

大文件高分辨率遥感影像的实时可视化方法

仇林遥¹ 杜志强¹ 谢金华² 邱振戈³ 许伟平¹ 张叶廷¹

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

2 国家测绘地理信息局卫星测绘应用中心,北京,100830

3 上海海洋大学海洋科学学院,上海,201306

摘 要:针对 GB 级大文件形式的高分辨率遥感影像实时可视化过程预处理时耗长等难题,提出了自适应瓦片模型的实时生成方法。基于操作连续性和跨越等级对用户操作模式进行划分,根据分辨率需求控制瓦片生成顺序,实现不同分辨率瓦片数据的动态生成、选取与调度,从而满足高分辨率遥感影像精细层级的实时可视化,克服了传统“先建库后加载”或者“建立内存金字塔”等方法难以第一时间满足用户“所见即所得”的局限。以资源三号卫星影像数据为例,验证了该方法的有效性。

关键词:大文件;高分辨率遥感影像;实时可视化;自适应;内存金字塔

中图法分类号:P237 **文献标志码:**A

高分辨率遥感影像,尤其是推扫式卫星遥感影像,单景数据量常以 GB 级大文件形式存储^[1,2]。此类数据可视化的主流方法是预先切割并生成金字塔瓦片文件,并在可视化过程中通过与视点位置相关的瓦片调度方法实现多分辨率显示^[3-6]。由于影像切割分块耗时过长和占用额外物理存储空间等缺陷,难以满足时效性要求^[7,8]。针对此问题,研究者提出了无须影像预处理的基于内存金字塔的影像实时可视化方法,在可视化过程中结合缓存和瓦片预测等机制实现瓦片模型的实时生成与绘制^[9,10]。但是,基于内存金字塔的瓦片生成方法难以满足 GB 级大文件影像实时可视化的需求,主要原因有以下几点:① 较广的幅宽范围和较高的空间分辨率导致相同视口下浏览所需要生成的瓦片总数增加;② 不同层级瓦片的生成时耗存在很大差异,视点移动过程中场景产生不同程度延迟;③ 高分辨率遥感影像的浏览方式多样,受视点轨迹和操作时间影响,单次操作产生的瓦片数量差异巨大。

为此,本文在内存金字塔方法的基础上,通过分析不同操作模式对瓦片模型的需求差异,提出自适应瓦片模型生成机制,在确保多级分辨率连续变化的前提下有效减少瓦片生成总量,节约实时处理时耗。

1 自适应瓦片实时生成方法

1.1 大文件实时可视化的难点分析

瓦片实时生成方法主要通过建立内存金字塔实现。影像实时可视化的一般流程是根据视口范围和视距实时抽稀瓦片模型^[11-14],瓦片生成公式可表示为:

$$\text{TileNode} = f(\text{Extent}, h) \quad (1)$$

式中,TileNode 为瓦片节点;Extent 为视口范围; h 为视点高度。

一般影像实时可视化生成所有进入视口范围的瓦片。小文件影像单个瓦片生成时间短,瓦片总量少,能够达到“所见即所得”的可视化效果。而大文件高分辨率遥感影像的可视化则主要存在以下难点:① 实时生成瓦片数量增大,在 I/O 和内存一定的条件下,内存金字塔构建缓慢,场景的刷新速度难与视点的移动同步;② 由于数据范围和分辨率不一致^[15,16],不同层级瓦片的生成时耗存在很大差异,导致实时可视化过程难以实现场景“均匀”变化;③ 不同的场景操作模式导致操作时间和操作间隔有很大差别。对于缩放和平移漫游方式,视点两次运动之间存在较长空闲,为下一帧瓦片的预测和生成提供充足的时间,能够保证

场景变化的连续性。对于高时效性的应用需求,用户往往操作视点直接飞向特定区域观察精细的地理景观,视点运动轨迹几乎跨越整个金字塔,短时间内待处理瓦片数量激增,既定的模型生成流程难以满足“所见即所得”的需求。

1.2 多分辨率遥感影像操作模式分类

关于多分辨率遥感影像的可视化操作模式分类主要考虑操作时间、起始层级和终止层级等三个参数:

$$T_{Node'} = f(R_{Extent}, h, \Delta t, l_{start}, l_{end}) \quad (2)$$

式中, $T_{Node'}$ 为瓦片节点; R_{Extent} 为视口范围; h 为视点高度; Δt 为操作时间; l_{start} 为视点起始位置金字塔层级; l_{end} 为视点终止位置金字塔层级。

1) 操作参数分级

自适应瓦片实时生成方法通过监测影像操作的连续性,将操作时间和浏览范围层级差作为分级标准。操作时间是指单次触发相机镜头完成特定浏览动作的时耗,同时考虑操作时间内轨迹覆盖的瓦片数量将操作连续性分为高、低两个等级。

高连续性操作指在较短时间内完成视点飞行。该模式可能在短时间内跨越较大的空间范围或较深的金字塔层级,导致单次操作过程中视点轨迹覆盖的瓦片数量较多,瓦片分辨率变化频繁。

低连续性操作指视点在较长固定时间内完成局部浏览,包括缩放、平移等操作。操作时间基本固定,且浏览范围有限,相比高连续性场景操作,该模式下视点轨迹经过的瓦片数量适中,影像分辨率变化平缓。

此外,考虑瓦片实时生成过程中不同层级时耗的差异性,结合瓦片范围与视口关系将金字塔层级定义为多个类型,包括视口层级,即该层级瓦片的空间范围与视口大小近似;时耗层级,即金字塔中抽稀平均时耗最久的瓦片层级,时耗层级一般小于视口层级。

本算法将浏览跨度分为三个等级:浅层跨越,即终止层级小于等于耗时层级;适层跨越,即终止层级大于耗时层级,但小于等于视口层级;深层跨越,即终止层级大于视口层级。

2) 瓦片需求影响因子计算

“操作连续性”与“跨越等级”决定了单次操作中瓦片的平均生成速率。影响因子的计算公式如下:

$$f = \begin{cases} \frac{V_{high}}{V_{high} + V_{low}} \times \frac{l_{end} - l_{start}}{N} \\ \frac{V_{low}}{V_{high} + V_{low}} \times \frac{l_{end} - l_{start}}{N} \end{cases} \quad (3)$$

$$V = \frac{\sum_{i=l_{start}}^{l_{end}} (\frac{R_{Extent}}{R_{extent_i}})}{\Delta t} \quad (4)$$

式中, V_{high} 为高连续性操作瓦片生成速率; V_{low} 为低连续性操作瓦片生成速率; l_{start} 为视点起始位置金字塔层级; l_{end} 为视点终止位置金字塔层级; N 为金字塔总层级数; R_{Extent} 为视口范围; R_{extent_i} 为第 i 级瓦片范围, Δt 为连续性操作时间。

通过设定两个因素不同等级的权重,量化每种操作模式对瓦片生成速率的需求。影响因子计算方法对式(3)和式(4)进行定量划分。第一, Δt 越短,单位时间内可能产生的瓦片数量越多,需要分配的权重越大。实验发现,当浏览路径一致,“平移缩放”时间一般是“快速飞行”的 2~2.5 倍,由于操作过程产生的瓦片总量基本相同,两种连续性操作模式的瓦片生成速率比 $V_{high} : V_{low}$ 约等于 7 : 3,权重分别设置为 70% 和 30%。第二,跨越深度($\Delta level$)关系瓦片生产总量。以分辨率为 1 m 的影像(金字塔层级为 20)为例,设定 l_{start} 为 0 级, l_{end} 在浏览跨度三个等级分别对应的区间约为 [5, 8]、[9, 12] 和 [13, 19],三个等级的跨度比大约为 2 : 3 : 5,三种模式的权重分别设置为 20%、30% 和 50%。对两个因素的权重集合求笛卡尔积,计算 6 种操作模式的影响因子,结果见表 1。

表 1 “连续性”和“跨越深度”的笛卡尔乘积
Tab. 1 Cartesian Product of Two Factors

连续性	跨越等级		
	浅层跨越(20%)	适层跨越(30%)	深层跨越(50%)
高连续性(70%)	0.14	0.21	0.35
低连续性(30%)	0.06	0.09	0.15

3) 操作模式分类

影响因子一定程度反映了每种操作对瓦片的需求。根据上述结果可以看出,不同操作方式对应三种复杂度。试验根据影响因子数值分布将其分为三个区间,分别为 (0, 0.15)、[0.15, 0.25) 和 [0.25, 0.35],并将操作模式归纳为三个等级。

(1) “平缓”模式 ($0 < \text{影响因子} < 0.15$)。该模式包括低连续的三种跨越操作和高连续的浅层跨越操作。前者操作间隔大,操作时间固定,瓦片生成时耗被均匀地分配在整个浏览过程中;后者虽然操作过程很短,但因为只涉及金字塔顶部的若干层级,瓦片的单位生成时耗和瓦片数量有限,浏览过程能够实现流畅可视化。该模式不需要特殊的瓦片处理方式,按照一般生成方法即可满足显示需求。

(2) “跳跃”模式 ($0.15 \leq \text{影响因子} < 0.25$)。

diateLevel);其次,由于视口层级一般处于耗时区间的边缘,生成时耗虽然小于耗时区间内瓦片,但仍大于金字塔两端的瓦片,所以仅需保留视口下的少量瓦片。根据视点轨迹和视口范围可以计算将落入可视区域的瓦片,该层级剩下节点对应的瓦片均被舍弃。被舍弃瓦片的节点通过迭代方式寻找其父节点瓦片,如果瓦片满足 MediateLevel 的要求,则将其复制挂载;否则继续迭代直到找到满足条件的瓦片为止。该模式取舍流程如图 3 所示。

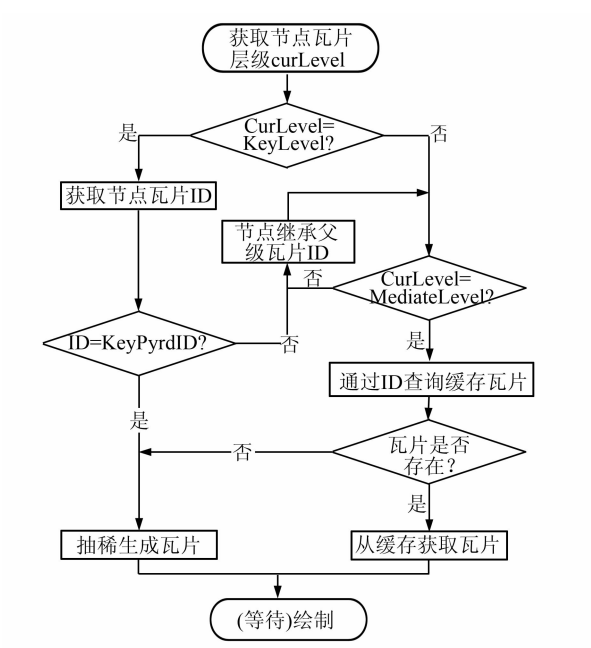


图 3 “激增”模式瓦片取舍流程图

Fig. 3 Flowchart of Tile Selecting in Surge Mode

2 实验与分析

2.1 实验数据与设备

实验设备为戴尔 Precision M6500 移动工作站,CPU 为 Intel Q840 处理器,内存为 4 GB,硬盘为一个 7200 转 750 GB 硬盘,操作系统为 Windows7 64 位操作系统。

为了验证本文方法,选取三景空间分辨为 3.73 m 的资源三号卫星多光谱遥感影像^[17]作为实验数据。表 2 为实验数据的基本描述。实验根据可视化需求分为两组,分别展示影像的实时全景可视化和实时局部精细可视化。

表 2 实验数据信息

Tab. 2 Information of Experimental Data		
像素规模	地理跨度/km	文件大小/GB
28 744 行×29 959 列	50×52	2.5
28 744 行×89 877 列	50×156	7.5

2.2 实验结果

实验一 影像全景实时可视化

当视点飞行至距影像高度为 270 km 时,可视区域覆盖影像全部范围。此过程进行高连续性的适层跨越浏览操作,操作模式为“跳跃”模式。图 4 和图 5 为实时可视化一般方法与自适应方法的瓦片生成数量与时耗对比图。

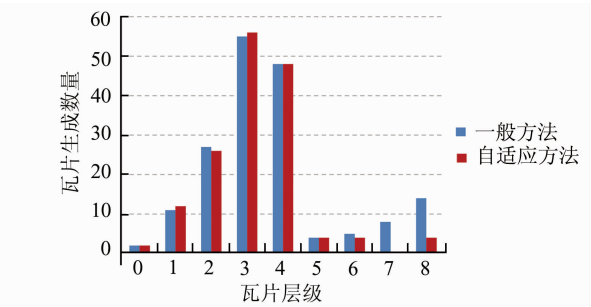


图 4 “跳跃”模式下一般方法与自适应方法的各级瓦片生成数量对比

Fig. 4 Comparison of Tile Generating Amount Between Two Methods in Jump Mode

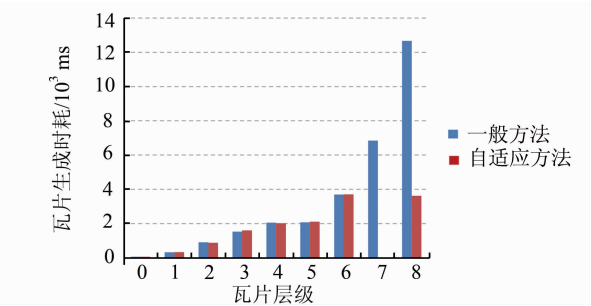


图 5 “跳跃”模式下一般方法与自适应方法的各级瓦片生成时耗对比

Fig. 5 Comparison of Time Consumption Between Two Methods in Jump Mode

由表 3 可知,“跳跃”模式操作中自适应方法相对一般方法瓦片生成总量减少 18 块,时耗缩短 53.8%,并且不会产生视口内分辨率明显跳跃的效果,操作结束后场景可以快速刷新出相应最高分辨率瓦片。自适应方法既保证了瓦片刷新的连续性,又提高了高分辨率瓦片绘制的时效性,达到实时可视化要求。

表 3 “跳跃”模式下一般方法与自适应方法的总体瓦片生成情况对比

Tab. 3 Comparison of Total Tile Generating Amount Between Two Methods in Jump Mode		
瓦片生成方法	瓦片数量	瓦片生成时耗/ms
一般方法	174	30 174
自适应方法	156	13 926

实验二 精细影像实时可视化

视点飞行至地表过程进行高连续性的深层跨越浏览操作时,操作模式为“激增”模式。图 6 和图 7 为一般方法与自适应方法的瓦片生成数量与时耗对比图。

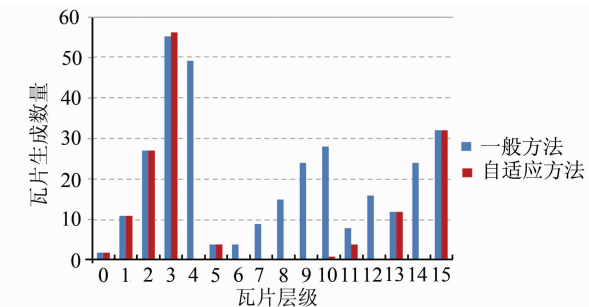


图 6 “激增”模式下一般方法与自适应方法的各级瓦片生成数量对比

Fig. 6 Comparison of Tile Generating Amount Between Two Methods in Surge Mode

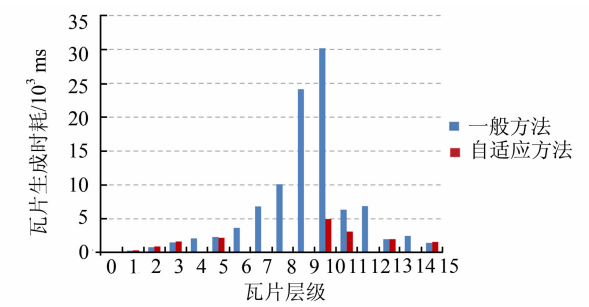


图 7 “激增”模式下一般方法与自适应方法的各级瓦片生成时耗对比

Fig. 7 Comparison of Time Consumption Between Two Methods in Surge Mode

实验结果显示,该操作下瓦片自适应生成方法放弃生成时耗层级(8级)附近及视口层级(10级)大部分的瓦片数据,相应减少瓦片生成时耗,具体见表4。“激增”模式操作中自适应方法相对一般方法瓦片生成总量减少171块,时耗缩短83.3%。经实验,视点飞越金字塔第6~9层的平均时间小于1s,故视距缩小过程中不会出现影像分辨率延迟刷新。视点从第10级飞至最精细瓦片层级过程中,层级间距与飞行速度成反比,导致跨越该区间层级瓦片的平均时间很短,能够保证视点接近地面时分辨率的实时刷新。即同时满

表 4 “激增”模式下一般方法与自适应方法的总体瓦片生成情况对比

Tab. 4 Comparison of Total Tile Generating Amount Between Two Methods in Surge Mode

瓦片生成方法	瓦片数量	瓦片生成时耗/ms
一般方法	320	101 179
本文方法	149	16 872

足了场景浏览对影像分辨率刷新连续性和实时性的需求。

3 结 语

本文针对 GB 级大文件形式的高分辨率遥感影像实时可视化难题,提出了一种自适应瓦片实时生成方法。采用资源三号多光谱影像数据进行方法验证,实验结果表明,本文方法根据用户操作过程中对瓦片可见性的不同需求,引入操作时间和跨越层级的概念,将场景浏览过程中瓦片的生成模式按需分为三个等级,分别采用不同的方式对瓦片的取舍和金字塔的构建进行处理,有效解决了传统方法中因瓦片生成速度滞后、视点移动同步而引起无法满足用户“所见即所得”的实时可视化需求。特别是大数据精细影像可视化时,可以明显减少瓦片生成队列的增长,大大降低需求瓦片生成与绘制的等待时间。

参 考 文 献

[1] Li Deren, Tong Qingxi, Li Rongxing, et al. Current Issues in High-resolution Earth Observation Technology[J]. *Sci China Earth Sci*, 2012, 42(6): 805-813(李德仁, 童庆禧, 李荣兴, 等. 高分辨率对地观测的若干前沿科学问题[J]. 中国科学, 2012, 42(6): 805-813)

[2] Zhou Chenghu, Luo Jiancheng. High-resolution Satellite Remote Sensing Image Calculation[M]. Beijing: Science Press, 2009(周成虎, 骆剑承. 高分辨率卫星遥感影像地学计算[M]. 北京: 科学出版社, 2009)

[3] Li Deren, Zhu Xinyan, Gong Jianya. From Digital Map to Spatial Information Multi-grid—A Thought of Spatial Information Multi-grid Theory[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28(6): 642-650(李德仁, 朱欣焰, 龚健雅. 从数字地图到空间信息网格——空间信息多级网格理论思考[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(6): 642-650)

[4] Dai Chenguang, Deng Xueqing, Zhang Yongsheng. An Algorithm for Real-time Visualization of Massive Terrain Dataset[J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2004, 16(11): 1 603-1 607(戴晨光, 邓雪清, 张永生. 海量地形数据实时可视化算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(11): 1 603-1 607)

[5] Zhang Yongsheng, Ben Jin, Tong Xiaochong. Global Discrete Grid for Geospatial Information-theory, Algorithms and Application[M]. Beijing: Science

- Press,2007(张永生,贲进,童晓冲. 地球空间信息
球面离散网格——理论、算法及应用[M]. 北京:
科学出版社,2007)
- [6] Xiang Longgang, Chen Jing, Gong Jianya, et al.
Fast Construction of Global Pyramids for very Large
Satellite Images[J]. *Transactions in GIS*, 2013, 17
(2): 282-297
- [7] Liu Yi, Chen Luo, Jing Ning, et al. Parallel Batch-
Building Remote Sensing Images Tile Pyramid with
Map Reduce[J]. *Geomatics and Information Sci-
ence of Wuhan University*, 2013, 38(3): 278-282
(刘义,陈苹,景宁,等. 利用 MapReduce 进行批量
遥感影像瓦片金字塔构建[J]. 武汉大学学报·信
息科学版,2013,38(3): 278-282)
- [8] Zhang Hongwei, Tong Hengjian, Zuo Boxin, et al.
Quick Browsing of Massive Remote Sensing Image
Based on GDAL[J]. *Computer Engineering and
Applications*, 2012, 48(13): 159-162(张宏伟,童恒
建,左博新,等. 基于 GDAL 大于 2G 遥感图像的快
速浏览[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(13):
159-162)
- [9] Wei X Y, Lu X, Sun H. Fast View of Mass Remote
Sensing Images Based-on Image Pyramid[C]. ICI-
NIS'08, Wuhan, 2008
- [10] Liu Xiaosheng, Wu Zheng, Wang Yongsheng. A
New Method of Massive Remote Sensing Image in
Real-time Cutting and Efficient Scheduling [J].
Journal of Geomatics Science and Technology,
2013, 30(1): 51-53(刘小生,吴征,王永生. 一种海
量遥感影像实时切割与高效调度新方法[J]. 测绘
科学技术学报, 2013, 30(1): 51-53)
- [11] Samet H. The Quadtree and Related Hierarchical
Data Structures[J]. *ACM Comput. Surv*, 1984, 16
(2): 187-260
- [12] Fekete G, Treinish L A. Sphere Quadtrees: A New
Data Structure to Support the Visualization of
Spherically Distributed Data[C]. The International
Society for Optical Engineering, Santa Clara , 1990
- [13] Du Qingyun, Yu Changbin, Ren Fu. Organization Tile
Map Data Based on Nested Pyramids Model[J]. *Geo-
matics and Information Science of Wuhan University*,
2011, 36(5): 564-567(杜清运,虞昌彬,任福. 利用嵌
套金字塔模型进行瓦片地图数据组织[J]. 武汉大学
学报·信息科学版, 2011, 36(5): 564-567)
- [14] Liu Yang, Gong Adu, Li Jing. A Model for Massive
3D Terrain Simplification Based on Data Block Par-
tition and Quad-tree[J]. *Acta Geodaetica et Carto-
graphica Sinica*, 2010, 39(4): 410-415(刘扬,宫阿
都,李京. 基于数据分层分块的海量三维地形四叉
树简化模型[J]. 测绘学报, 2010, 39(4): 410-415)
- [15] Ai Tinghua, Cheng Jianguo. Key Issues of Multi-
Scale Representation of Spatial Data[J]. *Geomatics
and Information Science of Wuhan University*,
2005, 30(5): 377-382(艾廷华,成建国. 对空间数据
多尺度表达有关问题的思考[J]. 武汉大学学报·
信息科学版, 2005, 30(5): 377-382)
- [16] Li Lin, Ying Shen. Fundamental Problem on Spatial
Scale[J]. *Geomatics and Information Science of
Wuhan University*, 2005, 30(3): 199-203(李霖,应
申. 空间尺度基础性问题研究[J]. 武汉大学学报
·信息科学版, 2005, 30(3): 199-203)
- [17] Li Deren. China's First Civilian Three-line-array Stereo
Mapping Satellite; ZY-3[J]. *Acta Geodaetica et Carto-
graphica Sinica*, 2012, 41(3): 317-322(李德仁. 我国
第一颗民用三线阵立体测图卫星——资源三号测绘
卫星[J]. 测绘学报, 2012, 41(3): 317-322)

A Real-time Visualization Method of High Resolution Remote Sensing Image Bigfiles

QIU Linyao¹ DU Zhiqiang¹ XIE Jinhua² QIU Zheng³ XU Weiping¹ ZHANG Yeting¹

- 1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,
Wuhan University, Wuhan 430079, China
- 2 Satellite Surveying and Mapping Application Center, NASG, Beijing 100830, China
- 3 College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Aiming to solve the problem of the long preprocessing time when visualizing real-time high resolution remote sensing images with bigfile formats (GB level), a real-time generation method using self-adaptive pyramid tiles is proposed in this paper. Relying on operation continuity and span level,
(下转第 1033 页)

Using Fixed Rank Filtering to Make Spatio-Temporal Interpolation of MODIS Temperature

DUAN Yue^{1,2} SHU Hong^{1,2} HU Hongda¹

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China
2 Suzhou Institute of Wuhan University, Suzhou 215123, China

Abstract: Kriging is widely-used for spatial structure exploration and spatial data interpolation. However, most kriging methods are designed for spatial interpolation and not for spatio-temporal data interpolation. After constructing basic functions for a specific experimental area, we made spatio-temporal predictions for MODIS temperature data with Fixed Rank Filtering (FRF). We compared these prediction results with the interpolation results of Fixed Rank Kriging (FRK) and discuss the differences. Experimental results show that when points are evenly distributed in space, the FRK method obtains higher prediction accuracy with results slightly better than FRF. However considering the temporal relevancy of temperature, when data is missing in a larger area, the FRF method shows a capability to comprehensively exploit spatio-temporal information better than other methods for achieving higher quality interpolation results in cases that lack spatial information.

Key words: fixed rank filtering; spatio-temporal; fixed rank kriging; MODIS temperature product; spatio-Temporal Random effects

First author: DUAN Yue, master, specializes in spatio-temporal statistical analysis. E-mail: yue_duan@126.com
Corresponding author: SHU Hong, PhD, professor. E-mail: shu_hong@whu.edu.cn
Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41171313; Hubei Provincial Natural Science Foundation of China, No. 2014CFB725; Suzhou Science and Technology Program of Applied Basic Research, No. SYG201319.

(上接第 1026 页)

user operations are divided into different modes. On basis of the demands for various resolutions, tiles with different LODs, are generated, in an adaptive way and are dynamically selected and scheduled in order, so tiles of images at higher resolution are rendered in a timely way. This method satisfies the need for ‘What You See Is What You Get’ browsing of a scene in real time, regarded as a challenge in traditional methods, including advanced generation of a pyramid in disk or memory caches. Experiments with ZY-3 satellite images show the validity of this method.

Key words: bigfiles; high resolution remote sensing images; real-time visualization; self-adaption; memory pyramids

First author: QIU Linyao, PhD candidate, specializes in the 3D GIS and disaster information service. E-mail: qiu_linyao@163.com
Corresponding author: DU Zhiqiang, PhD, associate professor. E-mail: duzhiqiang@whu.edu.cn
Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41571390; National High Resolution Earth Observation System (the Civil Part) Technology Projects of China, No. 03-Y30B06-9001-13/15.