

水利遥感数据共享平台的高性能运行机制研究

李继园¹, 孟令奎¹, 田洋², 成建国³, 夏辉宇¹

(1. 武汉大学遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079;

2. 天津大学计算机科学与技术学院, 天津 300072;

3. 水利部水利信息中心, 北京 100053)

摘要: 随着遥感技术在水利应用上的逐步推进, 海量多源遥感数据的低处理效率和共享程度成为该技术应用的瓶颈。借鉴国内外现有技术经验, 结合水利信息聚合应用特点, 分析了解决该问题的空间数据密集和并行计算、快速检索与传输等几个关键支撑技术。通过对现有系统集成和应用模式的剖析, 在理论上提出该运行框架的初步设计, 为水利遥感数据中心的建设提供参考和建议。

关键词: 水利数据; 遥感数据; 共享平台; 数据密集型; 高性能; 运行

中图分类号: TP7

文献标识码: A

文章编号: 1674-9405(2011)02-0009-06

0 引言

近年来, 遥感在防汛抗旱、水资源管理、水土保持及水质水环境监测中的应用越来越有成效。随着水利工作的深入开展, 急需为不断积累的大量卫星遥感信息资源提供统一的存储和处理服务环境, 避免新的信息孤岛。水利遥感数据共享平台的建设即通过数据统一申请、分发和发布, 可极大地提高用户数据使用效率。通过遥感数据的统一存储和加工处理, 提高数据加工处理与共享能力。

水利遥感数据共享平台的建设体系庞大, 涉及到遥感数据、产品及服务的标准建设, 分布式空间元数据目录服务及遥感资源快速检索等诸多关键技术。水利遥感数据共享平台面临的用户包括业务处理人员、水利行业技术人员、上层决策制定者及普通公众, 数据服务共享的层次和需求各异。平台要求具有大量用户的并发访问能力, 提供高质量的在线数据和灾害应急服务能力。后台要求满足多源海量遥感数据的快速处理与传输功能。

本文基于以上需求, 从提高共享平台的分发效率和应急处理速度着手, 研究共享平台的高性能基础软件设施的建设, 为防汛抗旱、水事件应急处

置、水利普查、水资源管理、水土保持、水利规划和工程管理等水利中心工作提供有力支撑, 为水利部建设水利卫星应用中心奠定良好的技术和数据资源基础。

1 水利遥感数据业务处理与应用模式分析

1.1 数据资源特点分析

水利部水利信息中心现有的遥感数据资源包括Worldview、资源2号等高分辨率数据, 动态接收的MODIS中等分辨率数据, TM/ETM数据和拟接收中巴资源、环境减灾2卫星的中高分辨率数据等。既包括动态更新的实时接收数据, 也包括多次购买或整合的数据资源。共享平台未来支持的数据类型包括卫星遥感、高光谱、航空影像及地面观测等数据。其中地面观测数据是指地面调查和定位及数字地形等数据。这些数据呈现异构、多尺度、动态、海量、多样应用等特性。

1.2 业务处理与应用模式分析

资源共享按照应用的角度可划分为: 原始数据、数据产品和地图服务等共享。

收稿日期: 2010-11-23

收稿日期: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(20082130202000045); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201001046)

作者简介: 李继园(1985-), 男, 安徽宁国人, 博士生, 主要从事遥感数据处理与数据密集型计算研究。

1.2.1 原始数据共享

原始数据包括动态接收和静态存储数据。共享最大的特点是数据量庞大,更新频率高,具有很强的分布性。其共享将面对多用户的并发访问问题,需要具备在分布式环境下能提供统一管理、快速检索及快速分发的能力。此时,快速索引的建立和数据的传输将成为最大的技术瓶颈。

1.2.2 数据产品共享

数据共享平台对外提供产品共享,而对内数据的产品处理必不可少,如动态接收的 MODIS 数据在面向旱情或其他应用需全自动加工出多级产品。所有入库的数据在提供应用前均需进行预处理。此时,除了数据传输、快速索引等需求,高效的海量数据处理和自动化的作业流程控制将关系到产品共享成败。此模式下,需要考虑到数据的分布情况,是采用集中式处理,还是采用分散式处理关系到业务整体应用模式。集中式处理即由中心节点负责接收、存储和处理所有数据,尽量使数据处理靠近数据存储节点;分散式处理由中心节点派发数据,由部门分结点负责处理。一般来说,由于遥感数据量大,处理过程复杂,符合数据密集型计算的特点,采用集中式处理将会提高处理效率,减小整体成本,也符合数据共享的精神。对于部门特殊应用要求,可采用分散式处理方法。

1.2.3 地图服务共享

水利遥感数据共享平台多级比例尺地图将以高等、中高等和中低分辨率卫星数据作为基础背景地图。在作为服务数据源发布共享前,需要进行影像融合与合成,标准投影转换,影像镶嵌,标准图幅分割输出等一系列的预处理过程。此外,对于动态接收的中等和中高分辨率数据,其服务发布每年会更新 1 次。这些影像的来源广,特别是覆盖全国的高分辨率影像数据量巨大,根据既定处理流程,单纯靠人工重复性处理耗时耗力,需通过大批量自动化处理功能来减少工作量,提高任务的完成质量。

服务发布过程中,需对影像和矢量数据同时进行分层切片满足数据存储平台大吞吐、高并发的要求,以保障整个数据访问的效率,支持海量数据的存储组织和快速调度。服务发布共享后,将面临多用户高并发访问的考验,快速索引和高效传输机制是极其重要的保障技术。

现有的网格和云计算等高性能计算技术都可很好地解决海量数据分布式处理与共享问题,但只限

于传统文件、数值数据的范畴^[1]。由于空间数据的特殊性,需要基于网格和云计算技术结合空间信息技术进行进一步的研究和开发。

2 水利遥感数据共享的高性能运行关键技术

2.1 大数据量密集计算

数据密集计算技术产生自近年来互联网海量膨胀数据的处理发展过程中。数据密集型计算 DIC 主要包括科学计算、智能信息处理,它对目前硬件、软件环境和算法设计提出了下述挑战:大规模数据存储、管理与传输, PB 级数据的可扩展处理能力,降低数据处理的成本,以及保障在大规模计算过程中的可靠性。遥感数据的处理符合数据密集型计算的特点,其单个数据量很大,可达 GB 级。数据传输负载很重,相比较计算密集型而言,其数据传输比处理更加耗时耗力。

数据密集型计算系统被设计为一个均衡的系统。数据的局部性在 PB 级的数据处理中显得尤为重要,即应该尽量让计算靠近数据存储而不是远程拷贝数据进行计算。通过建立大规模的计算机系统,由多个低端计算机(称之为节点)连接局域网组成。通过这种途径,无论是数据并行(将数据拆分到大量的节点中处理),还是计算并行(并行处理的一系列操作)都可以满足现有用户和应用的需要。在这种环境下,资源可以动态地扩展和分配,数据也会被相应地重新分配到扩展的硬件资源中处理,从而使得计算框架变得简单有效^[2]。

当今流行的 Google 云计算和 Hadoop 分布式计算模型(Google 云计算思想开源实现),将分布式文件系统和 Map/Reduce 技术作为全新的软件构架,通过各节点的并行计算,有效地处理大规模的数据集。简化了大规模分布式计算的实现和配置,同时使用更加简单的容错机制,保证了局域网中大量分布式计算的一致性。Hadoop 系统结构图如图 1 所示。

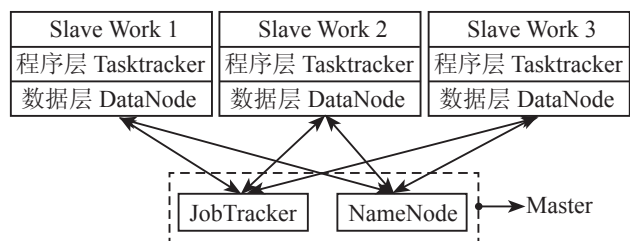


图 1 Hadoop 系统结构图

其中，HDFS 文件系统由存储管理 Metadata 元数据的 Master 主服务器和其他存储数据块的 Slave 节点组成。Map/Reduce 并行框架负责分割、并发调度、监控执行任务的 Jobtracker 和其他负责并发单元具体执行的 Tasktracker 组成。Hadoop 将 HDFS 中的 Datanode 和 Map/Reduce 中的 Tasktracker 部署于同一计算节点，作为 slave worker。从而 Tasktracker 上的程序可利用本节点 Datanode 功能提供数据管理服务，避免程序通过网络访问数据而损失效率^[3]。

在将 Hadoop 技术移植或引入到遥感数据分布式处理中，需要考虑到分布式空间数据的并行计算特点与优势。

2.2 分布式空间数据并行计算

空间数据并行性的实现模式大致有以下 3 种：流水线、功能及数据等的并行。流水线并行是不同的数据陆续进入流水线，轮流经过各个功能模块的处理；功能并行的特点是各功能模块处理的数据是相同的；数据并行是对 1 幅影像均匀分为 n 块，对每块数据施加相同的操作，但存在图像块边界效应的问题。

可见，流水线上各个步骤完成的功能不同，各功能处理的数据也不同，兼具了功能和数据并行的特点。并行执行时间取决于执行时间最长的步骤和数据划分的粒度，如果设计得当，这种并行模式能获得很高的效率，缺点是需要硬件的支持，不适合当前主流的并行处理结构。而单纯的功能并行对于遥感处理而言难度较大，因为同一算法内部的各个步骤之间几乎都是相关的，不易分解，因此这种模式的实用性较差。由于遥感数据具有一致性和邻域性的特点，因此数据并行的思想比较自然，同时这种并行模式更适合于当前主流的数据密集型计算思想^[4]。

结合 Map/Reduce 技术，遥感数据处理的计算框架可设计如图 2 所示。

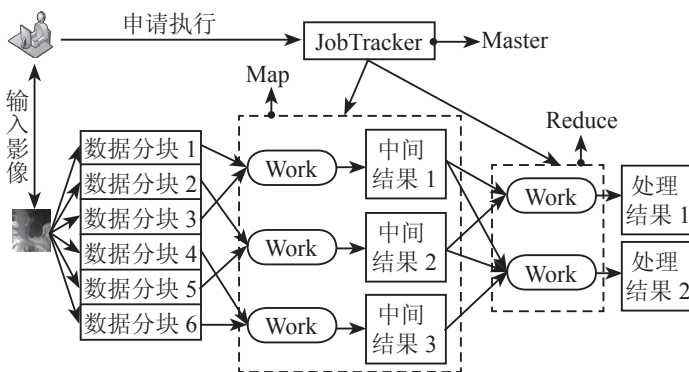


图 2 遥感数据 Map/Reduce 计算框架

用户提交处理申请，Master 负责将遥感影像按照最佳策略分成 m 块，分配到多台处理节点，并在机群中开始大量拷贝处理程序。由 Master 对机群的节点 work 进行检测，并执行任务调度，将 Map 和 Reduce 任务合理分配给空闲的 worker。

分配了 Map 任务的 worker 将读取数据分块，从输入数据中分析出 key/value 对，经过 map 函数处理，产生新的中间 key/value 对，并缓存在内存中。Master 负责将缓存位置传送给 Reduce worker。Reduce worker 得到通知后，远程过程调用 Map worker 的缓存数据，通过排序使具有相同 key 的内容聚合在一起，并将 key 和相关的中间 value 集传递给用户自定义的 Reduce 函数。Reduce 函数的输出被添加到这个 Reduce 分割的最终输出文件中。当所有的 Map 和 Reduce 任务完成，Master 唤醒用户程序，结束该部分处理。

其中 key 对应的 value 聚合相当于遥感数据分块的重镶嵌过程。按照处理功能不同可一次性生成多种处理结果。在 1 个完整的遥感处理流程中，这只是完成了 1 个 Map-Reduce 的过程。

2.3 影像数据快速检索

影像数据快速检索的核心构建内容是海量影像数据的高效索引机制及索引的维护与更新。以异构环境索引维护引擎为基础，构建多层次海量影像数据自动金字塔索引机制；以高效的索引机制为基础，构建上层影像数据的快速查询机制，满足多用户多层次的影像数据快速检索需求。遥感数据快速检索机制如图 3 所示。

2.3.1 异构环境统一索引维护引擎

异构环境统一索引维护引擎主要屏蔽多源影像数据底层物理存储介质之间的差异，对不同存储介质建立统一的索引维护体系，同时对上层索引构建机制提供统一的服务接口。多源影像数据统一参考体系将多源异构坐标系下的各种影像数据进行合理的映射和坐标转换，使其纳入统一的参考体系中，为后续影像数据的拼接，建立统一的空间参考环境。多源数据索引结构的组织主要针对不同物理介质和存储方式下，索引信息统一维护和组织困难的问题，结合各种存储方式自身的特点，建立合理的索引维护和组织方案。

2.3.2 多源数据统一检索引擎

多源数据统一检索引擎以异构环境统一索引维护引擎为基础，通过接受用户的检索请求，将检索

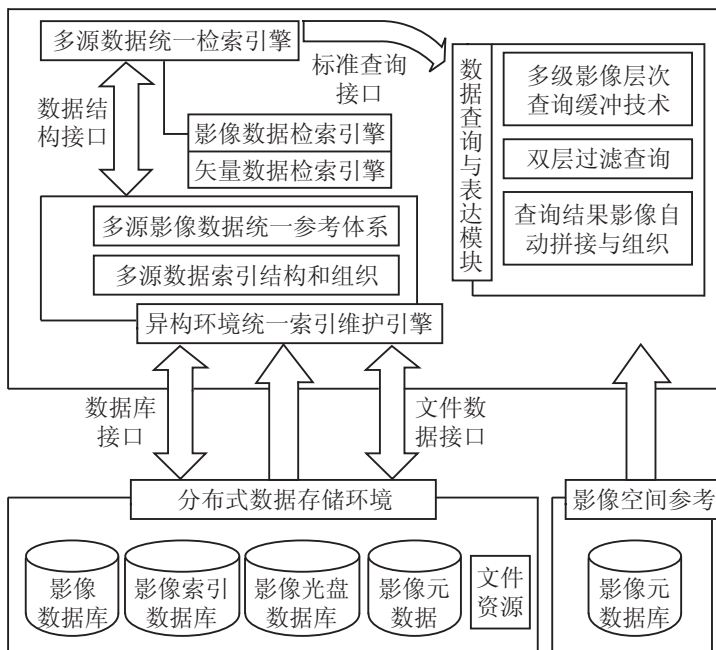


图3 遥感数据快速检索机制

任务进行分割，针对检索数据的本身特点，提供不同类型数据的快速检索。当检索任务到达该引擎模块时，首先对检索任务进行解构，将关于影像、矢量及金字塔数据等的检索请求彼此剥离。不同的检索引擎根据用户的检索要求，调用不同的数据索引，对数据进行查询与定位，并将数据索引信息反馈给上层的数据检索与表达模块。

2.3.3 数据查询与表达

针对影像数据浏览检索窗口相关性很强的特点，采用多级影像层次过滤查询缓冲技术，对当前查询请求附近层次和相邻区域的数据进行临时索引和缓存的建立，提高查询效率，为影像数据后期的实时渲染提供支持。对查询后的影像需要进行相应的快速多层次影像的拼接与组织，将查询得到的破碎影像瓦片，拼接成为完整的遥感影像数据，满足影像后期分析与应用的需求。

2.4 海量遥感数据的快速传输机制

在水利遥感共享平台中，海量数据的传输广泛存在。如遥感数据处理过程中的中间数据传递和结果数据的输出；数据分发过程中的服务器对客户端的数据传输；服务分发过程中的大量地图缓存服务在网络中的动态传输。

遥感数据的海量特性决定了基于网络的传输效率不高。如今，网络和 Web 服务技术的进步大力促进了遥感信息应用的发展。但网络带宽毕竟是有限的，而在网络上传输的空间信息量必然会越来越大。

为了改进遥感信息的传输效率，更好地支持网络应用，除了提高硬件系统的性能外，还必须针对遥感数据的特性，对传输过程进行优化。目前比较通行的优化方法如下：

1) 数据压缩

遥感栅格数据的压缩是指在满足一定数据质量的前提下，用尽可能少的数据量来表达原始的栅格信息。通过压缩，能够消除数据间的冗余，节省存储空间。栅格数据的编码方法有上百种之多，在空间信息领域大多采用信息无损的编码方法。

2) 数据分块

如空间数据并行计算中描述，采用数据分块技术对空间数据进行分块，可保证系统将分块后的数据小块地进行处理，减小单个任务量，保证海量数据的传输不会受到数据大小的限制。不管数据多大，每次处理时仅仅读取其中的一部分到程序中进行处理，有利于提高系统的吞吐能力和 I/O 处理效率，还能够利用多线程或并行算法提高数据传输能力。分块处理也有利于空间数据的数据库化管理。

3) 流式传输

流式传输技术目前主要用于多媒体数据传输上，它采用特殊的压缩方式将 1 个完整的文件压缩成多个数据包，然后通过“流”的方式向用户端连续，实时地发送数据，保证数据的下载在使用中实现，显著缩短用户的等待时间。同时，从粗到细的传输过程中，根据用户的需求传输对应区域的数据细节，从而避免了额外的数据传输负担。这种由粗到细的传输方式刚好与空间信息认知规律相吻合，能够在用户使用数据的过程中起到信息导航的辅助功用。传统的空间数据传输方法采用顺序方式存取，并不支持流式传输技术。为了适应流式传输，必须对空间数据进行预处理，主要是对空间数据进行压缩编码，生成新的空间数据压缩包，然后再传输给用户。

3 水利遥感数据共享的高性能运行框架设计

基于以上应用模式和关键技术分析，本文以数据处理和服务共享 2 大任务为需求核心，设计了从基础设施层、平台支撑层到业务层的水利遥感数据共享高性能运行框架^[5]，框架如图 4 所示。

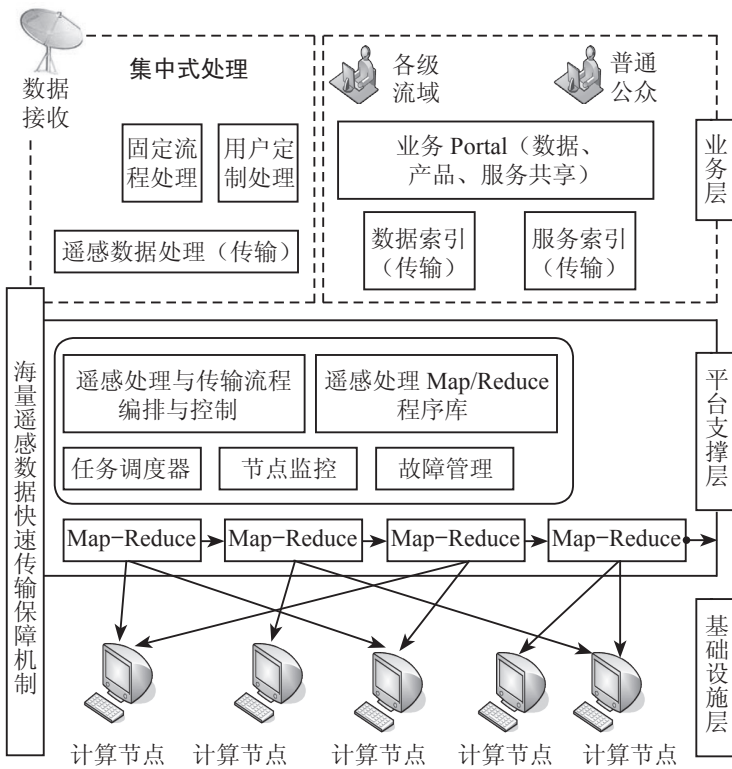


图4 水利遥感数据共享的高性能运行框架

该框架设想在水利信息中心构建基于高速局域网的机群式集中处理环境，该处理环境包括若干小型处理机组成的机群和存储硬件及上层软件支撑环境。通过分布式文件系统和空间数据并行计算的Map/Reduce架构，中央节点装载业务层注册的数据处理和共享程序，建立Map/Reduce程序库，在运行时将程序批量分配到各处理节点。同时中央节点负责对机群里所有节点的监控、任务调度和故障管理等工作。

业务层的数据处理定时执行固定流程，实现实时数据接收到产品加工的全自动化处理过程，同时也通过后台管理工具提供用户定制流程处理，主要包括遥感自动预处理和组件管理。通用的遥感数据处理过程按照合理的处理单元划分后，可以包装成组件形式。其在遥感组件库中注册后可供上层处理调用，并映射到Map/Reduce程序库。平台支撑层则提供了流程管理工具对流程库进行维护和管理，从而达到整个处理过程无人干涉、有序高效。

各级流域和省市单位或普通公众通过统一的Portal入口获取水利遥感数据和地图服务的共享功能。提供的数据、地图服务索引，以及相应的传输功能也注册到Map/Reduce程序库，以供调用，实现基于运行平台的统一共享任务^[6]。

4 实验实例

本文基于以上描述内容，采用密集型和空间并行计算的关键技术，及计算和高性能运行框架的部分设计思想，实现了基于LSF机群的MODIS数据快速发布平台。Platform LSF是对计算和数据密集应用程序的负载处理进行管理和加速的软件，它基于调度策略和智能化负载均衡处理方法，对用户的关键任务和作业提供运行保障，是一个开放性的、具有网格功能的体系结构。基于该网格软件，本计算平台集成了4台小型处理机，节点服务器配置如表1所示^[7]。

每天接收到的MODIS原始数据按照图5所示的数据流程实时加工，生成多种数据产品，并存储于分布式文件系统专网共享^[8]。

表1 网格节点服务器配置

机器 IP	配置	类型
10.1.98.50	HP Workstation, CPU 2.66 G 8 核, RAM 16 G, NIC 1 000 Mbps	主机/执行节点
10.1.98.51	HP Workstation, CPU 2.66 G 8 核, RAM 8 G, NIC 1 000 Mbps	主备机/执行节点
10.1.98.45	PC, CPU 2.5 G, RAM 1 G, NIC 1 000 Mbps	执行节点
10.1.98.49	PC, CPU 1.9 G, RAM 512 M, NIC 1 000 Mbps	执行节点

5 结语

卫星遥感数据是重要的信息资源。基于网络的MODIS处理平台实现了全自动化遥感数据处理与共享，但是建设水利遥感数据共享平台的环境和问题要比MODIS数据共享面临的问题复杂的多。本文通过水利遥感共享业务模式的分析，引入了数据密集计算的思想，结合空间信息处理与传输的关键技术，初步设计了符合水利遥感数据共享实际需求的高性能运行框架，可保证系统的建设和运行。目前已经积累了部分建设经验，其中海量遥感数据快速检索与传输技术仍然是问题研究的重点和突破点。下一步工作计划是在水利遥感数据共享框架下继续完善现有关键技术，以及突破新技术研究。

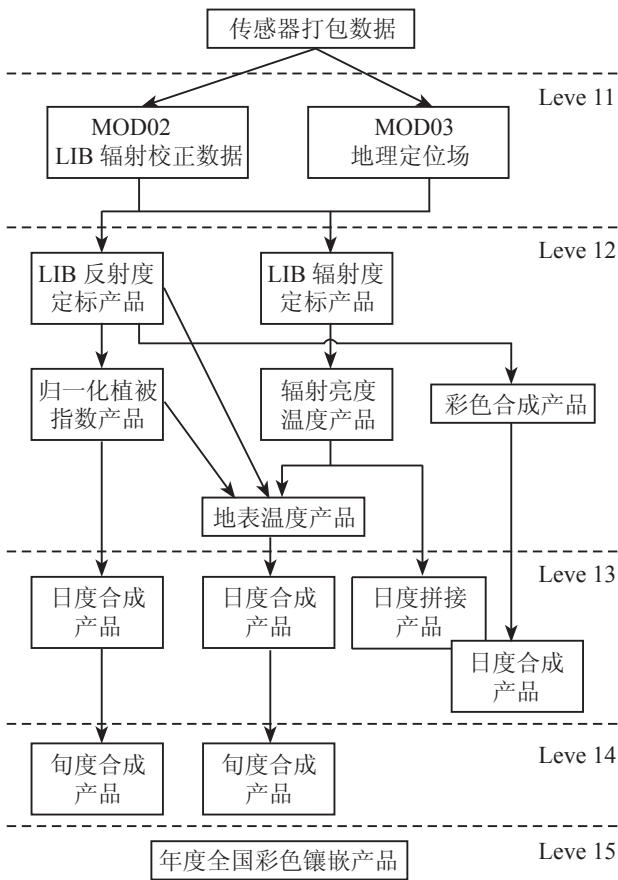


图5 MODIS 数据处理流程及产品

参考文献:

- [1] 唐宗仁, 赵红梅. 水利网格计算研究[J]. 水文, 2008, 28 (5): 18-23.
- [2] Ian Gorfon, Paul Gremffield, Alex Szalay. Roy Williams. Data-Intensive Computing in the 21st Century [J]. IEEE Computer Society, 2008, 4 (41): 30-32.
- [3] 孙兆玉, 袁志平, 黄宇光. 面向数据密集型计算 Hadoop 及其应用研究[C]//2008 年全国高性能计算学术年会论文集. 无锡: 中国计算机学会高性能计算专业委员会, 2008: 441-443.
- [4] 常志明. 遥感图像并行算法的研究及其网格服务的实现 [D]. 北京: 国防科技大学, 2004: 45-49.
- [5] 姜弘道. 水利高性能计算的进展[J]. 水利水电科学进展, 2006, 26 (2): 70-76.
- [6] 陈德清, 吴礼福, 冯径, 等. 基于网格的水利数据中心数据集成研究[J]. 水文, 2010, 30 (1): 76-78.
- [7] Jiyuan Li, Lingkui Meng, Liang Tao. Research on Automatic Composite of MODIS Data Based on Grid[C]//Proceeding of International Seminar on Business and Information Management 2007.China, 2008: 404-408.
- [8] 李继园, 孟令奎, 陈子丹. MODIS 数据处理平台在旱情监测中的应用研究[J]. 水利信息化, 2010 (1): 55-59.

Research on High Performance Operation Mechanism of Data Sharing Platform for Water Remote Sensing Data

LI Jiyuan¹, MENG Lingkui¹, TIAN Yang², CHENG Jianguo³, XIA Huiyu¹

(1. College of Remote Sensing Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. College of Computer Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

3. Water Information Center, MWR, Beijing 100053, China)

Abstract: Along with the gradual promotion of applying remote sensing technology in water resources industry, lower data processing efficiency and sharing degree of multi-source and massive remote sensing data have become the bottlenecks in technology application. With reference to technical experiences both home and abroad, and according to features of information aggregation, the paper makes an analysis about key technologies for solving those problems, such as spatial data-intensive computation, parallel calculation, and fast retrieval and transmission. Through an analysis on existing system integration and application mode, the article also theoretically points out the preliminary design of operation framework, offering reference and suggestions for the construction of remote sensing data center for water information.

Key words: water data; remote sensing data; sharing platform; data-intensive; high performance; operation