

# 基于云计算的地理信息服务技术

张新 胡晓东 魏嘉伟

(中国科学院遥感与数字地球研究所遥感科学国家重点实验室 北京 100101)

**摘要** 文中基于现有地理信息服务技术研究仅限于已有 GIS 软件在云计算环境下的新的软件部署和单个领域应用模式的局限,提出了地理信息服务技术的研究需要在云计算环境下开展应用模式的深入研究,深化以对地观测信息为特征的地理时空大数据的融合应用;进而分析了云 GIS 服务平台在数据管理、地理计算、地理信息制图与终端服务、专题应用系统构建和网络应用与服务模式 5 个方面的技术特征。参考并分类辩证分析国内外该领域内经典的理论与实证文献资料,顺应云 GIS 研究的最新趋势,设计了“存储-计算-服务”一体化的云 GIS 平台技术架构,并针对目前云 GIS 平台的应用现状,提出了基于云计算的地理信息服务的 5 种模式。采用 MongoDB 作为元信息库、业务数据等的载体,应用 GridFS 文件系统作为底层异构存储的一种,采用 Redis 作为数据引擎的数据交换缓存以确保处理的效率,采用 ZeroMQ 作为传输中间件,基于 Node.js 开发了“管家-工作者”模式的数据引擎和资源服务。针对海量、高吞吐、空间结构化的遥感影像数据及其基础土地信息产品的存储与管理问题,基于 MongoDB 数据库开发了原型系统并使用 PB 量级数据进行实验,验证了本文研究成果的可行性和先进性。

**关键词** 云计算,地理时空大数据,服务模式

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## Cloud Computing Based Geographical Information Service Technologies

ZHANG Xin HU Xiao-dong WEI Jia-wei

(National Key Laboratory of Remote Sensing, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract** Based on the limitations of existing research on geographic information service technology, which is only limited to the new software deployment of existing GIS software in the cloud computing environment and the application mode of a single field, this paper proposed that the research on geographic information service technology needs to carry out in-depth research on the application mode in the cloud computing environment and deepen the fusion application of geospatial and temporal big data characterized by earth observation information. Furthermore, it analyzed the technical characteristics of cloud GIS service platform in five aspects: data management, geographic computing, geographic information mapping and terminal service, thematic application system construction, network application and service mode. By referring to and classifying and dialectically analyzing the classic theoretical and empirical literatures in this field at home and abroad, in line with the latest trend of cloud GIS research, the technical framework of cloud GIS platform integrating “store-computing-service” was designed, and five models of geographic information service based on cloud computing were proposed according to the current application status of cloud GIS platform. MongoDB was adopted as the carrier of information and business data and GridFS file system was applied as a kind of underlying heterogeneous storage. At the same time, Redis was utilized as the data exchange cache of the data engine to ensure the processing efficiency, and ZeroMQ was leveraged as the transmission middleware to develop the data engine and resource service of the “Mannger-worker” mode based on Node.js. Aiming at the problem of storage and management of massive, high-throughput, spatially-structured remote sensing image data and its basic land information products, a prototype system was developed based on MongoDB database and tested with PB data, which verified the feasibility and advancement of the research results in this paper.

**Keywords** Cloud computing, Geographical spatitemporal data, Service mode

地理信息系统(GIS)作为地球信息科学的重要组成部分,以其特有的空间观点和空间思维,以空间相互联系和相互作用为出发点,揭示各种事物与现象的空间分布特征和动态

变化规律<sup>[1]</sup>,服务于地球系统科学研究和社会、经济发展的需求。地理信息具有空间上的多尺度、多维度,以及时间上的多粒度、序列化特性,因此地球系统科学在向更加宏观和更加微

本文受国家重点研发计划项目(2017YFB0504201),国家自然科学基金(61473286)资助。

张新(1974-),男,博士,研究员,主要研究方向为地理时空大数据分析与服务,E-mail:zhangxin@radi.ac.cn(通信作者);胡晓东(1982-),男,博士,助理研究员,主要研究方向为遥感信息自适应计算、遥感大数据管理;魏嘉伟(1997-),男,硕士生,主要研究方向为水色遥感。

观的尺度拓展的同时强调过程的时间关系,即不同尺度的过程如何在时间上相互结合<sup>[2-3]</sup>。

近年来,社会发展与经济发展已经进入新一轮的产业革命时期,工业制造呈现数字化、网络化、智能化、个性化、绿色化趋势,产业组织出现网络化、平台化和扁平化的趋势<sup>[4]</sup>。社交网、传感网与综合观测系统等的发展,使得当代社会进入了大数据时代,大数据挖掘与知识发现成为现代科学技术的前沿发展方向,地理信息系统的发展正面临大数据时代的发展机遇和新的挑战<sup>[5]</sup>。大数据、云计算在IT界的飞速发展,深刻改变着GIS中地理计算与存储的方法与模式。

从理论上,作为一门交叉学科,国内外理论研究对大数据时代下GIS应用与体系模式有着相似的观点:在国内的研究中,陆锋等<sup>[6]</sup>提出广义GIS是GIS的终极目标,要顺应地理空间信息泛化趋势,融合GIS地理计算进行社会计算、城市计算;李清泉等<sup>[7]</sup>从GIS空间数据管理、空间数据分析以及可视化3方面进一步阐述了大数据GIS应具有的特征。倪永等<sup>[8]</sup>分析国内外主流云GIS平台,并详细分析了两家主流GIS云产品厂商现有云产品体系和面向不同用户的解决方案,提出GIS厂商需要做出技术和应用服务的革新,而不仅仅是GIS功能的整合和简单升级。在国外的研究中,Goldberg等<sup>[9]</sup>和Yang等<sup>[10]</sup>深入分析了在大数据时代,云计算中地图与GIS数据库需要做出的改变。这些理论研究的根本论点都指出GIS要迎合大数据时代和云计算新技术,全方位、多角度地发展。

在技术与应用领域,云GIS根据不同的用户群体提供了多种应用模式,海量空间信息三维可视化成为时代迫切的需求, TSAI等<sup>[11]</sup>介绍了台湾开发的Web 3D GIS平台的现状,并应用于台湾灾害监测与评估。Fustes等<sup>[12]</sup>基于云计算技术开展了SAR数据的分析,并将其应用于海洋溢油的监测。随着我国对地观测技术的快速发展和“高分辨率对地观测系统”等的实施,遥感数据和信息产品在地理信息服务领域发挥着越来越重要的作用。周成虎等<sup>[13]</sup>提出需要针对未来多平台、多源、多系统的遥感数据特征,深入开展多源、长序列遥感数据的综合处理技术和产品加工技术,制定标准化的遥感数据产品加工标准体系,开发面向应用产品的遥感数据集成加工的技术软件,建立高效的遥感数据产品加工系统。进而,左尧等<sup>[14]</sup>对高性能GIS进行了系统总结;谭娟等<sup>[15]</sup>研究了开放式遥感数据服务系统架构;刘义等<sup>[16]</sup>利用MapReduce进行了批量遥感影像瓦片金字塔构建技术研究;李国庆等<sup>[17-18]</sup>提出了遥感大数据的基础设施:集成、管理与按需服务;任伏虎等<sup>[19]</sup>开展了遥感云服务平台技术的研究与实验。对于我国GIS创新驱动发展,徐冠华<sup>[20]</sup>提出需要探索研发模式、服务模式和商业模式的创新,努力探索大数据应用的模式,结合GIS特有的空间统计与空间分析能力,让大数据发挥更大价值。

基于对以上理论与实证的经典文献反映的研究方向与发展趋势的分析,本文认为地理信息服务在云计算环境下需要对应用模式进行深入研究,深化以对地观测信息为特征的地理时空大数据的融合应用。因此,本文针对地理大数据的处理、实时状态感知、动态世界模拟、海量时空数据智能处理与信息挖掘,在面向社会大众的地理知识服务已经成为时代要求的背景下,提出新的基于云计算的地理信息服务服务技术与应用模式。

## 1 云GIS服务平台技术特征

为顺应“智慧地球”“物联网”“云计算”等新兴技术的发展和潮流,满足政府部门、企业单位、社会公众对GIS应用在专业化方向深入、社会化方向拓展的需要,云GIS的发展呈现以下5个方面的趋势。

### (1) 数据管理方面

遥感数据的获取能力不断提高,来自传感器网络的位置数据不断增加,下一代互联网和物联网中地理相关数据不断丰富,使得传统GIS中“点-线-面”数据模型及其管理体系已经无法满足对全球尺度、动态变化地理世界的描述。时空大数据、三维地理对象、时态对象与时态场、时空关联数据等对传统GIS数据管理技术和模式提出了不可回避的巨大挑战。因此,云GIS系统必须将数据管理范畴扩展到包含动态遥感数据在内的时空大数据等新型数据类型的广域多重空间上去,探索新的数据管理方法,研发新的数据管理软件来支撑系统和应用的发展。

### (2) 地理计算方面

空间数据处理、空间分析和复杂系统模拟等问题的规模不断增大,传统的地理计算范式已经不能满足问题求解的性能要求,需要探索提出面向时空大数据分析处理的新型地理计算范式。因此,需要结合高性能计算、分布式计算和云计算的技术进展,发展新一代高性能地学计算范式,研发以服务为导向的、运算高效的地理计算支撑软件。

### (3) 地理信息制图与终端服务方面

面向下一代互联网的云服务模式给传统地理信息制图与交互技术带了巨大冲击。原有的主要基于客户端能力的制图与交互方式在云服务模式下将变得难以施行,同时,普适化应用环境中的高并发问题也是一个新的挑战。因此,需要重点研究面向地理信息服务的时空大数据动态制图与高性能可视化技术,研发大规模复杂地理数据可视化引擎,更好地建立“现实世界-地理世界-虚拟世界”之间的联系,为用户提供一体化、操作透明、高度真实和个性化的地理信息终端服务新模式。

### (4) GIS专题应用系统构建方面

国内外研究人员均需要充分吸纳最新的计算机技术和信息技术,加强GIS的集成创新,在新型计算硬件架构的支撑下,改造或研发新型GIS软件平台。在底层构建高性能地理计算和存储环境,在上层打造广域而多重的地理信息服务体系,为应用提供“数据—计算—服务”于一体的整体性解决方案。

### (5) GIS网络应用与服务模式方面

在云计算技术的支持下,用户可以实现按需使用GIS。用户不需要知道数据、软件来自何处,可随时、随地获得计算能力(资源、信息、服务、知识)。用户可以把各种资源(如地理数据、应用软件、硬件设备)都放在云计算平台进行统一管理,进一步强化地理分析、处理能力。同时,云计算服务可靠、安全,每个地理信息应用部署都与物理平台无关,通过虚拟平台进行管理,并对地理信息应用进行扩展、迁移和备份等各种操作。

## 2 云GIS平台技术结构设计

云GIS平台需要对国产高分辨率遥感数据综合处理工

厂生产出的空间上碎片化、时间上序列化的海量遥感数据产品,低空航空倾斜摄影测量获取、生产的真实场景三维模型数据,多区域、多行业应用生成的多样化空间信息产品,以及传感网、移动互联网等产生的时空数据流信息进行统一管理;解决 GIS 时空大数据的自动化、规模化接入方法,构建多类型数据的大规模管理体系,对“总-分”结构的管理与服务模式进行创新,建立面向多层次需求、多种专题、多样化应用的空间大数据管理与服务平台,为高性能 GIS 服务提供基础支持。

大数据时代下,新一代云 GI 相对于传统 GISS 在资源服务、数据服务、计算服务和地图服务 4 个方面,都发生了很大的转变:1)资源方面,从单一的大型主机转变为由廉价计算机搭建的分布式集群平台;2)数据方面,从以相对静态的量测数据为主体转化为以时空密集、动态、非(半)结构化的“大数据”为主体;3)计算方面,从组件式的功能计算转化为高性能环境支持下的相对独立、按需组装的工具计算;4)地图制图方面,从预生成的地图瓦片服务模式转变为实时交互的地图服务;5)服务方面,从根据应用需求进行软件开发模式转化为庞大的地理信息服务网络及个性化服务模式。本文设计了“存储-计算-服务”一体化的云 GIS 平台技术架构(如图 1 所示)。整体上,新一代云 GIS 由空间大数据引擎、云服务 API 和应用终端三层结构组成。空间大数据引擎作为平台的内核,实现了大数据的高性能存储、计算、可视化等底层功能;云服务 API 对底层功能进行封装,以标准 Web API 的形式为客户提供服务,并进行权限、安全、流程等的控制;各类应用终端则基于云服务 API 搭建桌面、网页、移动等不同形式,在线、离线同步等不同应用模式的应用系统产品。

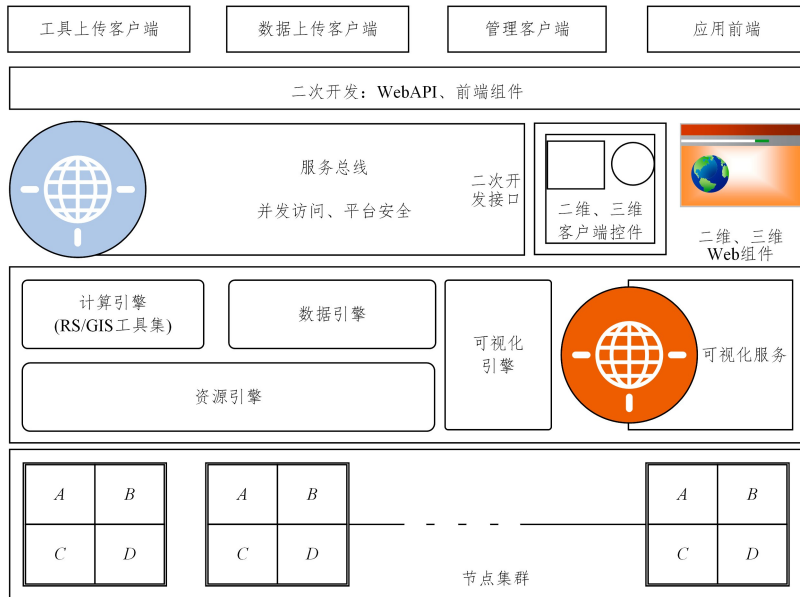


图 1 云 GIS 平台的整体结构

### 3 原型系统及实验

依据本文方法开发了原型系统,该系统应用超 PB 级卫星遥感及其增值产品数据进行实验,并具备业务化运行能力。

#### 3.1 系统部署

本文采用 MongoDB 作为元信息库、业务数据等的载体,并应用其 GridFS 文件系统作为底层异构存储的一种;采用

(1)空间大数据引擎:云 GIS 平台底层软硬件架构针对空间大数据而构建,具有高性能、可扩展、资源化等特点;资源、数据、计算、可视化四大引擎逐步递进,互相独立又紧密耦合,组成了平台的内核;资源引擎负责将高性能节点的硬件资源进行聚合和虚拟化,使底层节点资源的灾备、修复、扩展等操作对上层透明;数据引擎在时空大数据的模型的基础上搭建数据管理框架,负责具备 PB 级以上数据量的一体化在线管理与计算;计算引擎是时空大数据计算工具和计算模型的容器,负责核算一体的计算工具管理、计算资源管理、计算任务调度等功能,提供计算模型中间件的注入、管理、调度接口;可视化引擎负责调度节点的计算资源进行可视化渲染与缓存维护,提供实时、动态的空间数据可视化功能。

(2)云服务 API:云服务 API 由服务总线进行封装提供,通过服务总线将底层四大引擎的功能进行封装,以标准的 REST 风格提供 Web API,一方面以引擎单一功能的形式提供细粒度功能服务,另一方面组合各引擎功能以提供综合性服务 API;同时,服务总线完成平台的访问权限、安全闸等系统性任务。

(3)多模式应用终端:首先通过云服务 API 封装二维、三维可视化控件,分别以桌面、Web、移动终端 App 的形式提供给开发者使用,完成地图浏览、地图操作、地图统计等基本功能;进一步结合平台提供的服务 API 进行二次开发,形成桌面形式的平台管理终端、Web 与移动 App 形式的数据产品服务终端、桌面与 Web 三维形式的数据产品展示应用终端三大类型终端产品;再面向中小企业、大客户、科教用户、公众等几类特定用户开发各类应用,形成云 GIS 平台的应用生态系统。

Redis 作为数据引擎的数据交换缓存,确保处理效率;采用 ZeroMQ 作为传输中间件,同时主要使用 Node.js 开发了“管家-工作者”模式的数据引擎和资源、

在原型系统的硬件环境构成中,GridFS 集群由 8 个节点组成,总容量为 150 TB,其余存储由 6 组磁盘阵列组成,总容量超过 1.2 PB,且两套存储方案均具备横向扩展性。Redis 集群由 3 个节点组成,总内存容量超过 700 GB。应用服务器 2 台,部署了 MongoDB、RedisClient、ZeroMQ、“管家-工作者”程

序、资源服务、Web 服务。

### 3.2 数据规模

自 2015 年 9 月投入试运行,截止目前,该系统已实现超过 15 万景的数据装载量,其中包括资源三号系列、高分一号系列、资源一号系列等栅格影像数据,以及土地利用/土地覆盖、变化检测、水系专题、农业专题、道路专题等信息产品。后续还将以 5 000 景/天的数据量增加,其中系统数据上传速度达到平均 70 MB/S。

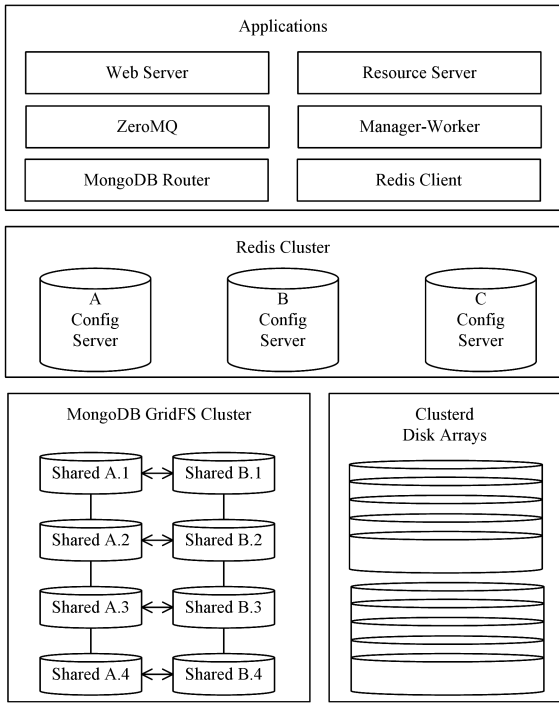


图 2 原型系统部署图

当前土地利用/覆盖产品以县为单位进行主动生产,地物的解译精度达到地块级。以青海省玛多县为例,其面状要素达到 46 891 个。区别于目前主流的遥感数据服务平台仅提供影像的缩略图作为影像内容和场景的参考,而无法就影像细

节、波段组合、数值拉伸等进行详细查看,该平台能够交互式地、快速地渲染单景影像,并在服务前端进行展示和查看。

图 4 展示了数据实时查看的效果,图(a)是一景影像数据的全图,图(b)是该影像的局部细节图,图(c)是该影像的真彩色波段组合图。

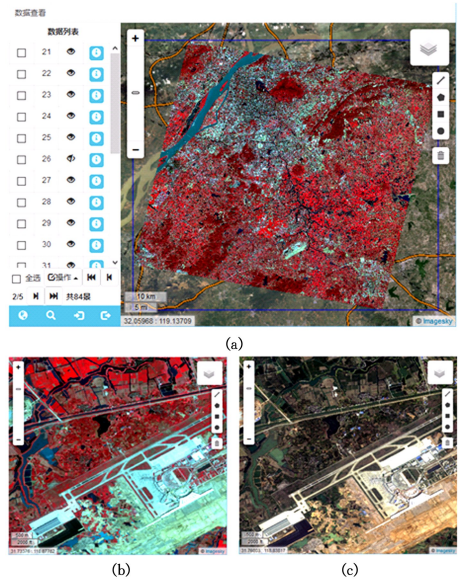


图 4 数据实时查看示范

## 4 云 GIS 平台应用与服务模式

云 GIS 平台在面向多级行政区域的垂直部门信息共享和面向广域范围的多层次地理信息协同信息服务时具有广泛的应用前景。能够支持建立以“垂直共享和广域协同相耦合”为特色的区域空间信息应用系统,使之既能满足单元内部各垂直部门对地理信息资源服务共享的纵向需求,又能满足广域范围对跨区域地理信息资源智能联动响应的横向需求。同时,能够支持政府综合管理部门、中小企业、公众等多种应用模式。云 GIS 应用与服务模式服务模式示意图如图 5 所示。

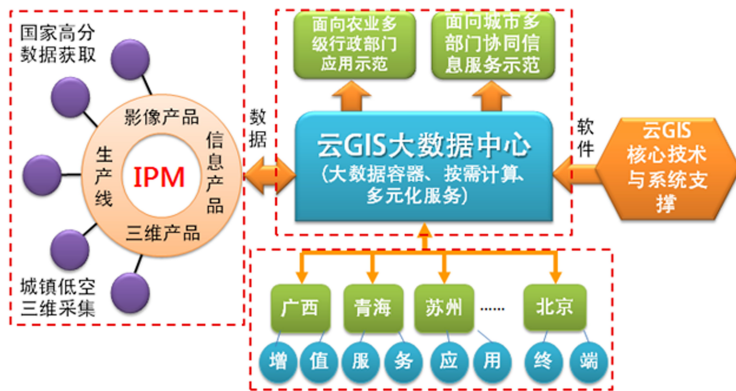


图 5 云 GIS 应用与服务模式服务

(1) 全国性总中心和区域性分中心相结合的地理信息产品生产与网络服务

面对全国国产遥感卫星地理信息产品的多元化应用服务需求,以“总中心-区域分中心”的系统构建模式,基于云 GIS 能够构建全国地理信息产品生产与服务网络,通过纵横联动、数据推送、信息回馈,形成基于国产卫星体系的地理信息产品高效生产、智能化、按需服务的综合能力。

(2) 区域性、行业性空间信息产品应用解决方案

以全国地理信息产品生产与网络服务区域节点为基础,面向农情遥感监测、生态安全遥感监测与评估、城镇化遥感监测与土地监察,形成多样化的区域性、行业性空间信息产品解决方案与应用终端,为各类用户提供部门私有云系统、计算机桌面系统、移动智能设备等多样化、个性化的地理信息应用服务。

### (3)面向专题性应用服务终端开发

面向野外科学考察、城镇化土地监察、公共安全检查、国土资源普查等专题应用需求,研发并形成多样化的区域性、行业性、专题性的空间信息产品应用终端。为各类用户提供基于笔记本电脑、手机、移动智能设备等多样化、个性化的专题地理信息应用服务。

### (4)真三维、大场景展示应用

面向精细化智慧城市三维场景构建、企事业单位三维展示厅建设等需求,集成航空遥感、无人机飞行等倾斜摄影测量数据产品与模型构建,通过云 GIS 平台提供的空间信息可视化服务所研制的三维展示前端,开发栅格、矢量、三维模型、倾斜摄影城市模型等多种数据服务的访问以及交互可视化功能,实现虚拟地理演示厅、个人终端、桌面 PC 等终端进行真三维、大场景展示应用部署使用。

### (5)基于互联网面向中小企业、公众等提供多种应用模式

通过云 GIS 平台开发的地理信息产品服务门户及移动端应用程序,基于互联网面向中小企业、公众等提供信息加载、信息更新、信息交换、增值信息产品在线交易等多种应用模式,实现地理信息产品的在线运营、交互式搜索和增值信息产品销售等服务功能。

**结束语** 本文提出了一种新型的云 GIS 服务平台架构与服务模式,针对“智慧地球”“物联网”“云计算”等新兴技术发展的潮流和政府部门及社会公众对 GIS 应用在专业化方向的深入、社会化方向拓展的需求,领先设计“存储-计算-服务”一体化的云 GIS 平台技术架构和开发“管家-工作者”模式的数据引擎和资源服务。与目前主流的遥感数据服务平台相比,本文方法创新性地改进了平台交互与渲染功能,使用户能够交互式地、快速地渲染单景影像,并在服务前端就影像细节、波段组合、数值拉伸等进行详细查看。

下一步云 GIS 平台服务技术与应用方向包括:

(1)针对 GIS 研究范围和对象,需将传统的地理信息管理范畴拓展到广域多重空间上去,并继续探索新的 GIS 基础理论和方法体系来支撑技术的发展;

(2)发展新一代高性能地学计算模式,设计新型的 GIS 体系架构,研究开发标准化的、以服务为导向的、适合高性能计算的地理空间分析中间件;

(3)在云 GIS 体系中,进一步研发大规模复杂地理数据的可视化引擎,与动态自组织的多重广域数据组织与管理模型协同起来,打通“现实世界-地理世界-虚拟世界”的隔阂,为用户一体化、全透明的、高度真实的、个性化的地理信息服务新模式;

(4)面向区域综合应用、区域专题应用、公众应用等不同应用环境和需求,进一步探索多级政府部门垂直共享和广域协同相耦合的地理空间信息应用新模式。实现基于“行业专网”和互联网的“多级共享”“纵向信息推送与反馈”,推动云 GIS 的深化应用。

## 参考文献

- [1] 周成虎. 全空间地理信息系统展望[J]. 地理科学进展, 2015, 34(2):129-131.
- [2] 方雷. 基于云计算的土地资源服务高效处理平台关键技术探索与研究[D]. 杭州:浙江大学, 2011.
- [3] 汪品先. 穿凿地球系统的时间隧道[J]. 中国科学(D辑:地球科学), 2009, 39(10):1313-1338.
- [4] 王钦敏. 经济社会发展中的大数据应用[J]. 地理学报, 2015, 70(5):691-695.
- [5] 李丰丹. 基于云 GIS 架构的地质信息服务关键技术研究[D]. 北京:中国地质大学(北京), 2015.
- [6] 陆锋, 张恒才. 大数据与广义 GIS[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39(6):645-654.
- [7] 李清泉, 李德仁. 大数据 GIS[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39(6):641-644, 666.
- [8] 倪永, 陈荣国. 主流云 GIS 平台软件应用分析[J]. 测绘科学技术学报, 2013, 30(2):177-181.
- [9] GOLDBERG D, OLIVARES M, LI Z X, et al. Maps & GIS Data Libraries in the Era of Big Data and Cloud Computing[J]. Journal of Map & Geography Libraries, 2014, 10(1):100-122.
- [10] YANG C W, HUANG Q Y, LI Z, et al. Big Data and cloud computing: innovation opportunities and challenges[J]. International Journal of Digital Earth, 2017, 10(1):13-53.
- [11] TSAI W F, CHANG J Y, YAN S Y, et al. Cloud Based Web 3D GIS Taiwan Platform[J]. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2012, XXXVIII-6/(1):19-22.
- [12] FUSTES D, CANTORNA D, DAFONTE C, et al. A cloud-integrated web platform for marine monitoring using GIS and remote sensing. Application to oil spill detection through SAR images[J]. Future Generation Computer Systems, 2014, 34(5):155-160.
- [13] 周成虎, 欧阳, 李增元. 我国遥感数据的集成与共享研究[J]. 中国工程科学, 2008(6):51-55, 75.
- [14] 左尧, 王少华, 钟耳顺, 等. 高性能 GIS 研究进展及评述[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(4):437-446.
- [15] 谭娟, 白鹤峰, 陈勇, 等. 开放式遥感数据服务系统架构技术研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2015, 40(7):950-956.
- [16] 刘义, 陈犇, 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.
- [17] 李国庆, 张红月, 张连群, 等. 地球观测数据共享的发展和趋势[J]. 遥感学报, 2016, 20(5):979-990.
- [18] 李国庆, 黄震春. 遥感大数据的基础设施:集成、管理与按需服务[J]. 计算机研究与发展, 2017, 54(2):267-283.
- [19] 任伏虎, 王晋年. 遥感云服务平台技术研究与实验[J]. 遥感学报, 2012, 16(6):1331-1346.
- [20] 徐冠华. 创新驱动—中国 GIS 软件发展的必由之路[J]. 地理信息世界, 2017, 24(5):1-7.