

论地理国情监测的技术支撑

李德仁¹ 眭海刚¹ 单杰²

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(2 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘要:地理国情监测是新时期空间信息科学的重要使命。对地理国情监测的必要性和内容进行了讨论,逐一剖析了空天地一体化遥感技术、全球卫星导航定位技术、网格 GIS 技术、地理信息网络服务、多维时空数据挖掘技术、空间信息云计算技术等在地国情监测中的地位 and 作用、面临的问题和发展建议,以期为全面实现地理国情的定期监测、日常监测和应急监测奠定技术基础。

关键词:地理国情;遥感;卫星导航;网格 GIS;地理信息服务;时空数据挖掘;云计算

中图法分类号:P208

由于自然和人为的因素,人类赖以生存和繁衍的地球及其环境随着时间不断变化,探究、监测与跟踪这一影响人类生活和发展的地球环境变化一直是人类孜孜追求的目标。早在 2 500 年前,古人就提出了“仰以观于天文,俯以察于地理”(见《周易·系辞上》)的理念,可见人类很早就开始了对空间信息的认识、探索和研究。20 世纪,随着人造地球卫星的成功发射,人类第一次能够脱离地球从太空观测地球,当前的高空间、高光谱、多时相、全天候和全天时的空天地遥感对地观测技术将人类赖以生存的地球作为一个整体进行观测和研究,实现了“巡天遥看一千河”的梦想,也使地理国情监测成为可能。

地理国情是指包括国土疆域面积、地理区域划分、地形地貌特征、道路网络、江河湖海分布、土地利用与土地覆盖、城市布局和城镇化扩张、生产力空间布局、灾害分布等在内的自然和人文地理要素在宏观层面的综合表达,是基本国情的重要组成部分。地理国情监测的目标是通过监测地理国情的现状和变化,统计、分析评估地理国情时空特征及发展趋势,形成权威、标准的地理国情监测产品,服务于地缘政治分析与重大国际问题应对、自然资源开发利用与生态环境保护、城乡统筹与区域协调发展、产业布局与空间优化、重大战略与重大工程实施、突发事件与应急处置、国民

地理国情教育等,以提高科学决策、科学发展的水平和能力。其主要任务是自然与人文地理要素信息的动态获取、综合分析 with 评估、产品生产与发布。地理国情监测是地理信息服务的进一步深化发展,在服务内容方面,不仅提供地理要素监测时空数据库,更重要的是提供地理要素的数量与质量统计特征、时空分布模式、发展趋势与演变规律;在服务方式方面,由原来的静态服务转向动态服务;在服务对象方面,由特定机构的专业人员使用向便捷的大众化应用方向发展。

在强大的对地观测数据获取能力和先进的科技力量支撑下,在全球经济一体化的形势下,国外发达国家的地理国情监测范围不再局限于本土,而是扩大到区域或全球尺度。如加拿大从 2007 年开始生产现势的地理国情信息,并使用卫星遥感资料编绘了系列社会经济指统计地图;美国在 2010 年进行地理信息分析和动态监测 5 年计划(2002 年实施)的基础上,提出到 2030 年能每月提交水平分辨率为 2~5 m、高程精度在 10 cm 内的海岸带地形数据等监测结果,精确预测海平面变化及其对海岸侵蚀、海岸生态和可获取淡水量的影响。多年来,我国测绘部门在地理国情、省情的监测及分析方面进行了一些尝试,但主要以探索性工作为主,还未形成规模和体系。2010 年 12 月,李克强副总理对测绘工作作出重要批示,

要求“深入贯彻落实科学发展观,加强基础测绘和地理国情监测”,正式吹响了我国全面开展地理国情监测的号角。

地理国情监测需要综合利用多种数据获取与处理技术进行地理要素的量测及其动态变化的发现、识别、提取与更新;综合运用空间统计分析、时空数据挖掘与知识发现等技术进行地理国情时空特征的综合分析、时空变化评估与趋势预测;通过网络服务、多媒体等技术进行产品的发布与交互。可见,地理国情监测的核心技术体系是通过以遥感、卫星导航定位、地理信息系统(简称3S)技术为依托,集成通信、云计算、物联网、数据挖掘和空间统计学等技术来实现的。

1 地理国情监测的必要性

地理国情是制定国家和区域发展战略与规划、开展国民经济统计、调整经济结构布局、应对突发事件的重要数据基础。在当前形势下提出地理国情监测有其客观的必然性和紧迫性(<http://chzt.sbsm.gov.cn/article/zxgz/dlgqjc>)。

1) 地理国情监测是确保经济持续增长及建设信息化和谐社会的需要。

地理国情作为重要的战略性信息资源,其领域涉及国土与矿产资源、自然灾害与生态环境、地质构造与城市规划、工业、农业、林业、海洋、交通、统计、国防、能源、通信、房产等行业和部门,通过提供及时、动态、科学和定量的地理国情信息,可广泛服务于政府管理决策、基础设施建设、公共安全和卫生、交通运输、应急管理、产业规划布局、生态环境保护等领域,为各级政府制定规划和重大决策提供基础和前提,是实现社会可持续发展的可靠保证;地理国情监测的发展将培育巨大的地理信息服务市场,带动庞大的产业群发展,成为经济增长的新亮点,给国家带来巨大的效益和便利;地理国情为政府、企业和人民大众提供动态地理信息服务,是建设信息化和谐社会的重要内容。

2) 地理国情监测是突发事件应急响应的需要。

当前,人类正面临着人口急剧增加、资源逐渐枯竭、环境日益恶化、灾害频繁发生、恐怖事件愈演愈烈、海上运输航线安全依赖加重、各类社会矛盾不断凸现等严重的社会与经济问题,迫切地开展地理国情的应急监测。但目前地理国情应急反应系统不成体系,数据获取与处理的时效性差、地理国情信息分发传输困难,严重影响事件处置

的决策和执行。如在汶川地震时,由于没有及时有效地进行地震灾情监测,地震3d后才得到房屋倒塌、道路损毁等灾情信息,极大影响了灾情的及时评估和救灾行动。此外,为支援边疆建设,急需对我国国防和敏感地区进行地理国情的动态监测,以有效应对社会突发事件,维护国家安全和社会稳定。

3) 地理国情监测是推动空间信息科学发展的重要手段。

地理国情的事件感知、数据获取、通信传输、信息提取、空间分析以及决策支持等需要将3S各独立技术中的有关部分有机地集成起来,借助通信、云计算和物联网等技术,实现对各种空间信息和环境信息的快速、机动、准确、可靠的收集、处理、更新及预测,这必将加快空间信息科学、计算机网络、对地观测科学、地球科学等相关科学领域的融合和向纵深发展,进一步促进对地观测科学、空间信息科学、环境科学、农学、国土资源科学、国防科学等多学科的实质交叉融合,推动空间信息科学的快速发展。

2 地理国情监测的主要支撑技术

地理国情监测的实施需要利用空天地一体化遥感技术和全球卫星导航定位技术等实现地理国情信息一体化的采集和快速更新;利用地理空间信息网格技术、多维时空数据挖掘技术、空间信息云计算技术等实现地理国情信息的自动化挖掘和量化分析;利用网络地理信息系统技术等进行地理国情的实时发布与交互式服务。

2.1 天空地一体化遥感技术

地理国情监测对象具有区域性、多维结构、时序变化等复杂特征,而且强调地理国情信息获取的时效性和全面性,因此,在很大程度上,对地观测能力的强弱决定了地理国情监测的强弱。卫星遥感是对地观测的重要组成部分,也是国际对地观测技术竞争的关键点之一,当前呈现出“三全”(全天候、全天时、全球观测)、“三高”(高空间分辨率、高光谱分辨率、高时间分辨率)、“三多”(多平台、多传感器、多角度)的发展趋势。由于遥感对地观测具有快速、覆盖范围广、周期性等特点,使其成为最重要的地理国情监测数据获取手段。

然而,即使现有的卫星系统组成卫星星座可以缩短重访周期,如果不与低空和地面传感器相互配合,也无法发现地理国情事件中相互关联的各种整体因素的精细内容,对快速变化的现象

只能观测到事件,而不能有效地分析事件成因,跟踪事件过程,进行真实性检验和预测变化趋势。据预测,全球将有数以千计的卫星传感器、数以万计的低空传感器和数以千万计的地面传感器用于地球观测,但由于传感器缺乏科学布局,传感器信息模型不统一,空天地传感器之间耦合困难,无法满足地理国情的综合性、快速应急响应的需求,因此,需要通过有效地组织和整合观测资源,形成立体交叉的、相互协作的、可扩展的、灵性的网络化空天地一体化对地观测传感网系统,从而构造地理事件、传感器和观测模型相互关联的地理国情监测体系。其中,地理国情事件感知与多传感器协同观测机理是地理国情综合观测的难题。解决的途径是从系统论、控制论、本体论和服务论相结合的角度研究地理国情监测的自适应动态耦合机理、空天地传感器优化观测模型、观测数据在轨处理方法、观测资源网络化理论,将观测资源进行统一描述、虚拟组织和动态布局,建立基于分布式卫星、航空观测平台、地面观测单元的综合观测环境,实现多平台相互关联、传感器联合调度、资源优化组织和协同观测,如封二彩图 1 所示。

传感网环境下的空天地数据融合、同化与协同信息处理是实现快速、精确、全面地获取复杂时空环境下地理国情的有效途径。建立多时-空-谱数据的一体化融合方法,发展对传感网数据与地理国情的多参数联合同化方法,充分研究对地观测传感网的多源数据智能化处理与分析模型,从不同层次、不同角度研究和分析智能化多源数据处理、地理参数提取与变化信息提取的理论与方法。随着激光雷达技术的飞速发展,激光点云和光学影像的融合等多源遥感数据融合技术值得关注。同时,需要大力加强遥感影像反演地理国情要素的方法研究,建立地球系统科学信息系统,实现全球观测海量数据的定量管理、分析与预测,模拟是遥感当前重要的发展方向之一。目前的遥感解译和目标识别并没有通过物理方程反演,而是采用基于灰度加上一定知识的统计、结构和纹理的影像分析方法。为了更好地利用遥感获取地理国情信息,需要重视和加强对定量遥感相关技术的研究。

我国用遥感技术进行地理国情的初始监测已部分实现,但由于我国卫星发展“重上天、轻应用”,现有的数据能及时得到处理的比例仅为 10% 左右,远远不能满足地理国情监测的需要。随着对地观测卫星的陆续发射、轻小型低空遥感平台的日趋成熟、激光雷达的广泛应用和移动测图系统的快速发展,数据处理能力不足的矛盾将

更加突出。如何有效、自动地对获取的大量对地观测数据进行快速处理和信息提取,成为地理国情监测亟待解决的重大科学问题,急需系统地发展时态数据变化检测、快速数据融合、目标参数定量反演等地理国情数据处理与信息提取的方法。

多时相遥感数据变化检测是地理国情实现动态监测的关键。多传感器获取的手段使得数据选择和辐射校正成为重要的关注点,可供变化信息提取的特征越来越多,如何合理高效地使用这些特征成为当前的难题;对象级变化检测技术逐步取代像素级成为主流的变化检测技术,多源影像特别是异源影像的配准和变化检测技术已成为地理国情应急监测的急需,真正意义上的自动化、实时化、在轨化和智能化变化检测还面临许多关键难题,其问题的核心是缺乏可靠的理论基础和评价标准,这需要深入研究^[1]。

2.2 全球导航卫星系统(GNSS)技术

GNSS 发展于 20 世纪 80 年代,目前已形成美国的 GPS 系统、俄罗斯的 GLONASS 系统、欧盟的 Galileo 系统以及中国的北斗全球卫星导航系统“四足鼎立”的局面。GNSS 导航系统可以形成增强系统,它通过在广域或局域内对 GPS 信号进行监测,得到差分信息及连续性、可用性、完好性的信息,再通过卫星或其他途径广播给用户,达到高精度和高可靠性的目的,如日本的 QZSS 和 MSAS、印度的 IRNSS 和 GAGAN 系统等。卫星导航只有发展增强系统,才能最终实现高精度导航定位,所以美国以外的国家与地区在发展卫星导航时,都首先发展利用 GPS 的本地区增强系统^[2]。GNSS 导航系统还可以形成多星增强系统,它通过多频接收机同时接收上述四类全球卫星导航系统的信号,通过数据的集成处理可以获得更好的导航和定位效果。

GNSS 应用于地理国情监测测绘基准服务、空间定位服务和与多种国情监测技术的集成融合服务等方面,可为监测工作提供平台和手段。针对地理国情监测指标体系中确定的监测对象和目标,采用不同的 GNSS 监测技术可获得科学、客观、准确的统计信息。如对具备 GPS 连续观测站网的监测地区,可利用 GPS 技术进行高精度的定位与地表形变观测;利用在飞机上装载差分 GPS 和 IMU 构成的组合导航系统(简称 POS 系统)可以获得摄影相机的外方位元素和飞机的绝对位置,以直接用于航测内业的像片定向,从而使实时测图和实时数据更新成为可能;基于位置的服务(location based service, LBS)可以通过 GPS 定位

获取移动终端用户的位置信息(地理坐标或大地坐标),实现各种与位置相关的业务。近年来,特别引入注目的是车载移动测量系统的发展,它是在机动车上装配 GPS 和 INS/DR 惯性导航系统或航位推算系统、CCD 和视频成像系统、LiDAR 激光雷达等传感器和设备,在车辆高速行驶中,快速采集道路及两旁地物的可量测立体影像序列(digital measurable image, DMI)和激光点云,可获取监测地区的可量测实景影像产品和三维模型;将移动道路测量系统获取的地面可量测数字立体影像(DMI)与传统的 4D (DEM、DOM、DLG、DRG)数据产品进行一体化无缝集成、融合、管理和共享,则可提供各种集成服务,可用于地理国情基础数据库的更新、数据质量检查等。如封二彩图 2 所示为车载移动测量系统及其在 5.12 汶川地震中的应用。

纵观卫星导航系统的发展可以看出,卫星导航系统正朝着如下方向发展:① 向着高精度、高可靠性发展。如海上资源勘察需要 1~5 m 的实时精度,而现有的卫星定位精度是 10 m 左右;此外,航空、航海等一些与人身安全密切相关的应用对可靠性提出了很高的要求(0.999 以上)。② 更加强调抗干扰性和反利用能力。卫星导航系统已经成为了重要的空间应用系统,它关系到人身以及国家的安全,需要极高的可靠性、强大的抗干扰、抗攻击能力。③ 向综合功能型方向发展。导航定位已从单纯的定位、测速和定时服务朝着可提供定位、测速、定时、测姿、测向、实时位置回传与短信传输等导航通信的一体化方向发展。

对于卫星导航精确定位技术,其研究热点仍是精密单点定位技术(PPP)和网络 RTK 技术^[3]。PPP 是实现全球精密实时动态与导航的关键技术,是 GPS 定位的前沿研究方向,它通过使用双频接收机并采用相位观测值提高差分改正数精度的方法,使得实时动态定位精度达到 dm 级水平,事后定位精度可达 cm 级水平。精密单点定位的关键问题是:① 定位过程中需要同时采用相位和伪距观测值;② 卫星轨道精度需要达到几 cm 水平;③ 卫星钟差改正精度需要达到亚 ns 量级;④ 需要考虑更精确的其他误差改正模型。网络 RTK 也叫基准站 RTK,是近年来在常规 RTK 和差分 GPS 基础上建立起来的一种新技术。目前的网络 RTK 技术主要有 VRS、FKP 和 CBI 三种,近年来又出现了一种主副站技术。其实质都是利用基准站网的数据尽可能准确地模拟或消除用户位置的定位误差,从而提高用户的实时定位精

度。通过云计算和 3G 通信,可以随时为地理国情监测员的手持终端提供优于 1 m 精度的点位。

2.3 网格 GIS 技术

地理国情监测形成的数据覆盖国土资源、矿产资源、自然灾害、生态环境、地质构造、城市规划、经济社会规划、工业、农业、林业、海洋、交通、铁道、统计、国防、能源、通信、房产等不同行业的不同部门,要在此基础上统计分析形成统一的监测结果,面临数据共享和互操作、信息深加工、高性能大容量分布存储和分布处理能力的难题,网格计算和网格 GIS 为此提供了强有力的技术支撑。

网格地理信息系统(Grid GIS)是将地理上分布、系统异构的各种计算机、空间数据服务器、大型检索存储系统、地理信息系统、虚拟现实系统等通过高速互联网络连接并集成起来,形成对用户透明的虚拟的空间信息资源的超级处理环境,它是利用空间信息网格技术将多台地理信息服务器构建成一个网格环境,而空间信息网格(spatial information grid, SIG)是一种汇集和共享地理上分布的海量空间信息资源,对其进行一体化组织与协同处理,从而成为具有按需服务能力的空间信息基础设施。封二彩图 3 所示为一个基于网格 GIS 平台的地理国情监测服务示例。

传统的空间信息网格划分在技术层面上更多地用于解决 GIS 空间定位、空间检索机制的网格划分,对于解决当前在云计算环境下空间数据和信息的资源共享、协同利用和地理国情监测服务的问题是远远不够的。为了解决此问题,笔者提出了一种适合网格计算环境下空间信息多级格网(spatial information multi-grid, SIMG)划分方法。它既是空间位置的划分方法,也是特定空间位置范围内自然、社会、经济属性的信息载体,同时也是适合时空坐标系变化的空间信息的一种新的表示方法,是为了更方便地在网格计算环境下实现对空间信息资源的整合、共享与利用,实现将 SIMG 的空间划分、空间数据组织与表示方法作为网格节点上空间数据组织与管理的基础。其最主要而且最有效的应用应当是地理国情监测中的自然、经济、社会发展信息的及时获取、分析和在宏观决策中的应用。如 SIMG 可用于人口普查建立的一个带有空间信息编码的人口普查多级网格系统(spatial information multi-grid for population census, SIMGPC),它以不同的网格形状和不同层次的网格大小来开展人口普查和进行统计分析,其优点是多级网格调查的数据可以作统计分析,可以方便地表示在一张专题图上。

SIMGPC 所需的网格划分的尺度根据实际地物的密集程度来确定,如地物稀疏的地方(如沙漠)只需要高层粗网格,而地物密集的地方(如城市)同时具有从高层次到低层次的不同粗细网格^[4]。

就目前网格 GIS 的发展来说,其关键技术在于:① 中间件技术。它是处于操作系统和应用程序之间的软件,是网络系统中连接上层应用和下层资源的纽带,提供对网格的管理功能。② 地理标记语言 GML。它在网络空间地理信息应用领域的地位如一个深层驱动力,将地理信息系统的核心——地理特征采用 XML 的文本方式进行描述,并能对网络地理信息系统的各功能部件之间的空间信息传输、通信提供强有力的技术支撑。③ 分布对象技术。空间服务的载体是空间对象,网络环境中的空间服务需要分布对象的支撑。④ 构件与构件库技术。构件是对服务对象的大粒度封装和复用技术,它可以有效地提高软件开发的质量。⑤ 空间数据与非空间数据的集成技术。如利用土地利用的空间分布数据可以将人口和经济等非空间数据合理地分配到空间网格中。

虽然国家在 Grid GIS 研究方面给予过支持,但 Grid Service 和 Grid GIS 的技术实现还有许多问题需要更深入的研究。如各专业领域应用网格环境构建与各类节点部署;服务如何注册,用户如何申请、发现和获得服务;服务如何管理和组织;Grid GIS 的中间件技术;服务工作流建模和服务链自动构建;Grid Service 标准化和规范化等。以提供地理空间信息综合服务为核心和最终目标的基于 Grid Service 的 Grid GIS 是社会需求和 GIS 理论、方法和技术发展的必然趋势。

2.4 地理信息网络服务

地理国情监测信息的共享和发布是关系国民经济与社会发展、重大工程与突发事件应急决策等的重要因素,它主要通过新闻媒体、互联网等媒介进行信息共享和发布,包括统计数据、图表、地图、影像、视频动画、语音、文字报告等基本形式。GIS 与网络技术的结合即网络 GIS,为地理国情信息的共享与发布提供了技术支撑。网络 GIS 利用网络优势向用户提供超媒体、交互式、分布式的空间信息,使得处理海量空间数据的方式从原来的集中、独占走向分布、共享。地理信息系统的网络化使 GIS 由单机版发展到网络版,其应用扩展到了各个领域,出现了大量不同类型分布异构的地理信息系统,导致信息不能共享,系统之间不能互联互通,造成重复建设、应用效率低,不能解决重大的复杂问题。Web Service 新技术的出现

为解决目前 GIS 面临的问题创造了条件,在网络世界中,利用网络提供地理信息服务成为主要服务模式^[5]。

目前,三维化是地理信息网络服务发展的主要趋势,分布式虚拟 GIS 与三维虚拟地球技术成为研究的主流方向,三维化(直至多维化)必将导致地理信息网络服务的进一步普及和服务内容的变化。三维虚拟地球技术需要突破的 4 个关键问题是:① 数据管理问题,即多源、多尺度、海量空间数据的高效组织与异构虚拟地球数据共享;② 数据调度问题,即对各种分布式空间数据进行统一索引与协同调度;③ 数据传输问题,即在有限带宽条件下实现空间数据的高效传输与实时可视化;④ 信息集成问题,即解决分布式异构系统之间的数据集成和软件共享与互操作的问题^[6]。

随着计算机技术和地球空间信息技术的发展,地理信息网络服务将呈现三个发展阶段:地理信息数据网络服务;地理数据与处理功能的网络服务;地理数据实时获取、处理与应用的一体化服务。以 GoogleMaps/GoogleEarth、WorldWind、Bing Map、天地图等为代表的在线地理信息网络服务给用户带来了全新的体验,受到了普遍的欢迎。在线浏览的核心是服务端的在线数据服务,地理空间信息在线服务使用户可以根据自身的需要以更加灵活的方式利用地理信息。它向用户提供的不是一个完整的数据产品,而是根据用户的指令提供一系列对数据产品进行在线处理、分析后的结果。其最大的特点是向用户提供个性化的地理信息服务,不同需求的用户得到不同的结果,具有高度的灵活性。随着应用的深入,地理信息在线服务在地理信息网络分发服务中扮演越来越重要的角色。为了打破国外软件在该领域的垄断地位,武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室自 2004 年开始自主研发 GeoGlobe 软件,在数据模型、网络服务、场景调度与渲染和多源数据集成等方面进行了研究,提出了一系列原创性的方法与技术,成功应用于国家、省、市多级地理信息共享服务系统和军事指挥系统,并被选作国家地理信息公共服务平台——天地图(<http://www.tianditu.com>)的核心支撑软件。封二彩图 4 为我国国家地理信息公共服务平台二维及三维演示示例图。

2.5 空间信息云计算

自从 2001 年 Google 在搜索引擎大会首次提出云计算(cloud computing)的概念后,云计算技术的发展十分迅速,并在商业上取得了很大的成功。Google 发展云计算的初衷是由于其网络搜

索需要大量廉价的计算和存储资源。为了降低计算与存储成本,Google研发了多种数据处理和存储技术,包括分布式文件系统 Google File System、并行计算框架 MapReduce、分布式数据库 BigTable 以及云计算管理与调度技术等。这些技术奠定了之后云计算发展的技术基础。跟随 Google 之后,各大信息技术厂商如亚马逊、微软、惠普、雅虎、IBM 等公司都推出了各自的云计算发展规划和解决方案。普遍认为,云计算是基于集中的可按需定制的计算资源,为网络用户提供高度可扩展的服务。使用云计算应成本较低,访问和管理便捷。云计算的本质是服务,即在基础设施 (infrastructure as a service, IaaS)、平台 (platform as a service, PaaS) 和软件 (software as a service, SaaS) 三个层次上提供服务。云计算是直接面向应用的商业概念,可以为用户提供按需定制的计算、存储、网络等硬件和服务等软件资源,并灵活收取费用。云计算提供商可为各种规模的用户提供数据、服务等托管运维服务。云计算的优势还包括用户可在云平台上快速开发与部署网络应用,最大限度地实现信息的共享。

地理空间信息系统向着网络化、规模化、虚拟化、服务化和时空化的方向发展,地理国情基础数据的管理规模可达到 PB 级以上,用户数实时在线操作达到了百万级,云计算技术为解决当前困境提供了全新的途径。空间信息云计算可为各种时空决策应用提供强大的技术支持,以较低的单位资源使用成本部署和快速的地理数据处理能力提供更加灵活的地理信息服务。图 1 显示了基于空间信息云计算的地理国情监测平台框架,在现有分布式计算的基础上,继续研发体现地理计算特点的各种云地理计算开发、测试、运维、部署技术。传感网络采集到的各种地理时空数据存储存在云地理数据中心。云数据中心主要包括地理信息计算云和时空数据存储云,提供海量时空数据的存储和技术的硬件基础设施。在数据中心的支持下,云地理计算平台将针对云地理计算的特点,实现包括云地理计算中间件、虚拟地理计算集群的建立和管理、地理资源伸缩、矢量和栅格数据海量云存储等关键技术,并在此框架下支持开放的地理计算算法研发与部署,并实现云地理信息服务的在线发现与实时组合。通过云地理信息服务安全策略,在“软件即服务”(SaaS)层次,提供各种满足决策需求的数据、制图与可视化和分析计算服务。最终用户通过交互易用的云客户端来使用云地理计算服务和资源。

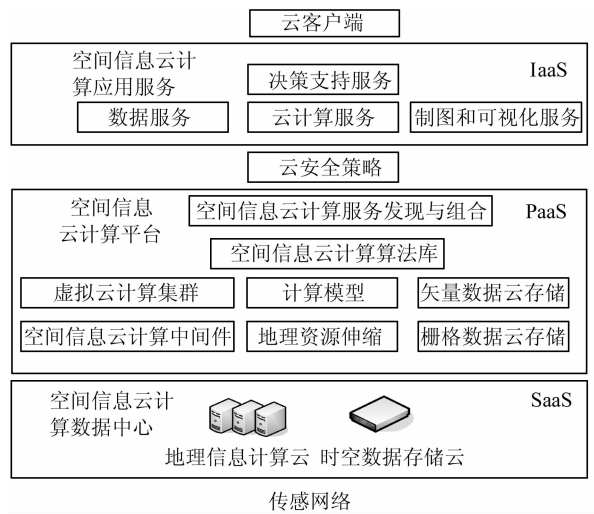


图 1 基于空间信息云计算的地理国情监测平台框架
Fig. 1 Geographical Conditions Monitoring Framework
Based on Cloud Computing

地理国情监测要利用空间信息云计算技术,以应用为切入点,聚合更多资源,以缓解超海量多源数据与存储、计算能力的矛盾。近期 ESRI 公司发布了 Living Maps 云智能网络地图,ERDAS 公司发布了按需收费的 Apollo 云遥感信息服务。武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室也在抓紧研制 OpenRS 遥感云计算网络服务平台 (<http://www.openrs.org/wiki/>), 能为用户提供摄影测量和遥感的图像处理、目标分类和信息提取 (见封二彩图 5)。空间信息云计算需要特别注意地理空间数据与服务的安全,根据数据和服务的涉密层次以及用户权限,需要设计和实施不同层次的访问控制、单点登录管理以及数字地图水印等技术。同时在云计算平台上直接使用存储地理空间数据进行地理计算需要考虑时空数据的特点,应研发空间信息云计算中间件,提高存储访问效率,降低运维成本,简化研发步骤。云计算技术可作为空间信息产业链的重要基础设施,支持高分辨率对地观测系统的数据存储、分析和高效信息服务。

2.6 时空数据挖掘技术

地理国情监测数据的综合分析与评估主要以基础地理信息数据库为本体,基于空间统计分析等相关技术,开展诸如全国国土面积、海岸线长度等数量统计;分析地形地貌、地表覆盖、水系流域、交通境界、居住区域等要素现状数据,把握地理国情空间分布格局;结合动态变化监测数据,深入分析地理国情动态变化监测的过程信息,挖掘地理国情动态变化的趋势和规律;融合其他部门信息开展灾害应急、重大工程布局、产业优化布局辅助决策支持应用。面临众多地理国情监测数据且知

识缺乏的情况,需要时空数据挖掘技术的支持。

时空数据挖掘是指从时空数据库中提取用户感兴趣的时空模式与特征、时空与非时空数据的普遍关系及其他一些隐含在数据库中的普遍的数据特征。时空数据挖掘的理论研究主要受到空间数据挖掘和时态数据挖掘研究的影响。其中,空间数据挖掘和知识发现(spatial data mining and knowledge discovery,SDMKD)就是从空间数据中提取隐含其中、事先未知、潜在有用、最终可理解的空间或非空间的一般知识规则的过程。不同于普通的数据挖掘与知识发现,它的对象是空间数据库或空间数据仓库,有别于常规的事务型数据库,比一般数据挖掘的发现状态空间理论增加了尺度维(scale)。它是一种知识决策支持技术,重在从空间数据中挖掘未知却有用的最终可理解的知识提供给空间决策支持系统。机器学习侧重于设计新的方法从数据库中提取知识的技术行为,而SDMKD是从已经存在于空间数据库中的数据内挖掘知识的过程。与传统的地学数据分析相比,SDMKD更强调在隐含未知的情形下对空间数据本身分析上的规律挖掘,空间知识分析工具获取的信息更加概括、精练。高于空间数据库的空间数据仓库遵循一定的原则,用多维数据库来组织和显示数据,将不同数据库中的数据粗品汇集精化成为半成品或成品(数据件),稍加整理可被直接用于SDMKD。

目前,可用于空间数据挖掘的理论方法很多,包括概率论、证据理论、空间统计学、规则归纳、聚类分析、空间分析、模糊集、云模型理论、粗集、神经网络、遗传算法、可视化、决策树、空间在线数据挖掘等,寻找合适和可靠的理论方法,基于多个不同的视角,从地理国情监测数据中挖掘知识,为国家有关部门的决策提供空间支持。如云模型可以在精确的定量数据和不确定性的定性思维概念之间实现自由的相互转换;粗集可用于地理国情监测数据的属性分析和知识发现,如根据经过归纳的位置、地势及公路网密度的关系来分析属性依赖和属性的重要性,进而精练和保留决策表中的关键内容,决策结果不变,而决策速度加快;空间统计学可以用来对地理国情监测数据中的特征规则进行挖掘,如描述我国行政区划的空间层次,根据区域的划分描述收入的总体模式等^[7]。

SDMKD具有广泛的应用前景和潜在的综合效益,随着空间数据量的增加及软硬件技术的发展,其应用正日益渗透到人们认识和改造空间世界的各个学科,如地理信息系统、信息融合、遥感、

图像数据库、医疗图像处理、导航、机器人等使用空间数据的领域。SDMKD发现的知识将会促进这些学科的自动化和智能化,但SDMKD毕竟是空间信息科学的新兴领域,目前只是取得了一定的初步成果,仍有大量的理论与方法需要深入研究,其中主要包括多源空间数据的清理、基于空间不确定性(位置、属性、时间等)的数据挖掘、递增值式数据挖掘、栅格矢量一体化数据挖掘、多分辨率及多层次数据挖掘、并行数据挖掘、新算法和高效率算法的研究、空间数据挖掘查询语言、遥感图像数据库的数据挖掘、多媒体空间数据库的知识发现、网络空间数据的挖掘等方向。开发实现SDMKD理论和方法的计算机软件系统时,还要研究多源空间数据的集成、多算法的集成、存储空间和计算效率的降低、人机交互技术、可视化技术、SDMKD系统与地理信息系统、空间数据仓库、空间决策支持系统和遥感解译专家系统的集成等问题。

3 结论与展望

地理国情监测是一项长期艰巨的工程,技术和政策的发展与改进对地理国情监测具有重要的意义。在技术方面,通过多学科联合,进行空天地多平台、多传感器的协同观测,实现空天地一体化观测,拓宽测绘技术的手段和数据获取的范围;充分利用先进卫星定位技术手段建设全国统一和共享的卫星导航定位服务“一个网”,提供高精度、高效率的导航定位服务;加快国家地理信息公共服务平台建设,把“天地图”打造成国际一流的地图服务网站,尽快建成可为各类用户提供全国乃至全球地理信息“一站式”服务的“一个平台”。

在政策方面,首先应积极吸取有关部门的成功经验,尽快出台加快推进地理国情监测的指导意见,为全面实施地理国情监测提供体制机制保障。其次,要加快研究制定地理国情监测的技术标准、基准和统计指标体系,为全面推进地理国情监测工作提供标准保障。另外,在部分有特点的省、市进行示范引导,形成地理国情监测的技术路线、监测内容、标准、制度、体制机制等方面的示范成果,为全面推进地理国情监测提供经验。最后,地理国情监测的对象分布面广、空间跨度大、实施难度大,因此,必须加强地理国情监测的相关技术系统的建设。

4 后 记

2012年5月18日是王之卓先生逝世10周年

纪念日, 适逢武汉大学遥感信息工程学院开设地理国情监测新专业, 测绘学科将有新的拓展。我们不禁想到当年先生发展测绘学科的思想: “我们学测绘的人, 在本身学术方面立定了根基之后, 还需要有推动事业的认识和精神。”(1943年3月, 《同济测量系的使命》) 以及“测绘专业所涉及的内容越来越丰富, 其产品的品种日益繁多, 服务面也逐渐广阔。测绘已不再只是为社会提供点的空间坐标与图件, 而是要能够为社会生活和经济生活提供多种自然信息和社会信息, 测绘的社会功能有显著的扩展。同时, 社会上对提供信息的要求往往十分急迫, 有时甚至是实时的。测绘工作的范围可以说包括从宇宙天体到物质的分子水平, 从经济建设到人民生活, 从社会到文化教育事业各个领域。”(1992年在第一届海峡两岸测绘学术交流会的报告, 引自《资深院士王之卓》一书第345页)。今天重温这些论述, 格外令人深思, 也倍感先生当年之远见卓识。谨以此文缅怀和纪念王之卓先生!

参 考 文 献

[1] Sui Haigang, Zhou Qiming, Gong Jianya, et al. Processing of Multitemporal Data and Change De-

tection[M]. Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. London: Taylor Francis, 2008:227-257

[2] 技术预见报告编委会. 中国科学院科学与技术预见系列报告之二[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 427-434

[3] 中国测绘学会. 测绘科学与技术学科发展报告[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2010

[4] 李德仁, 邵振峰, 朱欣焰. 论空间信息多级格网及其典型应用[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2004, 29(11): 946-950

[5] 李德仁, 朱庆, 朱欣焰, 等. 面向任务的遥感信息聚焦服务[M]. 北京: 科学出版社, 2010

[6] 龚健雅, 陈静, 眭海刚, 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

[7] 李德仁, 王树良, 李德毅. 空间数据挖掘理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006

第一作者简介: 李德仁, 教授, 博士生导师, 中国科学院院士, 中国工程院院士, 国际欧亚科学院院士。主要从事以 RS、GPS 和 GIS 为代表的空间信息科学与多媒体通讯技术的科研和教学工作。

E-mail: drli@whu.edu.cn

Discussion on Key Technologies of Geographic National Conditions Monitoring

LI Deren¹ SUI Haigang¹ SHAN Jie²

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: The geographic national conditions monitoring is an important mission of the spatial information science in the new era. In this paper, the necessity and contents of the geographic national conditions monitoring are discussed. Moreover, the role and difficulties of corresponding key technologies, including multi-platform remote sensing, global satellite navigation and positioning, grid GIS, geographic information network services, multi-dimensional spatio-temporal data mining and cloud computing, are deeply analyzed. Finally, some proposals are given for routine monitoring and emergency monitoring of the geographic national conditions.

Key words: geographic national conditions; remote sensing; satellite navigation; grid GIS; geographic information services; spatio-temporal data mining; cloud computing

About the first author: LI Deren, professor, Ph.D supervisor, Academician of Chinese Academy of Sciences, Academician of Chinese Academy of Engineering, Academician of Euro-Asia International Academy of Sciences. He is concentrated on the research and education in spatial information science and technology represented by RS, GPS and GIS.

E-mail: drli@whu.edu.cn