引文格式：许明魁, 杨建朋, 陈春华, 等. 一种基于GeoSOT网格的星地数据交互方法[J]. 地理空间信息, 2023, 21(3): 36-40. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.03.008

一种基于GeoSOT网格的星地数据交互方法

许明魁[1]，杨建朋[2]，陈春华[3]，刘光辉[3]
（1. 武汉吉威空间信息技术研究院有限公司，湖北 武汉 433070；
2. 深圳市塘朗科技有限公司，广东 深圳 518038；3. 湖北省测绘工程院，湖北 武汉 430074）

摘　要：由于卫星数据具有较大的数据量，数据分发传输过程中，现有的影像数据压缩技术和数据分层分块技术存在较多数据冗余，并不适合一些窄带通信，导致数据请求分发效率低下。鉴于此，提出了一种基于GeoSOT剖分网格的星地数据交互方法，以剖分网格为参考框架，利用网格编码对空间区位进行多尺度表达，计算包含关系，离散化的卫星数据基于网格编码实现多尺度按需分发；研究了分发服务模式，以满足不同用户需要；最后通过实验验证了该方法的可行性。

关键词：剖分网格；网格编码；数据请求；数据分发
中图分类号：P228　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）03-0036-05

Interactive Method of Satellite and Earth Data Based on GeoSOT Grid

XU Mingkui[1], YANG Jianpeng[2], CHEN Chunhua[3], LIU Guanghui[3]
(1. Wuhan Jiwei Spatial Information Technology Research Institute Co., Ltd., Wuhan 433070, China;
2. Shenzhen Tanglang Technology Co., Ltd., Shenzhen 518038, China;
3. Hubei Surveying and Mapping Engineering Institute, Wuhan 430074, China)

Abstract: Because of the large amount of satellite data, the existing image data compression technology and data layered block technology have more data redundancy in the process of data distribution and transmission. It's not suitable for narrowband communication, it will cause the problem of inefficient in data request and distribution. In view of this, we put forward a interactive method of satellite and earth data based on GeoSOT global subdivision grid. Taking GeoSOT global subdivision grid as the reference frame, we used grid coding to express spatial location at multiple scales and calculate inclusion relation. We distributed the discrete satellite data on demand at multiple scales based on grid coding. Then, we studied the distribution service model, to meet the needs of different users. Finally, we verified the feasibility of this method by experiments.

Key words: subdivision grid, grid coding, data request, data distribution

近年来，随着各行各业对卫星数据需要的不断增长，现有的以“轨道条带”、“景”、“图幅”为单位进行的数据组织与分发对通信条件提出了很高的要求，尤其是对于计算资源和通信链路资源相对较低的手持终端用户来说增加了数据分发的难度[1]；而用户往往只对影像内的局部区域感兴趣[2]或只需更新一定时间间隔之后的影像变化信息，目前现有的数据分发模式效率低下[3]。鉴于此，本文提出了一种基于剖分网格的星地数据交互方法，通过GeoSOT剖分网格组织与管理卫星数据，基于网格编码请求与分发数据，通过不同的服务模式满足各类用户对卫星数据交互的需求。

1　基于GeoSOT网格编码的卫星数据请求与分发

根据不同用户的实际需要，以不同大小的剖分网格单元为信息服务单元，随时随地、并行地为不同任务不同需求的用户提供大到整个地球、小到某个具体目标实体的空间信息灵活调度与分发服务；同时，基于剖分标识编码全球统一、编码唯一的特性，用户能以剖分标识申领空间数据。

1.1　GeoSOT区位标识的多尺度表达

GeoSOT区位标识的多尺度表达特性主要体现在GeoSOT区位标识对空间信息对象区位结构的分层或分支面片标识方式以及区位面片标识编码上[4]，见图1。

1）基于分层面片标识表达的多尺度特性。在GeoSOT区位标识的分层面片标识方式下，一方面可采用不同的剖分层级对空间信息对象进行多层次多尺度区位标识与表达，反映同一空间信息对象在不同剖分层级上的分层区位结构信息；另一方面位于最低剖分层级的分层面片可逐层向上聚合，反映空间信息对

收稿日期：2021-11-10；修回日期：2021-12-21。
项目来源：精密工程与工业测量国家测绘地理信息局重点实验室开放基金资助项目（PF2017-4）。
第一作者简介：许明魁（1985—），主要研究方向为卫星遥感数据处理与应用，E-mail：358837353@qq.com。

象区位的多尺度信息。

2）基于分支面片标识表达的多尺度特性。在GeoSOT区位标识的分支面片标识方式下，一方面体现了同一空间信息对象在不同空间尺度上的多层次区位结构信息；另一方面位于最底层的最小“尺度面片”也可形成对空间信息对象的区域覆盖，逐层向上聚合。

另外，GeoSOT区位标识编码也具有层次继承关系，不仅可隐含区位标识的剖分层级，还可反映当前区位面片标识的尺度信息以及由此剖分层级向上的各尺度层信息[5]。

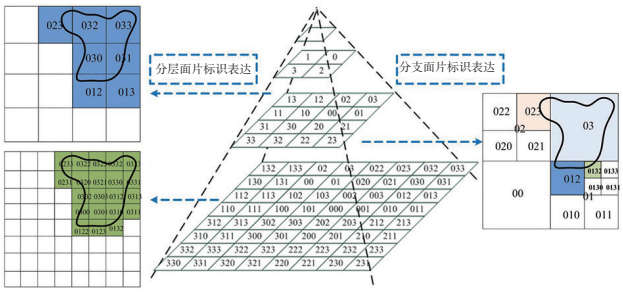


图1　GeoSOT区位标识的多尺度表达特性示意图

1.2　基于剖分编码的区域包含关系计算

在全球剖分框架下，利用面片集合表达地理对象并对其进行剖分编码，可解决对象编码不统一的问题，有利于实现空间信息区域包含关系的计算，从而进一步实现不同层次空间信息之间的关联[6]。

1.2.1　基本原理

以剖分面片为空间关系计算的基本单位，计算对象空间关系，可分析不同面片集之间的包含关系。其分析对象主要是处于同一级别的剖分面片集合，针对区域范围与尺度差异较大的不同层次空间对象，若将其统一到同一剖分层级进行分析，会产生计算量过大或分析精度损失等问题[7]。

本文以对象表达多尺度剖分编码模型为基础，选用网格划分与编码更加合理的GeoSOT剖分框架，进一步扩展剖分空间关系计算方法，可分析不同级别剖分面片集合之间的空间包含关系，并设计了具体的算法流程。以此为基础，建立跨尺度层次间的空间信息区域包含关系。

1.2.2　算法与流程

为分析不同尺度间对象剖分编码的包含关系，首先需要获取特定地理对象的最小外接矩形（MBR）。其具体方法步骤为：

1）根据对象的空间位置，判断编码的层级，并确定编码code：①计算实体最小外接矩形 R，通过该地理实体的最小/最大经纬度坐标获得，令 R 的长边为 r；②确定网格层级，若 r 小于等于 k 级网格边长 a_k 并大于 $k+1$ 级网格边长 a_{k+1}，则将 k 作为基本的剖分层级；③得到 R 所占据的经向和纬向网格数，计算 R 左下和右上顶点所在的 $k+1$ 级网格编码，再通过二进制位运算得到 R 占据的经向和纬向网格数 m 和 n，进而得到覆盖 R 的网格集合 C；④聚合为上一级网格，当经向和纬向跨度均为3个网格以上时，网格集合 C 中至少有4个 $k+1$ 级网格可聚合为 k 级网格；⑤确定网格层级码 L 和定位网格码 O，若 $k+1$ 级网格集合 C 无法聚合为 k 级网格，则 $L=k+1$，定位网格选取居中并更接近GeoSOT定位原点的 $k+1$ 级网格，将其编码作为定位网格码 O，若网格集合 C 可聚合为一个或多个 k 级网格，则 $L=k$，定位网格按首先居中、其次更接近GeoSOT定位原点的原则在 k 级网格中选取，将其编码作为定位网格码 O，定位网格编码的计算可通过 C 左下角网格编码的二进制位运算得到。

2）判断编码长短，按照“异或”操作进行判断。若 k 层网格的编码位数为 n，k 层网格的 n 位和 $k+1$ 层网格的对应 n 位一致，则 k 层包含 $k+1$ 层，如图2所示。

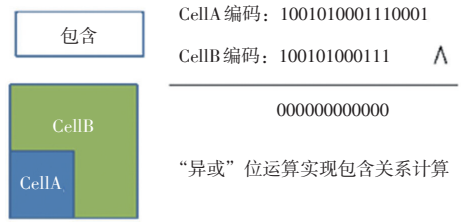


图2　异或操作流程示意图

3）精确化判断包含关系。网格层级的判断较粗糙，为了更加精细化判断，首先选取精度更高一级的层级网格进行掩码计算，然后确定对象的形状，再利用掩码进行“异或”计算或操作，判断上下层级对象的精确包含关系。

首先确定最小外接多边形的区位掩码，然后在区位编码所确定的GeoSOT网格最小外包矩阵内，在自定义的网格尺度下，由单元的具体位置形成的二维数据矩阵即为单元区位掩码（图3），占据的网格数据为1，不占据的网格数据为0。单元区位掩码生成步骤为：①在区位编码所确定的网格外包矩形（尺度为L1）中，根据自定义的网格尺度L2，生成该网格外包矩形所对应的L2尺度下的新的网格外包矩形（原来25×18的网格，可能变为50×36）；②在新的网格外包矩形中，将多边形对象坐标串中的每一个坐标都转化为L2尺度下的GeoSOT网格码，并将相应的网格值设

为1（图4）；③依照线填充算法，可找出不动产单元的边界网格，并将这些边界网格值设为1。

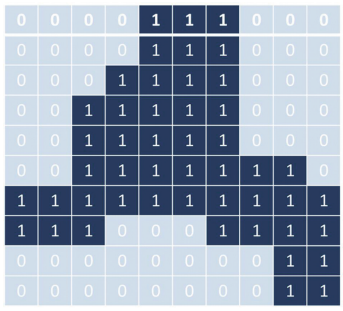


图3 单元区位掩码

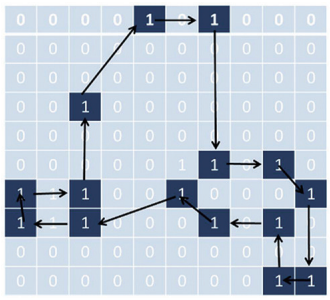


图4 多边形对象坐标串转化

4）在层级包含关系的基础上，利用区位外接矩形的掩码实现对象精确包含关系的分析判断。

1.3 基于剖分编码的多尺度卫星信息分发

地球剖分GeoSOT网格划分了32个层级，具备优良的多尺度特性[8]。在数据分发中可充分利用GeoSOT剖分网格的多尺度性，实现数据多尺度按需分发，更好地满足不同类型用户多尺度请领、多带宽分发的应用需要。

1.4 基于剖分编码的小面片卫星信息自动分发

用户可根据终端设备的导航定位模块自动获得所在区域的导航定位编码，并定位到剖分网格。以该剖分网格为条件，查询获得相关数据后，用户选择需要传输的数据，对数据进行切分，只将用户所在网格或感兴趣的区域（查询）数据进行网络传输。如果用户连续关注某区域，可将最新影像与用户历史影像进行变化检测，只对变化面片的数据进行传输。由于小面片数据量非常小，受带宽限制小，可实现数据的自动分发。小面片自动分发是在卫星数据地球剖分技术体系下进行的，后端服务数据均按GeoSOT网格进行逻辑剖分和索引[9]；在通信资源和导航定位资源的支持下，后端服务平台根据终端当前所在位置，随时主动推送用户所在位置的最新小面片数据，实现后端平台对用户终端的随时随地服务支持。

传统方法直接传输原始数据，冗余量超过50%，有时甚至多达数倍；多尺度分发方法可根据用户关心区域大小，按网格进行剖分，只传输关心网格数据，冗余量可低于20%，减少带宽浪费，若连续关注相同区域，则可只分发变化的小网格数据，冗余量更低。

2 基于GeoSOT网格编码的卫星数据服务模式

卫星数据分发与简单数据传输的差别在于，它可在应用的基础上根据不同数据需求设计不同的分发服务模式[10]。本文依据不同种类用户终端设计了3种卫星集束架构，并提出了3种分发方案，可搭配不同形式的集束架构组成不同的数据分发、接收方法，从而组建不同的分发服务模式。

1）推送模式。该模式是指服务端主动向用户端推送影像信息，无需用户端的数据请求与响应，可用于PC端向手持终端直接推送影像信息，手持终端只需接收PC传输的消息即可。该模式体现了集束接收的优点，具体流程如图5所示。

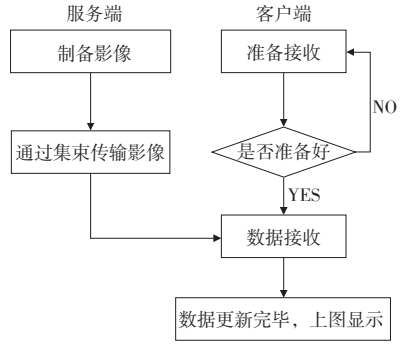


图5 推送模式流程图

2）主动请领模式。该模式在推送模式的基础上增加了数据请求过程。在主动请领模式下，客户端默认自己所在位置为感兴趣区域，通过向服务端上报自己的位置信息来确定区域位置，服务端可有的放矢地更新目标区域的卫星影像数据，并将该区域分为面片下发到客户端。该模式的优势在于可进行有目的的目标更新，符合通常意义上“空间数据随时随地服务”的思想。该模式下位置信息的上报可通过上报GeoSOT编码来完成，具体流程如图6所示。

3）上报模式。该模式即数据上报过程，是推送过程的逆过程，可实现卫星用户终端向PC端集束上传数据，PC端收集卫星终端的信息。具体流程见图7。

3 实验结果与分析

3.1 GeoSOT多尺度表达实验

本文借助全球剖分网格对空间信息进行粒度灵活的管理，先传输或只传输用户感兴趣的信息，再传输全局环境信息，以减少服务响应时间和成本，保证空

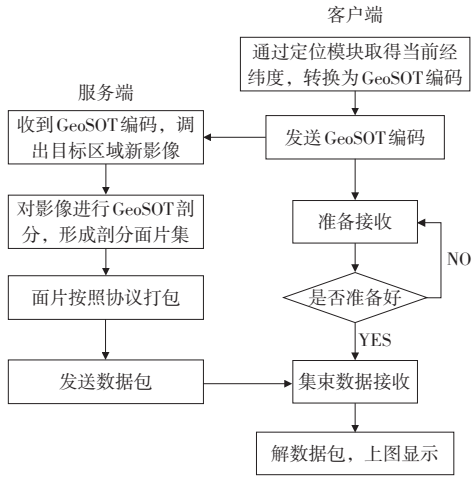


图6　主动请领模式流程图

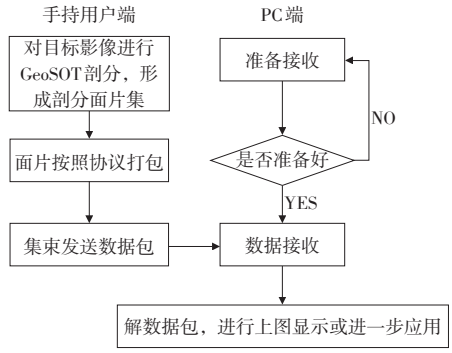


图7　上报模式流程图

间信息传输的高效性。借助机场数据进行多尺度表达，根据分级大小选择多尺度网格的层级，识别并生成编码，效果如图8所示。

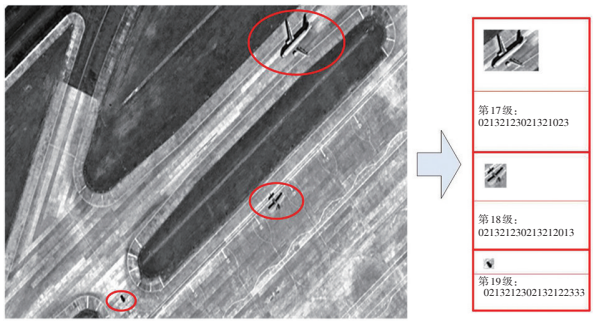


图8　飞机对象的多尺度表达

3.2　推送模式实验

本文基于剖分网格编码，展开基于剖分网格的星地数据交互方法验证实验，验证该方法中的推送模式。根据剖分网格的多尺度表达优势，可精确确定具体目标级别，打破了原有遥感数据分幅分景的传输模式（图9），大大提高了传输精度和效率。按照用户订阅模式进行数据传输，检测星端数据获取或变化情况，直接传输给用户。图10中标注颜色的部分为机场位置的网格数据分发范围，结合图9可知，按照整幅影像分发，将分发多余的数据，占用传输通道，效率较低；而按照分层网格的多尺度分发，数据量较小、内容精准、输出量小、效率较高。



图9　按照数据幅进行数据推送

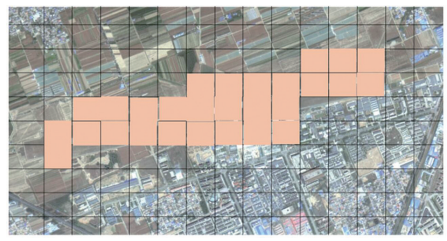


图10　按照分层网格进行数据推送

3.3　主动请领模式实验

本文基于剖分网格编码，验证基于剖分网格的星地数据交互方法在卫星信息共享交换中的可用性。影像数据来源为某机场卫星影像图，本文以数据服务器模拟星上处理系统，以WiFi网络模拟星—地链路，以手机模拟地面终端接收卫星影像，进行可行性验证。星地数据交互实验采用主动请领模式，服务器收到客户端的请领网格编码后，服务器端申请最新影像并设置客户端IP地址，再剖分目标影像形成影像剖分面片集，最后将请求数据发送到客户端。手机客户端影像接收前与接收后的对比如图11所示。



图11　手机客户端影像接收前后对比

根据用户选择的感兴趣区域或客户端位置信息，通过网格编码向服务器端发出数据请求，由于网格编码具有多尺度特性，用户根据实际需要请求所需数据，服务器端以剖分小面片自动分发请求数据。由图11可知，客户端正确接收到了所需数据，验证了基于GeoSOT剖分网格的星地数据交互方法在卫星数据共享服务中的正确性。

基于GeoSOT剖分网格的卫星数据请求分发，图像数据可根据用户关心区域的大小按网格切分，以网格编码请领图幅数据。相较于影像金字塔数据组织模型，避免了面片过大造成的数据冗余问题，也不会因数据包过少而增加磁盘寻址和读操作的次数。实验结果表明，传输数据的冗余量可低于20%，远小于传统方法的50%，降低了窄带传输压力，验证了以剖分网格划分卫星影像数据的优越性，更适用于窄带通信中的卫星数据请求与分发。

3.4 上报模式实验

上报模式需要先申请，再通过认证中心进行审核，最后确定是否发送数据给用户。具体实验过程如图12所示，可以看出，用户①和②申请的网格a和b数据均审批通过，并发送给用户；而用户③的权限不够，审核没有通过，不予分发数据。

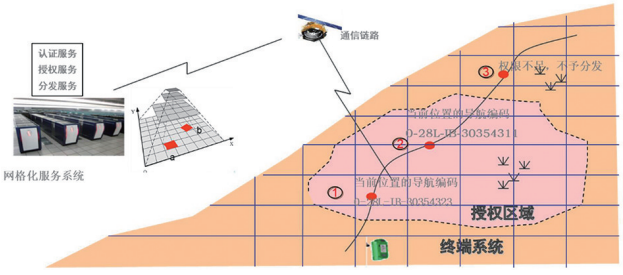


图12 上报模式审核分发过程演示

4 结 语

本文提出的基于GeoSOT剖分网格的星地数据交互方法，以剖分网格为参考框架，将卫星数据空间离散化，以网格编码为数据请求与分发纽带，实现了数据多尺度按需请求和分发，降低了数据分发冗余量，在现有通信条件下，提高了卫星数据交互式服务效率。

参考文献

[1] 郭辉,程承旗,迟占福. 基于全球剖分模型的遥感影像变化区域表达和分发[J]. 地理与地理信息科学,2009,25(6):9-12

[2] 吕雪锋,廖永丰,程承旗,等. 基于GeoSOT区位标识的多源遥感数据组织研究[J]. 北京大学学报(自然科学版),2014,50(2):331-340

[3] 杨帅,程承旗,濮国梁,等. 基于GeoSOT网格的遥感数据动态展示[J]. 地理信息世界,2014,21(3):48-53

[4] 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

[5] 杨宇博,程承旗,郝继刚,等. 基于全球剖分框架的多源空间信息区位关联与综合表达方法[J]. 计算机科学,2013,40(5):8-10

[6] 金安,程承旗. 基于全球剖分网格的空间数据编码方法[J]. 测绘科学技术学报,2013,30(3):284-287

[7] 程承旗,付晨. 地球空间参考网格及应用前景[J]. 地理信息世界,2014,21(3):1-8

[8] 万元嵬,程承旗,宋树华. 大数据量遥感影像快速显示剖分组织方法研究[J]. 地理与地理信息科学,2009,25(3):33-36

[9] 官小波. 面向遥感影像感兴趣目标表达的剖分数据模型研究[D]. 北京:北京大学,2009

[10] 王卫安,竺幼定. 高分辨率卫星遥感图像及其应用[J]. 测绘通报,2000(6):20-32

本刊声明

为适应我国信息化建设，扩大本刊及作者知识信息交流渠道，本刊数据已被《中国核心期刊（遴选）数据库》《CNKI 中国期刊全文数据库》和《中文科技期刊数据库（全文版）》等收录。在《地理空间信息》发表的论文均默认将其在著作权保护期内的复制权、发行权、汇编权、翻译权以及网络传播权授权给《地理空间信息》编辑部，编辑部可将上述权利转授给第三方使用。作者不再许可他人以任何形式使用该篇论文，但可以在其后续作品中引用（或翻译）该论文中部分内容或将其汇编在作者的非期刊类文集中。如不同意，请事先声明，本刊另作处理。其文章的著作权使用费与本刊稿酬一次性给付（已在收取发表费时折减和换算为杂志赠阅）。

（本刊编辑部）