李国梁, 等. 卫星自主与协同任务调度规划综述[J]. 自动化学报, 2019, 45(2): 252-264.
XIANG S, CHEN Y G, LI G L, et al. Review on satellite autonomous and collaborative task scheduling planning[J]. Acta Automatica Sinica, 2019, 45(2): 252-264.
- [18] 王万玉, 毛伟, 何元春. 遥感卫星星地链路数据传输技术分析[J]. 物联网技术, 2017, 7(7): 33-36.

WANG W Y, MAO W, HE Y C. Analysis of remote sensing satellite data transmission technology on satellite-ground link[J]. Internet of Things Technologies, 2017,7(7):33-36.

- [19] 吴巍. 天地一体化信息网络发展综述[J]. 天地一体化信息网络, 2020,1(1):1-16.

WU W. Survey on the development of space-integrated-ground information network[J]. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2020,1(1):1-16.

- [20] 郑作亚, 薛庆昊, 仇林遥, 等. 基于网络信息体系思维的天地一体通导遥融合应用探讨[J]. 中国电子科学研究院学报, 2020,15(8):709-714.

ZHENG Z Y, XUE Q H, QIU L Y, et al. Discussion on integration application of communication navigation remote-sensing with the idea of network information system of system[J]. Journal of CAEIT, 2020,15(8):709-714.

- [21] 曹哲, 尤政. 微小卫星能量平衡精细化分析方法[J]. 南京理工大学学报, 2018,42(2):169-176.

CAO Z, YOU Z. Refine energy balance analysis for micro-satellite[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2018, 42(2):169-176.

- [22] 邹湘文, 潘孟春, 陈棣湘, 等. 卫星电源分系统的联合仿真[J]. 计算机仿真, 2007(7):69-73.

ZOU X W, PAN M C, CHEN D X, et al. Co-simulation of satellite electrical power system[J]. Computer Simulation, 2007(7):69-73.

- [23] 田海波, 陈利军, 张宏伟, 等. 全球4D数据产品研制[J]. 测绘通报, 2020(7):1-4+21.

TIAN H B, CHEN L J, ZHANG H W, et al. Preliminary study on global 4D data product development[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2020(7): 1-4+21.

[作者简介]



汪汇兵 (1979-), 男, 自然资源部国土卫星遥感应用中心研究员, 主要研究方向为卫星遥感与信息化建设。



郑作亚 (1978-), 男, 中国电子科技集团有限公司电子科学研究院研究员、博士后, 主要研究方向为卫星导航与定位、空间信息服务、卫星应用等。



欧阳斯达 (1986-), 男, 自然资源部国土卫星遥感应用中心高级工程师, 主要研究方向为卫星运行管理、卫星应用等。



张悦 (1992-), 女, 自然资源部国土卫星遥感应用中心工程师, 主要研究方向为卫星运行管理、卫星数据管理等。



杨超 (1988-), 男, 自然资源部国土卫星遥感应用中心工程师, 主要研究方向为卫星运行管理、卫星数据管理、卫星应用系统建设等。



黄宇 (1982-), 男, 中国电子科技集团有限公司电子科学研究院工程师, 主要研究方向为空间激光通信、卫星应用等。