



一种卫星资源一体化网格组织模型

张 玮¹ 王守斌² 程承旗³ 陈 波³ 朱皓俊²

1 北京大学地球与空间科学学院,北京,100871

2 61646部队,北京,100192

3 北京大学工学院,北京,100871

摘 要:针对以卫星本体为组织单元开展卫星应用时存在的地面覆盖表征不统一、难整合,现有的卫星分析方法存在大量重复计算、耗时严重等问题,提出了一种基于地理网格的卫星资源一体化组织模型。该模型的基本思路为:以全球等经纬度剖分网格体系(geographical coordinate global subdivision grid with one-dimension-integer on two to n th power, GeoSOT)多尺度网格作为统一的空间表征单元和索引主键,建立一张数据库大表对多星时空覆盖能力进行归一化网格组织,用存储代价换计算时间,提升分析计算效率。选择区域目标访问分析和区域覆盖率计算作为典型应用方法进行实验,初步验证了基于该模型的分析方法的计算效率较传统方法有较明显的提升。该模型可为多星资源整合、联合分析、协同调度提供技术基础。

关键词:卫星资源组织;卫星覆盖;全球剖分;多尺度网格

中图分类号:P208

文献标志码:A

卫星资源是卫星对地观测系统为满足对地观测需求而生产遥感数据的有限能力的综合。目前,卫星资源主要以卫星本体作为基本单元进行组织,相同功能或类型的卫星聚合形成星座系统。因此,各类卫星分析应用都以卫星或星座为对象展开,主要分为以下5个方面:(1)目标访问分析^[1-2];(2)地面覆盖区域计算^[3-4];(3)区域目标条带分割^[5-7];(4)卫星覆盖性能分析^[8-10];(5)卫星任务调度分析^[6]。

以卫星本体为组织单元开展卫星资源应用存在两个问题:(1)地面覆盖表征基本单元不统一、难整合,传统做法通常采用<星下点,条带幅宽>来表征覆盖区域大小,不同卫星的幅宽从几十千米到上千千米变化,空间尺度不唯一导致不同类型卫星难以整合;(2)现有卫星分析方法存在大量重复计算,耗时严重。例如区域目标访问分析方法主要采用基于空间采样点的跟踪传播法^[11],覆盖性能分析的主流方法是网格点法^[12-13],两类分析都存在时间效率瓶颈,其原因主要在于为保证结果精度足够高,需要密集采样,相邻采

样点被卫星覆盖情况接近,存在大量的重复覆盖计算。单个采样点的分析过程如果需要大量浮点数迭代,计算效率损失更大。

在不考虑轨道机动、传感器侧摆的情况下,卫星在特定时刻的地面覆盖是确定的,可以提前计算、存储下来,将组织视角从天空(卫星本体)转换到地面(卫星覆盖),实现多星一体化组织,同时作为后续所有分析的数据基础,最大程度剥离分析过程中计算卫星覆盖的重复部分。考虑此点,本文提出了一种基于地理网格的卫星资源一体化组织模型,以卫星覆盖网格为基本单元对不同卫星覆盖能力进行统一表征,以卫星覆盖归一化组织的形式对多星时空覆盖信息进行存储、整合,同时解决卫星分析方法的计算效率问题,为多星整合、联合分析、协同调度提供技术基础。

1 卫星资源网格组织模型

1.1 模型概述

总体思路为:(1)以地理网格作为统一的卫星覆盖表征单元;(2)以网格编码为索引主键,建

收稿日期:2018-09-25

项目资助:装备预先研究项目(30501050406, 30501050407);国防科技创新特区项目(17-H863-01-ZT-005-015-02, 17-H863-01-ZT-005-022-01)。

第一作者:张玮,博士生,研究方向为国防地理信息系统工程。zhangwei2009@pku.edu.cn

通讯作者:程承旗,博士,教授。ccq@pku.edu.cn

立一张数据库大表对卫星时空覆盖能力进行归一化网格组织,用存储代价换计算时间,提升分析计算效率。该模型的输入为时域(包含起始时刻 T_s 和终止时刻 T_e),输出为卫星资源能力大表,存储多星时空覆盖信息,外部依赖为现有的卫星地面覆盖计算方法,如图1所示。

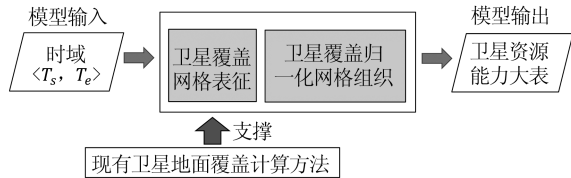


图1 模型的输入、输出和外部依赖

Fig. 1 Input, Output and Dependence of Model

本文选择文献[14]提出的全球等经纬度剖分网格体系(geographical coordinate global subdivision grid with one-dimension-integer on two to n th power, GeoSOT)作为卫星时空覆盖网格的时空基准。GeoSOT的优势在于:(1)全球尺度无缝无叠;(2)多层级网格嵌套,且网格粒度适宜,变形在全球尺度的差异较小;(3)使用64位二进制一维形式对网格进行编码,便于计算机存储、计算,且具备唯一性。

本文采用时间剖分编码作为卫星覆盖时间信息的存储载体。该编码的优势在于:(1)用一个64位二进制编码就能表达一个时刻或时间段;(2)方便数据库存储和索引;(3)编码支撑时间聚合和跨度计算;(4)数值小大对应时间早晚,适合时刻排序。

1.2 卫星覆盖网格表征

卫星覆盖采用<空间网格编码,卫星/传感器编号,时间剖分编码>三元组表征。获得卫星瞬时覆盖网格的过程如图2所示。

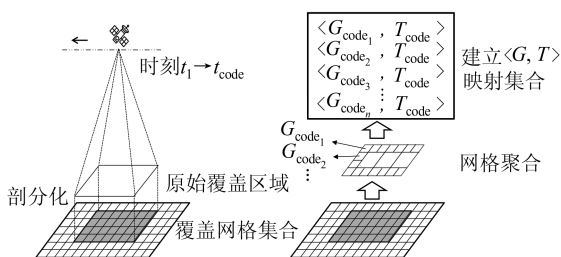


图2 卫星瞬时覆盖网格获取过程示意图

Fig. 2 Diagram of Satellite Instantaneous Coverage Grid Acquisition Process

1) 将卫星瞬时地面覆盖剖分化,生成基础层级网格集合。基础层级即为符合卫星应用精度要求的最高网格层级。将某时刻卫星地面覆盖剖分至该层级,得到网格集合 C 。

2) 将基础层级网格聚合成多尺度网格。将 C 尽可能聚合成包含多尺度网格的集合 C_m 。GeoSOT 剖分参考框架中,所有层级的任何网格都有唯一的编码,记网格 g_n 的编码为 c_n ,那么 C_m 可以编码化为 G_m ,即:

$$\begin{cases} C_m \rightarrow G_m \\ G_m = \{c_i | C_i \rightarrow c_i, C_i \subset C_m\} \end{cases} \quad (1)$$

式中, C_i 是指与网格 g_i 空间范围一致或符合边界处理原则的覆盖子区域。

3) 时间编码与多尺度网格编码建立一对多映射。将时刻 t_1 编码化为 t_{code} ,并拆开区(1)中的 c 集合,建立一对多映射关系。

将输入时域 T 按时间步长 λ 进行分割,得到分割时刻集合 $\{T_i\}$ 。对于每一个时刻 T_i ,都可以用编码集合来描述该时刻的卫星地面覆盖。将 T_i 编码为 T_{code} ,结合 G_m 中的每个空间网格编码元素,都能形成 $\langle G_{code}, S_{sat}, T_{code} \rangle$ 映射关系,即:

$$\begin{aligned} \langle S_{sat}, T \rangle &\rightarrow \langle G_{code}, S_{sat}, T_{code} \rangle_{sat} = \\ &\begin{cases} \langle c_{1,1}, S_{sat}, t_{code_1} \rangle \\ \langle c_{2,1}, S_{sat}, t_{code_1} \rangle \\ \vdots \\ \langle c_{n_1,1}, S_{sat}, t_{code_1} \rangle \\ \langle c_{1,2}, S_{sat}, t_{code_2} \rangle \\ \vdots \\ \langle c_{n_{N+1},N+1}, S_{sat}, t_{code_{N+1}} \rangle \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

式中, G_{code} 是指卫星覆盖网格编码; S_{sat} 是指卫星编码;映射关系 n 的数量满足:

$$n = \sum_{i=1}^{N+1} n_i$$

由此得到卫星在时域 T 内的时空覆盖网格表征形式,由于结果仅和网格编码、时间编码相关,这种方法可称为 GT 表征法。

1.3 卫星覆盖归一化网格组织

卫星覆盖采用卫星资源能力大表进行归一化组织。大表的主要编码如下。

1) 标识码:卫星编号和有效载荷编号,用来标识不同类型的卫星。将卫星编号和有效载荷编号分开,有利于应对一星多载荷和同载荷异星的情况。

2) 属性码:传感器名称、传感器类型等一系列列要素,用来进一步解释和存储卫星的基本信息和物理探测性能。

3) 关键码/索引码:空间网格编码(G)和时间剖分编码(T),一方面记录卫星在不同时刻的地面覆盖情况,另一方面实现能力大表快速检索。

卫星资源能力大表通过网格编码查询判断网格被哪些卫星覆盖的过程,主要有 3 种检索情况:

1) 要求全覆盖,判断网格(如图 3 所示的第 14 层级网格)被卫星覆盖时,要求卫星能够对网格包含的所有区域都覆盖。这种情形的查询条件为大表中是否存在该网格或其多层级父网格。

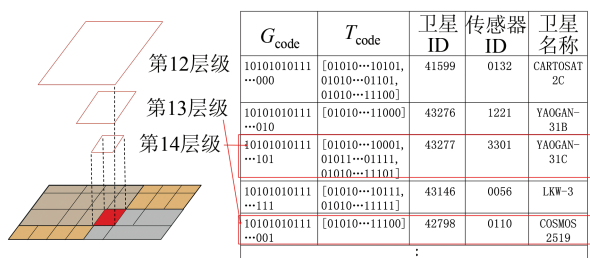


图 3 网格检索要求全覆盖情形

Fig. 3 Judging Whether the Grid Region Can Be Fully Covered by Satellites

2) 要求有覆盖但无法全覆盖,判断网格(如图 4 所示的第 12 层级网格)被卫星覆盖时,要求卫星能够覆盖网格包含的部分区域但不能覆盖所有区域。这种情形的查询条件为大表中是否存在该网格或其多层级子网格。

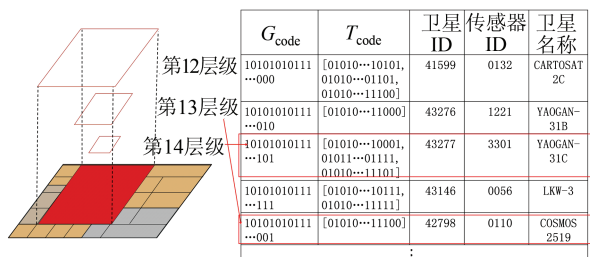


图 4 网格检索要求有覆盖但无法全覆盖情形

Fig. 4 Judging Whether the Grid Region Can Be Partially Covered by Satellites

3) 要求至少部分覆盖,判断网格(如图 5 所示的第 13 层级网格)被卫星覆盖时,要求卫星至少能够覆盖网格包含的部分区域。这种情形的查询条件为大表中是否存在该网格或父网格或子网格。

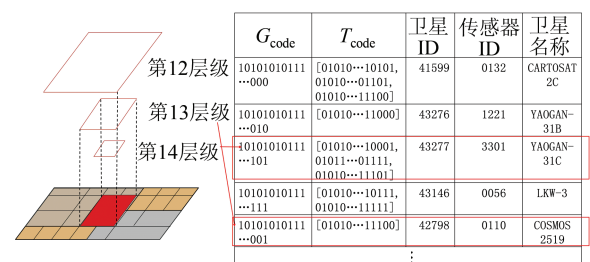


图 5 网格检索要求至少部分覆盖情形

Fig. 5 Judging Whether the Grid Region Can Be at Least Partially Covered by Satellites

2 仿真实验

为验证卫星资源网格组织模型是准确可靠的,本文以区域目标访问分析和区域覆盖率计算为典型应用,对卫星进行单星分析和多星分析,验证该模型的应用效能。仿真实验选择矢量法计算地面覆盖。实验的硬件环境为 Intel Core i7-7700K 处理器搭配 32 GB 内存,软件环境为 Windows 10 64 位操作系统,数据库采用 MongoDB 3.6。

2.1 仿真数据

多星实验选用 20 颗卫星的轨道参数仿真多卫星联合分析的过程。单星实验所用的卫星轨道根数如表 1 所示。区域目标访问分析的仿真区域目标为中国南海部分区域,边界点经纬度坐标如表 2 所示。区域覆盖率计算的仿真区域为中国大陆地区(不含中国台湾、海南等岛屿、海域)。不考虑卫星的姿态角变化,假定视场中心点投影到地表处与星下点始终重合,同时设定水平半视场角和垂直半视场角均为 15° 。仿真时域的起始时刻为 2018-05-21T9:00:00(UT0),终止时刻为 2018-05-22T9:00:00(UT0),时域跨度为 1 d(即 86 400 s)。

表 1 卫星轨道根数

Tab. 1 Orbital Elements of the Satellite in the Single Satellite Experiment

轨道根数	参数值
轨道倾角/(°)	97.411 6
升交点赤经/(°)	202.373 1
轨道偏心率	0.001 320 0
近地点幅角/(°)	345.114 5
平近点角/(°)	151.888 9

表 2 仿真区域目标边界点经纬度

Tab. 2 Geographical Coordinates of the Boundary Points of the Area Targets

顶点	目标 1
1	(103.058°, 27.236 8°)
2	(122.153°, 29.013 2°)
3	(123.276°, 7.105 26°)
4	(105.304°, 5.921 05°)

2.2 仿真验证结果

预处理阶段,选定时间步长为 1 s,覆盖网格基础层级为 GeoSOT 第 14 层级(2' 网格,网格大小对应赤道附近 4 km 左右),计算卫星覆盖时空网格并完成入库。数据库总条目数约为 9 870 万,存储空间占用约为 4.7 GB。

2.2.1 单星区域目标访问分析

输入区域目标的边界点序列,进行区域目标访问分析,得到该目标的时间窗口如表3所示。

表3 目标时间窗口计算结果

Tab. 3 Time Window Results of the Area Target

序号	时间窗口范围	时间窗口长度/s
1	2018-05-21T14:19:23—2018-05-21T14:25:39	376.0
2	2018-05-22T02:01:22—2018-05-22T02:07:57	395.0

以跟踪传播法为比较对象,取时间步长为1 s,计算时间窗口,将所得结果与本文方法进行对比。精度采用绝对误差和相对误差表示^[15],计算耗时与结果精度如表4和表5所示。

表4 本文方法与跟踪传播法的误差对比

Tab. 4 Time Error Comparison Between Method of this Article and the Traditional Method

方法	绝对误差/s	相对误差
本文方法	2.855	0.014 66
跟踪传播法	0.314	0.001 61

表5 本文方法与跟踪传播法的计算效率对比

Tab. 5 Computational Efficiency Comparison Between Method of this Article and the Traditional Method

本文方法 耗时/s	跟踪传播法 耗时/s	耗时比率
21.112	203.224	9.625 99

由表4可知,本文方法的绝对误差为秒级误差。误差来源有:(1)时间步长。时间步长越小,仿真时域的划分就越细,相邻时刻的卫星覆盖重合度越高,单个覆盖网格包含的时间覆盖信息就越丰富(原理类似于视频帧数);反之,则覆盖网格包含的时间覆盖信息就越少。因此,时间步长直接决定了时间窗口分析精度的分辨率。(2)网格基础层级。网格划分越细,对卫星瞬时覆盖区域的拟合就越好,基于网格的时间窗口查询分析结果也越逼近真实时间窗口。(3)卫星覆盖计算精度。瞬时覆盖精度越高,数据库存储的时空覆盖信息就越接近真实情况,最终经过查询检索得到的时间窗口也越精确,反之则越模糊。

由表5可知,本文方法的计算效率比传统的跟踪传播法更高,主要原因是该方法将复杂覆盖计算变成了预处理过程,面向具体区域目标时,只需判断网格包含关系,而网格包含关系判断可用编码位运算解决,因此区域目标的时间窗口计算过程被分离、简化,时间效率得以提升。

2.2.2 单星区域覆盖率计算

基于卫星资源网格组织模型进行的覆盖率

计算的算法步骤如下:

1) 计算得到区域的剖分网格编码集合(基础层级也设置为第14层级)。

2) 遍历区域网格集合。对于集合中的网格,检索数据库中是否存在该网格或该网格的子网格:(1)如果存在,则判断该网格是否为基础层级网格,若是,则将该网格加入结果集;若不是,则将子网格全部找出,并去除子网格集中能被其他子网格包含的网格,最后将子网格集剩余网格都加入结果集。(2)如果不存在,则继续遍历。

通过上述步骤,计算得到区域覆盖率和覆盖网格个数(全部转换成基础层级)。覆盖面积为结果集中所有网格的面积之和,区域覆盖率为覆盖面积除以区域总面积。同时,以美国分析图形有限公司(Analytical Graphics Incorporation, AGI)出品的卫星工具套件(Systems Tool Kit, STK)的网格点法分析作比较,覆盖率结果如表6所示。由表6可知,基于网格组织模型的覆盖率计算效率提升明显,与网格点法相比,计算耗时减少了70%,而从分析结果来看,本文方法计算得到的覆盖率比网格点法更低,相对精度为90.91%。产生偏差的原因在于:(1)用网格表征卫星覆盖以及地面区域边界的方法是近似表征,网格基础层级决定了这种表征的精度;(2)卫星覆盖计算精度也会影响覆盖率结果。

表6 本文方法与网格点法对比结果

Tab. 6 Data Results of the Area Coverage Based on the Proposed Method and the Traditional Method

指标	本文方法	网格点法
覆盖面积/km ²	2 189 658.71	2 413 467.16
区域面积/km ²	9 274 285.08	9 293 289.03
覆盖率/%	23.61	25.97
计算耗时/s	157.566	551.921
计算耗时比率	1	3.502 7

2.2.3 多星分析

分别对多星访问区域目标的时间窗口和区域覆盖率进行计算,并与传统方法的计算效率对比(见图6)。由图6可知,无论是区域目标分析,还是区域覆盖率计算,卫星数量越多,本文方法的计算效率越高。这是因为将多星覆盖网格化后用能力大表归一化组织,一个空间网格可以同时抓取多星对该网格所在区域的时空覆盖信息,因此无论是区域目标分析还是区域覆盖率计算,都将原先的各个卫星的独立分析过程合并为一次遍历网格检索过程,时间损耗自然下降了。

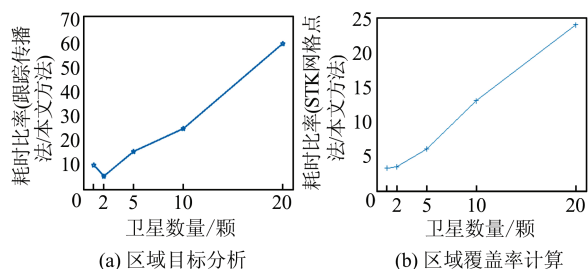


图 6 多星分析条件下本文方法与传统方法的
计算效率对比

Fig. 6 Computational Efficiency Comparison Between the
Proposed Method and Traditional Methods on
Multi-satellite Situation

3 结语

本文提出了一种基于地理网格的卫星资源一体化组织模型。该模型主要适用于卫星任务调度规划前的卫星地面覆盖目标分析、卫星及星座地面覆盖性能分析等方面的应用,尤其是在多卫星联合分析的情况下,该模型的优势更加明显。该模型使用一套多尺度网格体系来表征卫星覆盖区域,解决了地面覆盖表征基本单元不一致的问题,同时还通过能力大表归一化组织存储多星的时空覆盖信息,解决了卫星分析方法重复计算覆盖、时耗大的问题。该模型暂未考虑敏捷卫星、姿态变化、传感器角度调整的情形,无法支持区域条带分割方法;同时,为保证覆盖时间信息表达精度,时间步长应较小,这就带来了较大的存储空间开支。因此,后续还需修正时空覆盖网格表征形式,以便兼容卫星姿态角、传感器矫正等情形;同时还要研究能力大表存储压缩方法,以便节省更多的空间开支。

参 考 文 献

- [1] Shen Xin, Li Deren, Yao Huang. A Fast Algorithm for Imaging Time Window Prediction of Optical Satellites Considering J_2 Perturbation for Imaging Mission Scheduling [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(12): 1 468-1 471(沈欣,李德仁,姚璜.一种面向成像任务规划的光学遥感卫星成像窗口快速预报方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(12): 1 468-1 471)
- [2] Sengupta P, Vadali S R, Alfriend K T. Satellite Orbit Design and Maintenance for Terrestrial Coverage [J]. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 2010, 47(1): 177-187
- [3] Hu Yasi, Meng Xin, Li Ligang. A Satellite Coverage Computing Model for Multi-sensor [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009 (4): 537-542(胡雅斯,孟新,李立钢.适用多传感器的卫星对地覆盖计算模型[J]. 遥感技术与应用, 2009 (4): 537-542)
- [4] Wu Zhaocong, Yang Fan, Wang Nan, et al. Coverage Area in Different Types of Remote Sensors: Simulation and Calculation [J]. *Journal of Applied Sciences: Electronics and Information Engineering*, 2015, 33(1): 1-8(巫兆聪,杨帆,王楠,等.不同类型遥感传感器对地覆盖区域仿真与计算[J]. 应用科学学报, 2015, 33(1): 1-8)
- [5] Chen Xi, Mao Yilan, Yu Longjiang. Area Target Surveying Strip Segmentation Method for Agile Satellite [J]. *Scientific and Technological Innovation*, 2018(7): 1-3(陈曦,毛一岚,于龙江.敏捷卫星区域目标探测条带分割方法[J]. 科学技术创新, 2018 (7): 1-3)
- [6] Lemaître M, Verfaillie G, Jouhaud F, et al. Selecting and Scheduling Observations of Agile Satellites [J]. *Aerospace Science and Technology*, 2002, 6(5): 367-381
- [7] She Y, Li S, Zhao Y. Onboard Mission Planning for Agile Satellite Using Modified Mixed-Integer Linear Programming [J]. *Aerospace Science and Technology*, 2018, 72: 204-212
- [8] Shen Xiaojiong, Wu Xiaoyang, Wang Gengke, et al. Remote Sensing Satellite Covering Method over Ground Facing to Any Geometric Area [J]. *Application Research of Computers*, 2016(7): 1 999-2 002(沈夏炯,吴晓洋,王更科,等.面向任意几何区域的遥感卫星对地覆盖法[J]. 计算机应用研究, 2016 (7): 1 999-2 002)
- [9] Song Zhiming, Dai Guangming, Wang Maocai, et al. The Fast Simulation Algorithm for Solving Area Coverage Problem of Satellite Constellation [J]. *Aerospace Control*, 2014(5): 65-70(宋志明,戴光明,王茂才,等.卫星星座区域覆盖问题的快速仿真算法[J]. 航天控制, 2014(5): 65-70)
- [10] Wang Rongfeng. Analysis Algorithm for Satellite Regional Coverage Based on Polygonal Boolean Operation [J]. *Journal of Equipment Academy*, 2016, 27(2): 83-87(汪荣峰.基于多边形布尔运算的卫星区域覆盖分析算法[J]. 装备学院学报, 2016, 27(2): 83-87)
- [11] Liu Huajun, Cai Bo, Zhu Qing. Self-adaptive Planning Method of Imaging Reconnaissance Satellites Area Coverage [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(12): 1 719-1 724(刘华俊,蔡波,朱庆.一种成像卫星区域覆盖的自适应规划方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版,

- 2017,42(12):1 719-1 724)
- [12] Zhang Dengyi, Guo Lei, Wang Qian, et al. An Improved Single-Orbit Scheduling Method for Agile Imaging Satellite Towards Area Target[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014,39(8):901-905(章登义,郭雷,王骞,等.一种面向区域目标的敏捷成像卫星单轨调度方法[J].武汉大学学报·信息科学版,2014,39(8):901-905)
- [13] Jian Ping, Zou Peng, Xiong Wei, et al. Improved Grid Method for Analysis on Coverage Performance of Staring Sensors Based LEO[J]. *Journal of Air Force Engineering University(Natural Science Edition)*, 2012,13(3):35-39(简平,邹鹏,熊伟,等.改进的低轨凝视传感器覆盖性能网格分析方法[J].空军工程大学学报(自然科学版),2012,13(3):35-39)
- [14] Cheng Chengqi, Ren Fuhu, Pu Guoliang, et al. Introduction of Geospatial Information Subdivision Organization[M]. Beijing: Science Publishing, 2012(程承旗,任伏虎,濮国梁,等.空间信息剖分组织导论[M].北京:科学出版社,2012)
- [15] Song Zhiming, Dai Guangming, Wang Maocai, et al. Fast Predicting Algorithm for Satellites Time Windows to Ground Area Target[J]. *Computer Simulation*, 2014,31(9):61-66(宋志明,戴光明,王茂才,等.卫星对区域目标的时间窗口快速计算方法[J].计算机仿真,2014,31(9):61-66)

A Multi-satellite Resource Integration Organization Model Based on Grids

ZHANG Wei¹ WANG Shoubin² CHENG Chengqi³ CHEN Bo³ ZHU Haojun²

¹ School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

² Troops 61646, Beijing 100192, China

³ College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: Satellite resources are generalizations of limited capabilities of satellite-based Earth observation systems to produce remote sensing data to satisfy observational needs. We propose a satellite resource organization model to address the inconsistency of basic units for ground coverage characterization, the time-consuming process of area target access analysis, and the bottlenecks in abilities analysis in satellite coverage. This model provides a new path for improving the efficiency of various analytical methods. Firstly, it relies on the GeoSOT(geographical coordinate global subdivision grid with one-dimension-integer on two to n th power) reference frame, and then the global space-time coverage information of the satellite is calculated and stored in advance into a grid to form a spatial-temporal coverage grid to provide support for subsequent satellite coverage performance analysis or task scheduling. The traditional real-time complex computation process will turn into a process of “update once, search repeatedly” based on the model’s large table. At the same time, the model uses a multi-scale grid system to characterize the satellite coverage area, which solves the problem brought by inconsistent basic coverage units, and also can provide technical support for simplifying the process of satellite cooperative scheduling. Finally, this paper chooses area target access analysis and regional simple coverage calculation as typical applications to verify that the performance improvement of methods based on this model can be greater than that of the traditional methods.

Key words: satellite resources organization; satellite coverage; global subdivision; multi-scale grid

First author: ZHANG Wei, PhD candidate, specializes in national defense GIS. E-mail: zhangwei2009@pku.edu.cn

Corresponding author: CHENG Chengqi, PhD, professor. E-mail: ccq@pku.edu.cn

Foundation support: Equipment Pre-research Project(30501050406, 30501050407); National Defense Science and Technology Innovation Special Zone Project of China(17-H863-01-ZT-005-015-02, 17-H863-01-ZT-005-022-01).

引文格式: ZHANG Wei, WANG Shoubin, CHENG Chengqi, et al. A Multi-satellite Resource Integration Organization Model Based on Grids[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(3):331-336. DOI:10.13203/j.whugis20180249(张玮,王守斌,程承旗,等.一种卫星资源一体化网格组织模型[J].武汉大学学报·信息科学版,2020,45(3):331-336. DOI:10.13203/j.whugis20180249)