

引用格式: Li Shengyang, Yu Haijun, Han Jie, *et al.* Design and Implementation of Efficient Visualization Management System for Massive Remote Sensing Images based on Three-dimensional Globe[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2016, 31(1): 170-176. [李盛阳, 于海军, 韩洁, 等. 基于三维地球的海量遥感影像高效可视化管理系统的设计与实现[J]. 遥感技术与应用, 2016, 31(1): 170-176.]
doi: 10. 11873/j. issn. 1004-0323. 2016. 1. 0170

基于三维地球的海量遥感影像高效 可视化管理系统的设计与实现

李盛阳^{1,2}, 于海军^{1,2}, 韩洁^{1,2,3}, 黑保琴^{1,2}

(1. 中国科学院空间应用工程与技术中心, 北京 100094;

2. 中国科学院太空应用重点实验室, 北京 100094; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 针对数量日益增长的多源、异构遥感影像组织与管理问题, 在分析遥感影像特点的基础上, 设计并实现了海量遥感影像高效可视化管理系统。研究了系统的组织架构, 借助三维地球技术, 提升系统的可操作性与视觉体验; 采用元数据库技术, 实现海量、多分辨率遥感影像的统一、快速查询、检索与定位; 通过遥感影像缩略图、金字塔模型和线程池机制, 提高遥感影像读取及可视化显示的效率。最后, 完成了基于三维地球的遥感影像可视化管理系统的功能集成, 实现遥感影像的多种管理模式和多层次需求。在此基础上, 在实际工程应用中为海量遥感影像的分发服务提供有力的技术保障。

关键词: 遥感影像; 三维地球; 元数据库; 金字塔模型

中图分类号: P 208 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2016)01-0170-07

1 引言

随着对地观测技术的快速发展和各类飞行平台的长期在轨运行, 在轨获取的遥感影像逐步呈现出多源、多尺度、高分辨率和全球多重覆盖等一系列特征, 数据量呈爆炸式增长, 这使得如何有序、高效地实现海量的高分辨率遥感影像的存储与管理, 实现遥感影像的快速分发与服务, 成为空间信息科学领域重要研究内容之一^[1-3]。

运用现代信息技术辅助海量遥感影像的组织与管理从研究走向应用, 国内外取得了大量成效显著的研究成果, 并开发出一大批遥感影像组织管理系统, 比较著名的有: NASA 的地球观测系统数据和信息系统 (Earth Observing System Data and Information System, EOSDIS)^[4-5]、Google 公司的虚拟地球 Google

Earth^[6]、ESRI 公司的 ArcGlobe^[7]、ESA 的欧洲地球科学地面协作网——数据仓库 (Ground European Network for Earth Science Interoperations-Digital Repositories, GENESI-DR)^[8]、中国国家测绘局主导建设的国家地理信息公共服务平台“天地图”^[9]、中国卫星气象中心的气象卫星数据存档和服务系统 (SDAC)^[10]、武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室的开放式虚拟地球集成共享平台 GeoGlobe^[11]等。吕雪峰等^[12]对当前国内外海量遥感影像存储管理技术进行了综述, 从遥感影像的存储组织方式与管理手段方面, 比较与分析了各遥感影像组织与管理技术的现状与特点。

对比分析已有的此类系统, 传统的基于二维图形界面的遥感影像管理手段没有充分利用遥感影像

收稿日期: 2014-11-26; 修订日期: 2015-05-21

基金项目: 中国科学院空间应用工程与技术中心前瞻性课题 (CSU-QZKT-201409)。

作者简介: 李盛阳 (1976—), 男, 山东泰安人, 研究员, 主要从事航天地面处理系统技术、空间科学大数据技术、数据挖掘与知识发现、遥感图像处理技术方面的研究。E-mail: sunshine1207@163.com。

通讯作者: 于海军 (1987—), 男, 山东青岛人, 助理工程师, 主要从事虚拟现实技术、数字地球技术、航天地面数据服务技术方面的研究。E-mail: hjyu@csu.ac.cn。

的空间信息,在实际应用中存在管理手段单一、可操作性弱、表现力不足等一定的局限性。随着三维可视化技术的发展,尤其是对数字地球技术研究的深入^[13],为海量遥感影像的高效组织管理提供了一种直观、易用的方法,Google Earth、World Wind 等已走在了探索与实践的前列,并已取得良好的效果^[14]。面向载人航空间应用任务遥感影像组织与管理的需求,本文研制了基于三维地球的海量遥感影像高效可视化管理系统。首先,设计了系统总体架构组织;其次,研究了基于 XML 文件与数据库相结合的元数据存储方法;为更好地进行海量遥感影像的可视化显示与管理,研究了基于影像缩略图与线程池的瓦片加载技术;最后,通过系统集成与应用,在工程任务中积极服务于海量遥感影像的组织与管理,为遥感影像的快速分发与共享提供了有力的技术支持。

2 系统架构组织

系统基于 MVC(Model-View-Controller,模型—视图—控制器)三层架构模式设计,集成了 GIS 技术、三维可视化技术、数据库技术和遥感影像无缝镶嵌技术,具有三维地球空间的、海量、多源、多空间尺度遥感影像的高效组织与快速实时可视化查询、检索、浏览定位及下载等众多功能,实现了全球范围内高分辨率遥感影像的高效组织与管理^[15]。系统总体架构由数据层、服务层和应用层组成,如图 1 所示。

2.1 数据层

数据层是整个系统正常运行的基础,提供原始的多源、多尺度、高分辨率遥感影像和影像属性信息文件。基于编目存档后的遥感影像文件系统和其属性信息文件,通过系统的数据库管理机制与影像缩略图金字塔生成机制,生成元数据库和影像缩略图

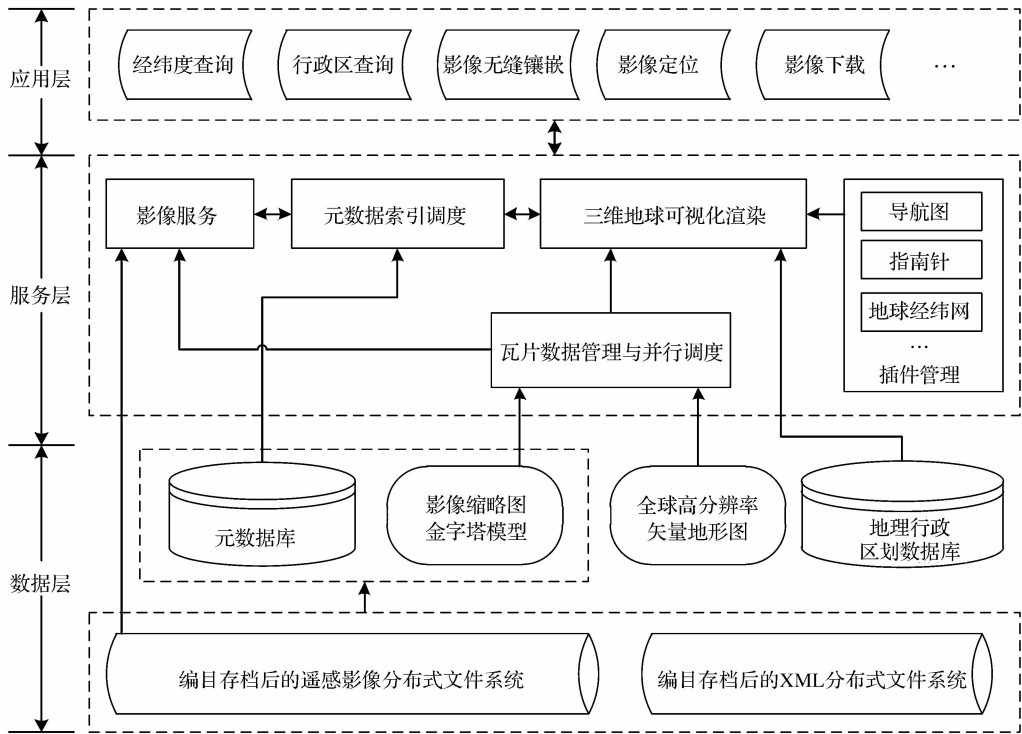


图 1 系统总体架构组织
Fig. 1 System architecture

金字塔模型。数据层负责系统运行所需的基础地理数据信息、元数据库、金字塔模型的管理与维护工作。

2.2 服务层

服务层是整个架构组织的核心层。针对影像提取、加载、无缝镶嵌等服务要求,由影像服务功能利用多线程池处理机制,快速响应大量的影像服务请求;基于元数据库,元数据索引与调度功能采用分

页、分段、表变量等方式,响应对各类遥感影像的查询检索等操作;三维地球可视化渲染为系统应用层功能提供了一个直观的、高效的显示载体,动态加载影像缩略图,并可视化在球体的相应地理位置;为了增强系统功能的可扩展性,服务层提供了插件管理功能,管理三维地球窗口中的多种实用工具的加载与渲染。

2.3 应用层

应用层是整个系统的人机交互接口。基于统一的应用服务接口,提供高效的遥感影像可视化管理服务。

3 系统关键技术研究

3.1 高效的元数据库设计

面对如此多源、分散的遥感影像,如何将其有机

地整合起来,有效实现不同分辨率的遥感影像的统一索引与调度,提高遥感影像的查询检索效率,是目前针对海量遥感影像管理领域的研究重点之一^[16-18]。

研究利用 XML 文件与数据库相结合的方式,构建元数据库实现整个系统的遥感影像元数据的高效管理^[19-20]。在元数据库的支持下,无论影像文件位于哪个存储节点上,都可以统一定位查找数据。整个元数据库创建与维护机制如图 2 所示。

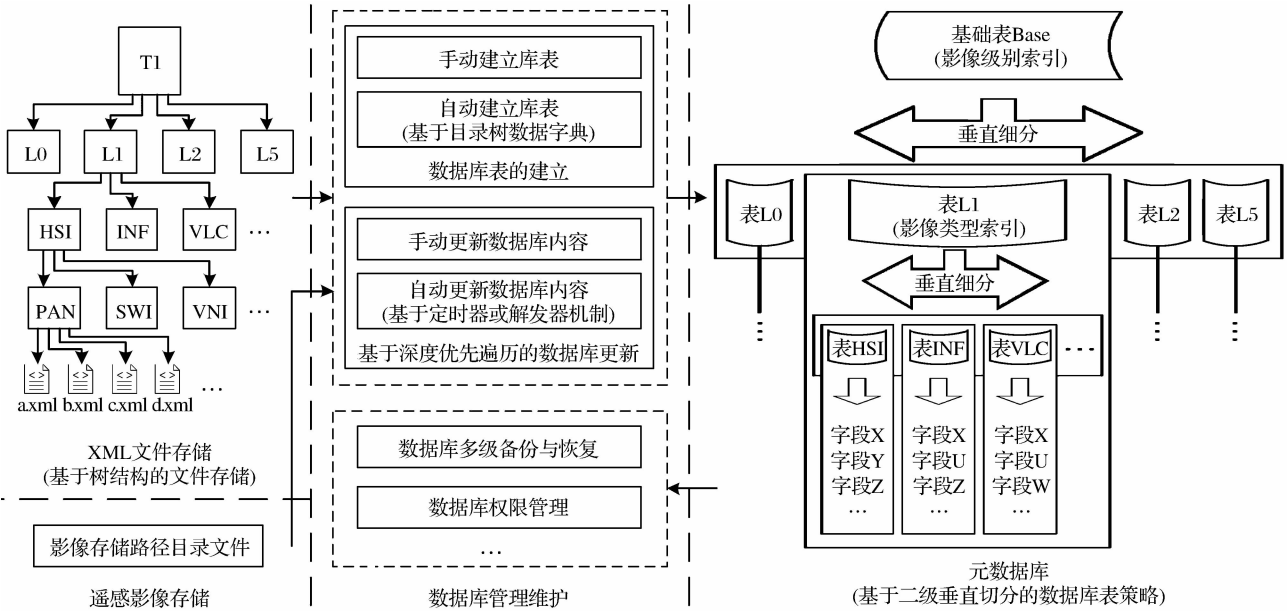


图 2 元数据库创建与维护机制组织结构

Fig. 2 Create and maintain metabase mechanism

3.1.1 基于二级垂直切分的数据库表设计

要提供高效、人性化的查询检索服务,建立一个规模适度且相对集中的数据库系统,就要研究解决多个类型不同的 XML 文件融合问题,以及数据库查询检索效率问题。

海量异源遥感影像类型繁多、数量大,XML 文件格式各有差异,如果为每一细分类型影像建立一张数据库表势必会造成臃肿,不利于数据库的管理,也会影响影像查询检索的效率。通过利用二级垂直切分的数据库表方法,借助建立的数据库表之间的索引,以及数据库表本身的主键索引,再结合数据库支持的分页查询功能,实现快速、统一的数据查询检索,降低数据库的压力。图中的数据库基础表 Base 常驻缓存,最大限度地提升数据库应用的效率。

通过设计二级垂直切分的数据库表,将多个异构的遥感影像 XML 文件信息存储在统一的、兼容的、准确的数据库表中,如图 2 所示,将 XML 文件存储节点 HSI 下的 PAN、SWI、VNI 及其他异构数据源文件信

息统一存储在名为 HSI 的表中。在存储操作中,数据库管理维护功能从 XML 文件中提取遥感影像关键的、使用频率高的属性信息,经过统一数据描述后写入到元数据库,并保证数据库描述的质量。

3.1.2 目录树数据字典。

存储节点中的遥感影像以多个独立子树的形式存在,为了提高性能,数据库管理维护功能事先收集存储节点的全局树目录信息^[21],生成目录树数据字典,在后续的元数据库管理维护过程中便可直接得到遥感影像和 XML 文件所在的存储节点,极大地提高了文件的访问速率。同时,数据库管理维护功能通过定期扫描集群节点的全局树目录信息,完成数据字典的自动发现、更新和维护。

3.1.3 定时器与触发器机制。

为了实现元数据库的自动更新,系统设计了定时器与触发器机制,在某一特定时间点或某一特定情形下,进行一体化数据库的更新维护。在实际工程应用中,定于每周六 24:00 或当存储节点中有新的影像存

储操作时,启动数据库管理维护功能,进行元数据库的更新维护工作。数据库的更新维护借助于目录树数据字典进行,采用深度优先遍历算法读取 XML 文件存储节点中的增量文件,并写入到元数据库中。

3.2 遥感影像高效可视化显示

利用一系列遥感影像的无缝镶嵌和可视化视图,结合遥感影像本身所具有的空间特性,将遥感影像的管理与空间尺度和位置以及影像可视化直接关联,从

而有利于形成基于三维地球的地球空间位置标识和空间对象标识,更好地、直观地管理海量遥感影像。

由于遥感影像的一系列特征,为减少影像加载时占用的系统资源开销,提高影像读取及实时可视化的速度,研究设计了遥感影像高效可视化显示方案,利用影像缩略图及其金字塔模型、线程池和数据裁剪等多重机制提升效率。实现的遥感影像高效可视化显示机制如图 3 所示。

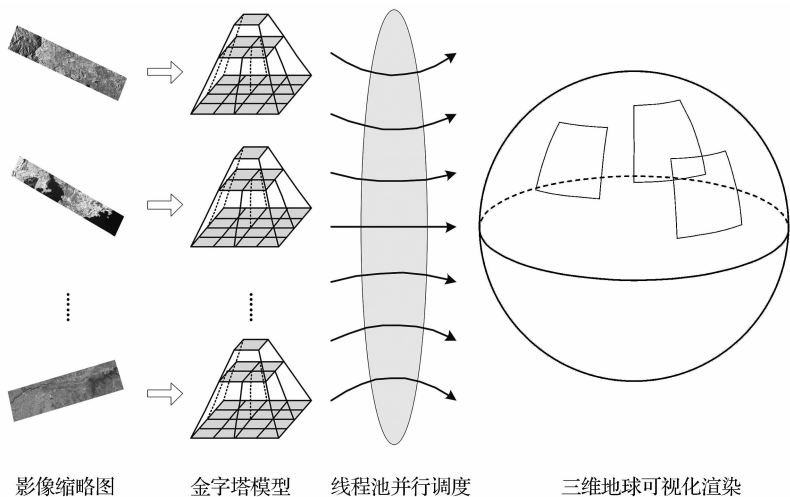


图 3 遥感影像高效可视化显示机制

Fig. 3 Remote sensing images efficient visualization mechanism

3.2.1 影像缩略图与瓦片金字塔

为减少影像加载时所读取的数据量,影像入库后提取缩略图,利用 GDAL(Geospatial Data Abstraction Library)实现缩略图的制作,采用分块读写图像的策略,避免了影像较大而导致操作内存不足的问题。

利用多分辨率金字塔“分块”思想,将每层影像数据网格细分为大小相等的矩形“瓦片”,构成“瓦片金字塔”,每次读写操作都针对一个瓦片进行,减少了数据读取量。并为瓦片金字塔建立相应的空间索引机制,提高系统的输入输出效率,从而提升系统的整体性能^[22]。

3.2.2 线程池并行调度

在遥感影像可视化显示过程中,大数据量的并发请求是难以避免的,而线程池可以很好地解决多任务处理并发性等问题^[23]。研究设计的线程池并行调度机制在接收到影像瓦片数据请求时,按需分配线程,为每个瓦片的加载启动一个线程池中的空闲线程,完成所请求瓦片的加载工作。线程池并行调度机制根据对影像瓦片的请求数量,启动多个并发线程,实现同步、并行影像数据加载,显著提高了大量影像数据请求和高负载的瓦片加载处理的效率。

3.2.3 视锥裁剪

三维地球本身具有旋转、缩放等操作,这就会使得部分已可视化的遥感影像移出视场的范围,此时如果继续对这部分遥感影像进行可视化渲染,势必会造成系统资源的浪费,影响系统的运行效率。研究预先定义一个适当的视锥裁剪范围,即由视场角定义的上下左右 4 个面和由投影矩阵定义的远近剪切平面,在系统运行中,实时判断当前渲染中的遥感影像是否与视锥相交或被视锥所包含,由此得出遥感影像是否需要继续进行可视化渲染。实际结果表明,采用视锥裁剪技术能够很好地提升系统的可视化显示速度。

4 系统实现与应用

4.1 系统实现

在突破上述方法与关键技术的基础上,基于 GIS 技术、三维可视化技术、数据库技术和遥感影像无缝镶嵌技术等,设计并实现了基于三维地球的海量遥感影像高效可视化管理系统。开发语言使用 C#,图形 API 采用 OpenGL,三维地球基于 Arc-Global 二次开发,数据库则选用 SQL Server 2000。系统主界面如图 4 所示。

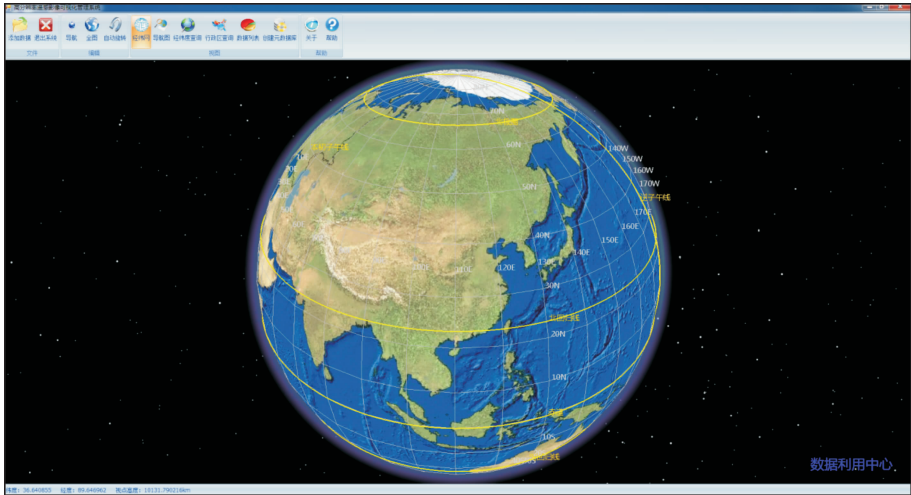


图 4 系统主界面

Fig. 4 System main window

系统具有以下鲜明特点:①通过影像元数据统一索引,采用 XML 及其相关技术表达和操作元数据,能够适应不同来源元数据内容的变化,能方便地实现元数据验证、解析和分析等处理,也提高了空间检索效率;②通过影像缩略图制作与多分辨率瓦片金字塔,能够避免对大数据量的原始影像进行直接访问,借助金字塔技术,既能满足从远至近从模糊到清晰的视觉效果,又能极大地提高影像的可视化渲染效率;③利用线程池并行调度机制,充分发挥了硬件系统的性能,进一步提升系统的运行效率;④通过基于元信息/行政区划的影像检索,实现了按时间、经纬度等条件的影像查询检索功能;⑤基于三维地球的影像可视化功能支持鼠标、键盘等多种三维场景操作模式,支持矢量、影像、地形、地名等多种数据类型的实时可视化,为遥感影像的浏览、查找与定位

等管理提供了高效、直观的载体。

4.2 工程应用

基于三维地球的海量遥感影像高效可视化管理系统已成功应用于载人航天空间应用任务对地观测数据的管理中,系统集成整合了约 26 TB 的多源异构遥感影像,形成了影像入库、查询检索、下载等管理功能,以满足数据服务应用的需求。系统工程应用如图 5、6 所示。

5 结 语

本文分析了基于二维地图与三维地球的遥感影像组织与管理系统的现状,设计了基于三维地球的海量遥感影像可视化管理系统的总体架构,解决了元数据库创建与维护、遥感影像高效可视化显示等关键技术,并完成了整个系统集成。该系统的

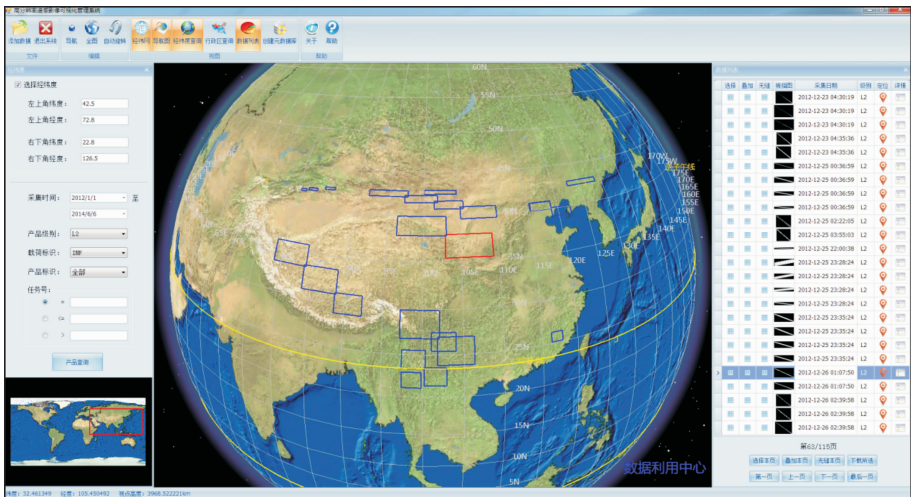


图 5 经纬度查询及影像地理位置表示

Fig. 5 Latitude and longitude query and location show

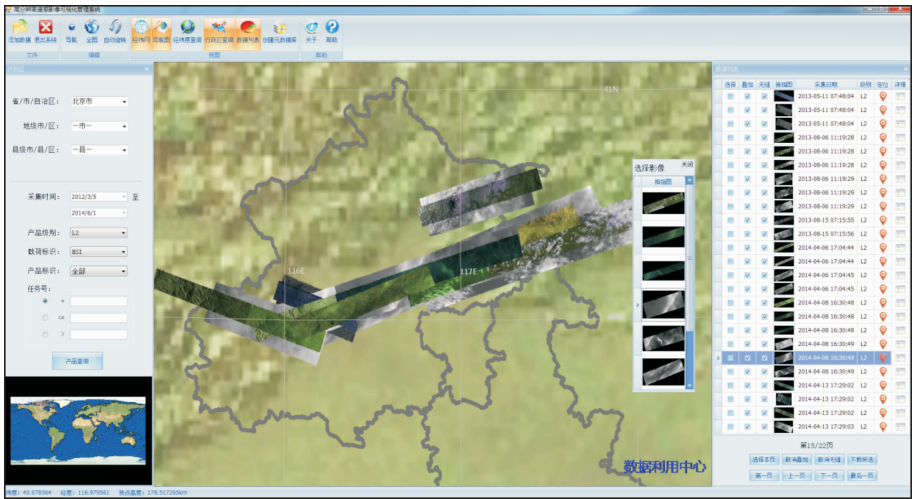


图 6 行政区查询及影像可视化显示

Fig. 6 Administration region query and images visualization

工程应用表明,系统能够很好地满足海量、多源、多空间尺度遥感影像的组织与管理要求。

参考文献 (References):

[1] Li Deren. Development Prospect of Photogrammetry and Remote Sensing[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(12): 1211-1215. [李德仁. 摄影测量与遥感学的发展展望[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2008, 33(12): 1211-1215.]

[2] Cheng Chengqi, Lü Xuefeng, Guan Li. Study on System Architecture of Subdivision Storage Cluster for Global Spatial Data[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2010, 47(1): 103-108. [程承旗, 吕雪峰, 关丽. 空间数据剖分集群存储系统架构初探[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2010, 47(1): 103-108.]

[3] Wang Jiayao. Development Trends of Cartography and Geographic Information Engineering[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2010, 39(2): 115-118. [王家耀. 地图制图学与地理信息工程学科发展趋势[J]. 测绘学报, 2010, 39(2): 115-118.]

[4] Esfandiari M, Ramapriyan H, Behnke J, et al. Earth Observing system (EOS) Data and Information System (EOSDIS)-Evolution Update and Future[C]//Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS2007). Barcelona, 2007: 40005-40008.

[5] Ramapriyan H K, Pfister R, Weinstein B. An Overview of The EOS Data Distribution Systems[J]. Remote Sensing and Digital Image Processing, 2011, 11(3): 183-202.

[6] Martino S D, Bimonte S, Bertolotto M, et al. Spatial Online Analytical Processing of Geographic Data through the Google Earth Interface[J]. Geocomputation, Sustainability and Environmental Planning, 2011, 348: 163-182.

[7] ESRI. ArcGIS 9 的新成员: ArcGlobe[M]. ArcGIS World, 2004.

[8] Beruti V, Forcada M E, Albani M, et al. ESA Plans-a Pathfinder for Long Term Data Preservation[C]//Proceedings of the 7th International Conference on Preservation of Digital Objects (IPRES2010), Vienna, Austria, 2010: 1-6.

[9] National Administration of Surveying. Technical Guidelines for National Geographic Information Public Service Platform [S]. Beijing: National Administration of Surveying, 2009. [国家测绘局. 国家地理信息公共服务平台技术指南[S]. 北京: 国家测绘局, 2009.]

[10] Jia Shuze, Yang Jun, Shi Jinming, et al. Study and Application of Parallel-Scheduling Algorithm in New-generation Meteorological Satellite Data-processing System [J]. Meteorological Science and Technology, 2010, 38(1): 96-101. [贾树泽, 杨军, 施进明, 等. 新一代气象卫星资料处理系统并行调度算法研究与应用[J]. 气象科技, 2010, 38(1): 96-101.]

[11] Gong Jianya, Chen Jing, Xiang Longgang, et al. GeoGlobe: Geo-spatial Information Sharing Platform as Open Virtual Earth[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2010, 39(6): 551-553. [龚健雅, 陈静, 向隆刚, 等. 开放式虚拟地球集成共享平台 GeoGlobe[J]. 测绘学报, 2010, 39(6): 551-553.]

[12] Lü Xuefeng, Cheng Chengqi, Gong Jianya, et al. Summary of Mass Remote Sensing Image Storage and Management Technology[J]. Scientia Sinica (Technologica), 2011, 41(12): 1561-1573. [吕雪峰, 程承旗, 龚健雅, 等. 海量遥感数据存储管理技术综述[J]. 中国科学: 技术科学, 2011, 41(12): 1561-1573.]

[13] Guo Huadong. Digital Earth: Ten Years' Development and Prospect[J]. Advance in Earth Sciences, 2009, 24(9): 955-962. [郭华东. 数字地球: 10 年发展与前瞻[J]. 地球科学进展, 2009, 24(9): 955-962.]

[14] Zhou Ling, Gao Tingming, Wang Haihong, et al. Three Dimensional GIS Development Guideline using World Wind Java [M]. Beijing: China Machine Press, 2013. [周玲, 高廷铭, 王海红, 等. World Wind Java 三维地理信息系统开发技术指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.]

[15] Chen Jing, Xiang Longgang, Gong Jianya. Network Geograph-

- ic Information Integration and Sharing Service Method based on Virtual Globe[J]. *Scientia Sinica (Terrae)*, 2013, 43(11): 1770-1784. [陈静, 向隆刚, 龚健雅. 基于虚拟地球的网络地理信息集成共享服务方法[J]. *中国科学: 地球科学*, 2013, 43(11): 1770-1784.]
- [16] Xu Difeng. Research and Implement of Massive Remote Sensing Image Data Management System[D]. Suzhou: Soochow University, 2009. [徐达峰. 海量遥感影像管理系统的研究与实现[D]. 苏州: 苏州大学, 2009.]
- [17] Wu Lizong, Qu Yonghua, Wang Liangxu, *et al.* Data Management and Its Sharing Application of Watershed Allied Telemetry Experimental Research[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, 25(6): 772-781. [吴立宗, 屈永华, 王亮绪, 等. 黑河综合遥感联合试验的数据管理与共享[J]. *遥感技术与应用*, 2010, 25(6): 772-781.]
- [18] Hou Lipeng, Yang Shengtian, Zhao Changsen, *et al.* The Development and Application of Remote Sensed Hydrological Spatio-temporal Series Data Visualization Analysis System based on IDL[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2014, 29(6): 1074-1080. [侯立鹏, 杨胜天, 赵长森, 等. 基于 IDL 的遥感水文时空序列数据可视化分析系统开发与应用[J]. *遥感技术与应用*, 2014, 29(6): 1074-1080.]
- [19] Shen Jian. Research on Object-oriented Relational Image Database Technology based on XML Metadata[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2008. [沈健. 基于 XML 元数据的面向对象关系的影像数据库技术研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2008.]
- [20] Huang Feipeng. Design and Implement of Massive Remote Sensing Image Management System[D]. Shanghai: East China Normal University, 2011. [黄飞鹏. 海量遥感影像管理系统的设计与实现[D]. 上海: 华东师范大学, 2011.]
- [21] Wan Jiguang, Xie Changsheng. Research and Design of a Cluster Multi-media Storage System[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2006, 43(8): 1311-1316. [万继光, 谢长生. 一种集群多媒体存储系统的研究与设计[J]. *计算机研究与发展*, 2006, 43(8): 1311-1316.]
- [22] Huo Liang, Yang Yaodong, Liu Xiaoyong, *et al.* Research and Practice of Tiles Pyramid Model Technology[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2012, 37(6): 144-146. [霍亮, 杨耀东, 刘小勇, 等. 瓦片金字塔模型技术的研究与实践[J]. *测绘科学*, 2012, 37(6): 144-146.]
- [23] Wei Sheng. Implementation of Acces to and Mosaicing Tile Map based on ArcEngine[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(6): 737-740. [韦胜. ArcEngine 环境下实现瓦片地图的访问与拼接[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2012, 37(6): 737-740.]

Design and Implementation of Efficient Visualization Management System for Massive Remote Sensing Images based on Three-dimensional Globe

Li Shengyang^{1,2}, Yu Haijun^{1,2}, Han Jie^{1,2,3}, Hei Baoqin^{1,2}

(1. *Technology and Engineering Center for Space Utilization, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;*

2. *Key Laboratory of Space Utilization, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;*

3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: Remote sensing images play a more and more important role in the present social life and economic construction. For the organization and management issues of massive multi-source and heterogeneous remote sensing images, this paper designs and implements an efficient visualization management system for massive remote sensing images based on the characteristics of remote sensing images. This study included the organizational structure of the system and enhanced the operability of the system and the visual experience by the technology of three-dimensional globe. Combining xml file with database, we designed an efficient and unified metabase, which achieved an efficient query, retrieval and positioning function for massive, multi-resolution remote sensing images. Through low-resolution thumbnails, multi-resolution pyramid model and high concurrent thread pool, the efficiency of loading and visual display was significantly improved. Finally, using the above techniques, we completed a three-dimensional globe-based efficient visualization management system, which achieved a variety of management modes and multi-level needs. On this base, this system provides strong technical support for the distribution of massive remote sensing images.

Key words: Remote sensing images; Three-dimensional globe; Metabase; Tile pyramid