

面向实时应用的遥感服务技术

李德仁^{1,2}, 丁霖¹, 邵振峰²

1. 武汉大学 遥感信息工程学院, 武汉 430079;

2. 武汉大学 测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079

摘要: 当前中国卫星事业正面临着难得的发展机遇, 以应用需求为牵引, 着力提升卫星遥感的服务能力, 充分发挥卫星的应用效益, 突破通信、导航、遥感卫星的系统壁垒, 构建通导遥一体化的天基信息实时服务系统, 提供全天候、全天候、全地域的面向实时应用的服务。本文首先分析了天空地海对地观测传感网实时服务能力, 接着阐述了遥感技术实时应用服务需求(抗震救灾遥感高时效性服务需求、地表形变遥感监测需求、大众实景服务需求等), 剖析了基于人工智能的遥感在轨处理技术, 最后论述了遥感技术从最初提供数据和信息向提供实时服务的转变趋势。

关键词: 遥感, 天空地海对地观测传感网, 实时应用服务, 人工智能在轨处理

引用格式: 李德仁, 丁霖, 邵振峰. 2021. 面向实时应用的遥感服务技术. 遥感学报, 25(1): 15-24

Li D R, Ding L and Shao Z F. 2021. Application-oriented real-time remote sensing service technology. National Remote Sensing Bulletin, 25(1): 15-24 [DOI: 10.11834/jrs.20210260]

1 引言

20世纪人类文明的一个重要标志是人们首次能够从遥远的太空观测地球。全世界大约有60个国家和地区的1100多家航天公司参与研发、制造、部署和运营各种军民商用卫星系统, 200多个国家和地区已经在利用通信、导航、遥感卫星的成果。中国航天事业发展40多年来, 遥感卫星从无到有, 逐渐发展, 形成多种卫星系列, 通信卫星系列、导航卫星系列、对地观测卫星系列和科学与技术试验卫星系列构成了当前中国的应用卫星体系, 并且在国土资源、气象服务、环境监测、海洋遥感等领域形成了稳定的业务用户群, 为中国卫星应用的发展奠定了基础。

当前, 通信、导航、遥感卫星系统各成体系, 已经无法满足大数据时代广大用户的实时化、智能化、多元化的需求, 也难以实现市场化和国际化。除了国土、测绘、规划、地矿、农业、交通、海洋等行业应用领域, 国防建设、地方政府、大

型企业集团乃至互联网服务、公众生活应用都对卫星遥感导航数据及服务, 特别是高分辨率卫星遥感数据及服务表现出了大量而迫切的需求。不同行业、不同领域的用户对遥感数据产品需求从单一化、标准化逐步向多样化、专题化, 从静态调查到动态监测、预测和预报, 从定性分析到定量研究, 从一般性应用到批量业务化运行转变。因此, 基于“一星多用、多星组网、多网融合、智能服务”建设通信、导航、遥感一体化的天基信息实时服务系统PNTRC (Positioning, Navigation, Timing, Remote sensing, Communication) (李德仁, 2017) 已成为当代空天信息技术发展的重要方向。在5G、物联网、大数据和人工智能时代, 人们对B2B、B2G和B2C的遥感信息服务提出了“快、准、灵”的强烈需求, 研究面向实时应用的遥感服务技术势在必行。

2 天空地海对地观测传感网实时服务能力

目前, 中国在轨运行的空间飞行器超过300颗,

收稿日期: 2020-07-10; 预印本: 2020-10-02

基金项目: 国家重点研发计划战略性国际科技创新合作重点专项(编号: 2016YFE0202300); 中国工程院咨询研究项目(编号: 2020ZD16); 国家自然科学基金(编号: 41771454); 湖北省自然科学基金计划创新群体项目(编号: 2018CFA007)

第一作者简介: 李德仁, 1939年生, 男, 教授, 中国科学院院士, 中国工程院院士, 国家欧亚科学院院士, 研究方向为以RS、GPS和GIS为代表的空间信息科学的科研教学。E-mail: drli@whu.edu.cn

涵盖通信、导航、遥感、载人航天等多个领域。但是由于系统间存在相对孤立，现有的卫星网络系统已经不能满足人们对服务的实时化、综合性需求，具有多种功能、轨道互补、智能化程度高、可自主运行、便于扩展的异构卫星组网成为新的发展方向（李德仁，2012）。

基于卫星物联网载荷和终端设备，将各类传感器接入卫星物联网，卫星成为物联网中心的一个传感器（Goodchild，2007），组建天空地海对地观测传感网。这种高度综合的异构网络系统打破

了原有系统间的数据共享壁垒，能够实现轨道资源、传感器资源、通信资源等各种资源的综合、高效利用，不仅可以提供一体化的侦察、导航、作战指挥等服务，也可以为海陆空通信、导航、应急救援、海洋气象预报、农林牧渔等提供全方位、实时化的保障。天一空一地一海跨维度服务将成为未来全方位服务的主要形式，天空地海对地观测传感网如图1所示。这样的传感网系统能提供米级、亚米级和厘米级的几何精度，乃至毫米级的形变监测精度。

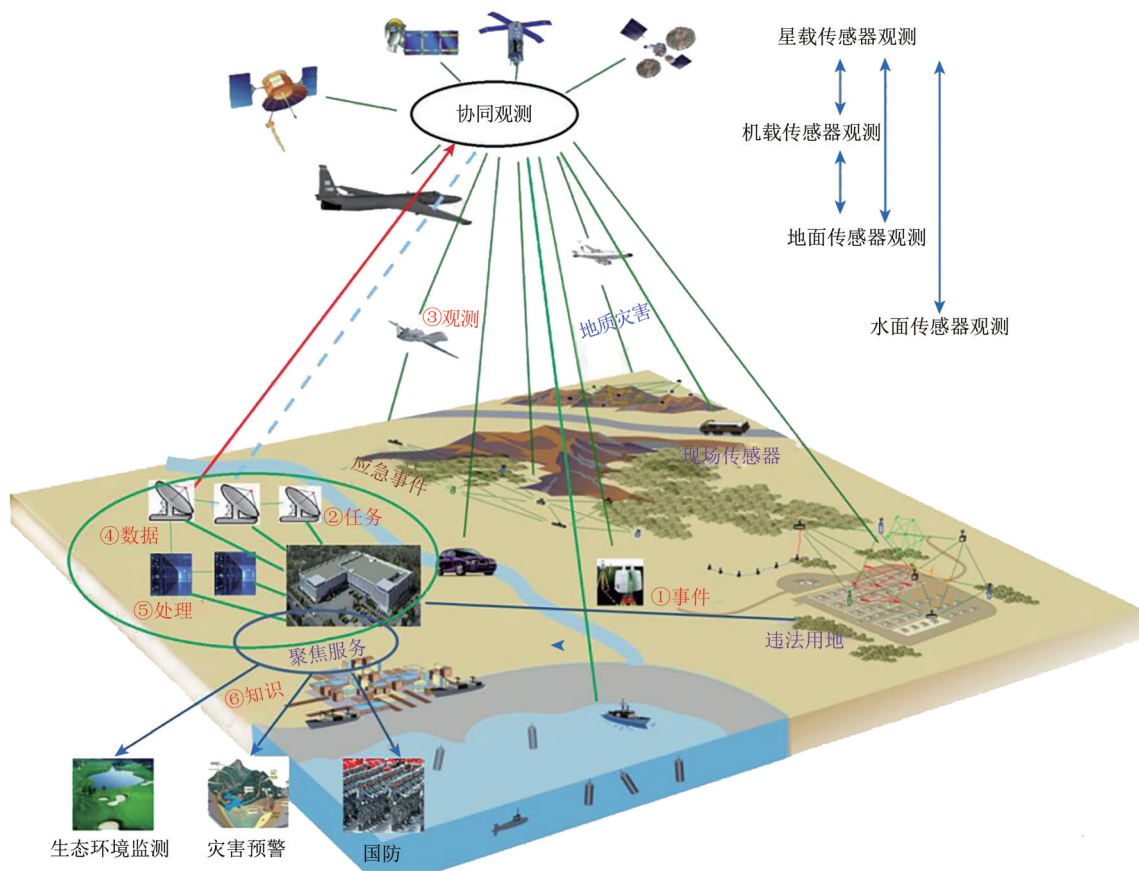


图1 天空地海对地观测传感网概念图(改自Li等,2012)

Fig.1 Concept map of Space-Air-Ground-Sea Integrated Earth Observation Network (Modified from Li et al., 2012)

3 遥感技术实时应用服务需求

以美国为首的遥感强国纷纷加快天基信息化装备的研发与应用进程，夺取空间信息优势。作者在2017年分析了中国军民融合战略的背景和天基信息系统发展的现状，阐述了建设军民融合卫星通信、遥感、导航（通导遥）一体天基信息实时服务系统的重大战略意义，提出了中国定位、导航、授时、遥感、通信（PNTRC）一体的天基

信息服务系统建设构想，对中国PNTRC系统的发展进行了展望。武汉大学“珞珈一号”科学试验卫星旨在通过研制发射多颗具备星基导航增强能力的对地观测低轨卫星，开展天基信息实时智能服务系统研究（李德仁等，2019）。

当前航天技术发展迅猛，已广泛应用在国家军民信息建设中，PNTRC系统是国家信息化建设的重要基础性设施，它通过运行在外空间的星载资源实现信息的获取、传输、处理及分发等功能，

获取全球范围内近实时的态势感知情报。在天基侦查预警方面，美国先后提出了“国防支援计划”、“天基红外系统计划”等，天基预警卫星系统通过搭载红外感应器，用于监测空间飞行器、弹道导弹的发射等。同时构建了天基空间监视系统，美国启动了“天基空间监视系统计划”，相继发射了多颗监视卫星，可以在地球近地轨道实现对空间目标的监视任务。

美国在遥感卫星领域占据着领先的位置，拥有“锁眼 (KH)”、“地球之眼 (GeoEye)”、“世界观测 (DigitalGlobe)”、“鸽群 (Flock)”等卫星星座。美国对地观测卫星系统已经形成了较为完善的对地观测运行控制机制和管理体系，涵盖测控管理、数据接收和管理分发、应急调度等，广泛应用于政治、军事、经济建设、防灾减灾、环境监测、科研等领域。

3.1 抗震救灾遥感高时效性服务需求

地震灾害具有瞬时突发性，破坏力极强。一次强烈的地震一般持续时间只有几十秒，但是在短时间内产生巨大的破坏力，造成大量的房屋倒塌和损坏以及人员伤亡。同时，强烈地震的发生总是会伴随着密集的余震，增大了引发次生灾害的可能性，因而，在地震发生后，迅速开展抗震救灾应急救援工作，能够在一定程度上减轻地震灾害带来的损失，从而达到有效减灾的目的。

目前遥感技术对于抗震救灾等灾害应急的实时服务还有较大差距，需要加速推进天基信息实时智能服务系统 (PNTRC) 建设 (眭海刚等, 2019)。PNTRC 系统包括资源服务、功能服务和应用服务 3 个层次。具体到综合防灾减灾，资源服务是针对灾害应急所需的各类空间数据，通过各软硬件资源和虚拟化技术提供存储、计算、迁移、交换、备份和共享服务等。功能服务，是灾害应急服务的核心部分，包括运行管理、数据接入、资源调度和数据智能管理，模拟仿真、三维可视化、位置服务和数据处理、数据同化、空间分析、信息服务等。应用服务是指在资源服务和功能服务的基础上，按照接口标准和用户需求对相关服务进行定制和集成，为灾害应急处置与综合减灾提供应用服务支撑。图 2 是基于无人机遥感的灾害

应急响应，通过无人机快速获取灾害地现场影像，实时匹配后生成正射产品，提供灾害地 3 维实时展示和目标变化检测。如果具备灾区灾害发生之前的数字正射影像和数字地图产品，利用人工智能算法，可在半分钟之内获取实时灾情，甚至边飞行、边处理、边服务。

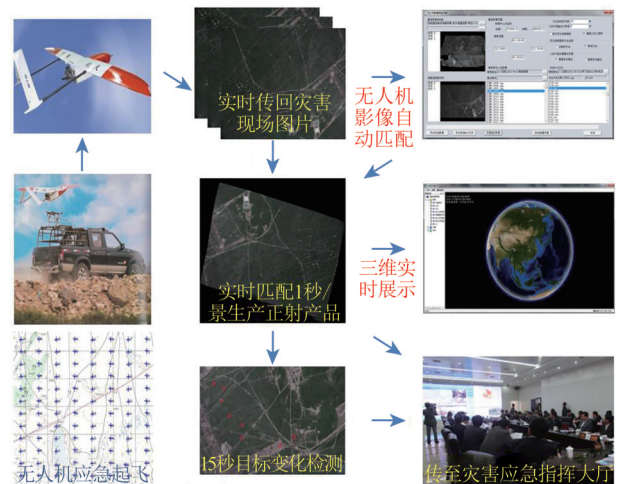


图 2 基于无人机遥感的灾害应急响应

Fig.2 Disaster emergency response based on UAV remote sensing

3.2 地表形变遥感监测需求

形变监测主要包括城市、工矿区等地面沉降监测和工程建筑物 3 维变形监测、滑坡体滑动监测 (唐尧等, 2019) 等，其中最具代表性的变形体主要包括高层建筑、桥梁、大坝、矿区地表、隧道等。超大城市在经济高速增长的同时，需要承载越来越多的人口和超常的经济社会活动，因而会带来一系列城市病。超大城市的地面沉降问题日益凸显，目前全世界有超过 150 个主要城市面临着地面沉降问题，在中国有超过 50 个城市发生了地面沉降。

图 3 是北京市 2003 年—2010 年地面沉降的时空演化过程，从图中可以发现地面沉降量呈现逐年增大的趋势。该研究由首都师范大学完成，采用 Envisat ASAR 影像 (2003 年—2010 年) 和 TerraSAR-X 影像 (2010 年—2011 年)，利用 InSAR 时序分析监测地面沉降情况 (Chen 等, 2016)。

据统计，20 世纪 90 年代初，上海、北京、天津、江苏、河北、浙江等 16 个省 (市、区) 地面沉降面积约为 48700 km²，到 2003 年已达到 93855 km²。

地面沉降会对高层建筑物、轨道交通、地下管线及其他基础设施带来巨大的安全隐患。由于地面沉降具有区域性、累加性和不可逆性，积极做好控制工作显得尤为重要，开展地面沉降的监测可以为控沉减灾提供必要的信息支撑。快速城市化

和地下水的过度开采以至于地面沉降频发，中国超大城市近年地面沉降速率如表1所示（以北京、上海为例）。为此，自然资源部已将建设中国地表形变一张图列入行动计划。

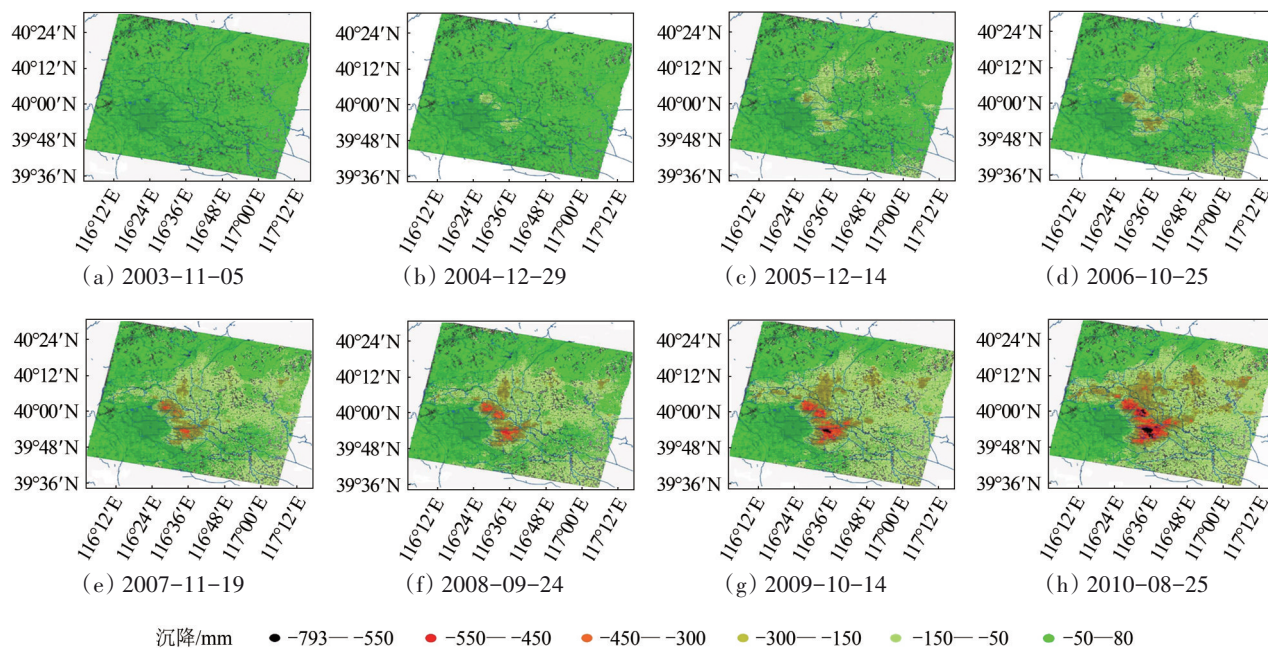


图3 北京市累积地面沉降量的时空演化过程

Fig.3 Spatial-temporal evolution of cumulative ground subsidence in Beijing

表1 中国超大城市地面沉降速率

Table 1 Land subsidence rate in China's megacities

中国超大城市	沉降速率/(mm·a ⁻¹)	时间/年
北京	110	2003—2010
上海	13.99	1996—2005

3.3 大众实景服务需求

在当前的大众服务方面，无线通信技术和全球定位导航技术均已经面向大众提供了普适性服务，这是技术惠民的发展方向。进入到21世纪的智慧地球时代，无所不在的传感器网络将推动测绘遥感地理信息的实时化、大众化。当前，测绘遥感地理信息技术与互联网、云计算、大数据、人工智能等深度融合，催生了新产品、新服务、新业态，深刻影响着经济社会发展和人们日常生活。基于大数据、人工智能技术的“智能+地理信息应用”，为人们日常移动应用提供精准的定位服务。基于数字地球、物联网、云计算的智慧地球，

通过传感网实现网络世界和现实世界的关联，自动和实时地感知现实世界的各种状况和变化。借助遥感云、大数据的相关技术，能够有效地破解多个城市困局。例如洪水淹没范围分析，室内外高精度的手机连续位置定位和实时导航，可以提供与位置相关的各类服务或需求解决方案（李德仁，2019）。三维实景模型实现在智能驾驶高清地图、5G信号仿真、城市精细化管理、城市空间安全、国防建设等领域中的应用（图4）。

GeoSmart是GeoGlobe的智能化的实时系统，基于传感网的WebGIS服务模式，通过数以万计的传感器获取实时数据，依托全息感知、数据挖掘和时空分析等技术进行动态管理、实时分析、感知和认知，进而进行控制和反馈，推动各部门开展各项工作。系统具备类似人类大脑的感知、分析、推理和控制功能。图5是利用GeoSmart系统构建的太原市时空云平台，通过传感器网络全天候、智能化监测和管理太原市的城市运行大数据。

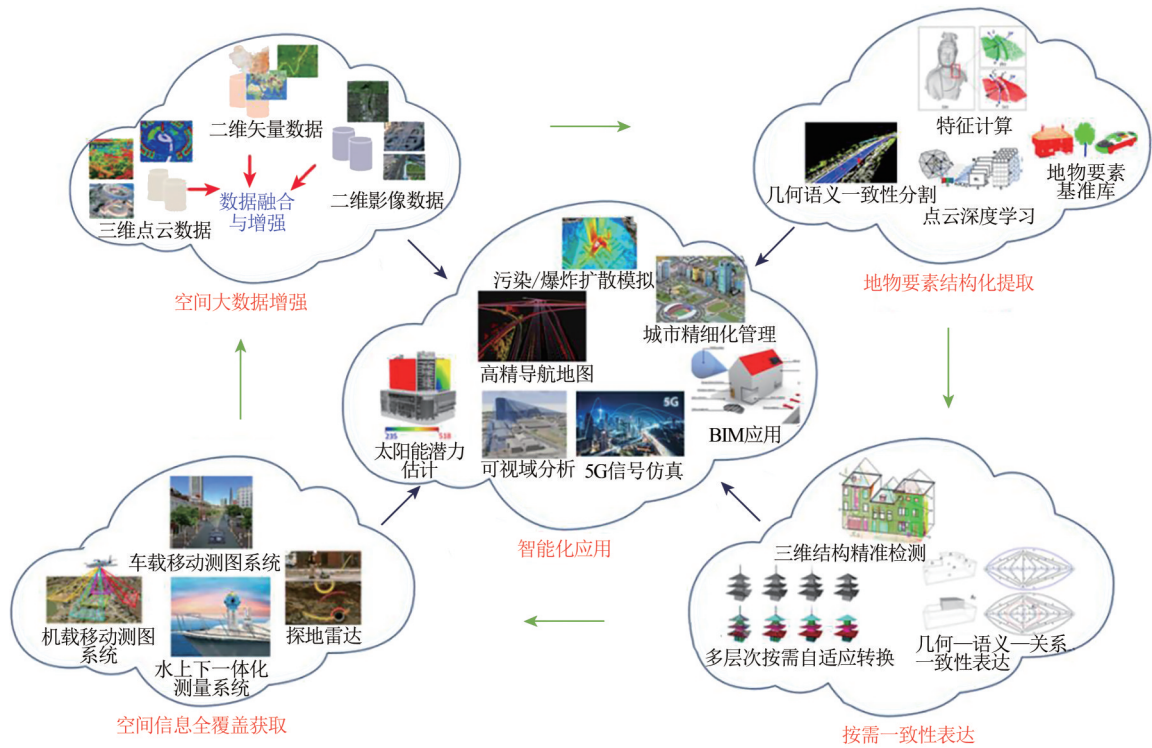


图4 实景三维地图获取及应用

Fig.4 Acquisition and application of real three dimensional map

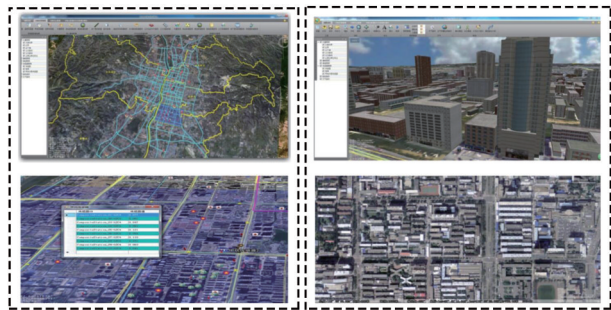


图5 利用传感网监测太原市城市运行大数据

Fig.5 Monitoring urban operation big data using sensor web in Taiyuan

4 基于人工智能的遥感在轨处理技术

传统的遥感数据获取和处理模式已经无法满足当前用户对遥感服务的需求，以用户的任务需求为核心的任务驱动的遥感数据星地协同处理机制成为遥感影像数据获取和处理的发展方向。在任务驱动的星地协同处理机制下，优化配置星地数据获取、计算、存储、传输、接收处理等资源，充分调用星地协同算法资源，例如星上智能任务规划、光学影像相对辐射校正 (Wang 等, 2020)、高精度实时几何定位 (Wang 等, 2017, 2018; Dong 等, 2019; Zhang 等, 2019; Chen 等,

2020)、光学遥感影像智能云检测 (Shao 等, 2019)、目标智能检测 (冯文卿 等, 2017)、数据智能压缩处理和运动目标检测 (矫腾章 等, 2020; Yu 等, 2020) 等各类处理算法, 根据不同任务的具体需求, 包括观测位置、区域大小、目标属性, 智能化地规划数据获取和处理流程, 实现智能化、自动化的星地协同处理 (王密和杨芳, 2019)。

天基信息智能服务是天基网络与用户互通互联的技术通道, 是天基信息快速、准确、智能化服务用户的技术手段, 是PNTRC系统服务于终端用户的“出入口” (李德仁, 2016b)。通过接受用户发出的特定任务, 聚合处理各种异构天基和地基信息, 实时智能地为用户提供所需信息、知识。其具体服务技术流程为, 在接受到用户指定的需求时, 通过语义理解抽象出规范化的任务空间, 进行任务分解和聚合; 将时变空变的星地“通导遥”信息资源抽象出规范化的资源空间, 进行统一描述与高效组织; 将任务空间和资源空间映射到可以度量的能力空间, 通过任务与资源的匹配映射, 从而实现资源与信息自组织, 得到满足各种任务需求的聚焦服务链; 再在信息空间对聚焦服务链进行整合执行, 通过遥感信息的处理服

务，得到满足应用任务需要的数据、信息或者知识。最终通过传输服务将数据、信息或者知识传达给用户的各类终端（如智能手机）。

多源数据在轨处理作为 PNTRC 系统中的关键技术之一，是整个系统从数据获取到信息生成的中心环节（李德仁，2016a）。多源数据在轨处理需要解决任务驱动的遥感数据星地协同处理机制

和遥感数据星地协同智能实时处理方法两大关键技术。从星上和地面遥感数据处理系统架构出发，面向任务的资源调度规划模型，提出任务驱动的天基数据星地协同处理机制（图6），通过星地不同功能资源的通信与协作来实现各类任务的快速响应，更好地满足用户任务的需求（李德仁，2018）。



图6 任务驱动的遥感数据星地协同处理机制(李德仁等,2017)

Fig.6 Task-driven satellite-ground cooperative processing mechanism of remote sensing data (Li et al., 2017)

图7是通过卫星传感网进行灾情监测和灾后评估。火灾发生在美国西北部 Roberts 地区，首先利用卫星传感网调用 MODIS 卫星，通过分析 MODIS 数据及时获取火灾发生的地点；然后规划并调用高分辨率卫星（如 EO-1 卫星）获取更加清晰和详细的火灾地情况；最后，通过人工现场调查，提高火灾遥感反演的精确度。卫星传感网在火灾中的应用，提高了灾害应急响应的效率。

武汉大学哇海刚等（2020）研制了一种卫星在轨处理系统，搭载“吉林一号”光谱 01/02 星，具有森林火灾着火点自动识别、搜寻和定位功能，可直接利用星上北斗接收机短报文通信，实现着火点经纬度“秒级的”从传感器到用户的实时传输，从而极大提升应急响应的时效性（图8）。



图7 基于卫星传感网的火灾应急响应

Fig.7 Fire emergency response based on satellite sensor network

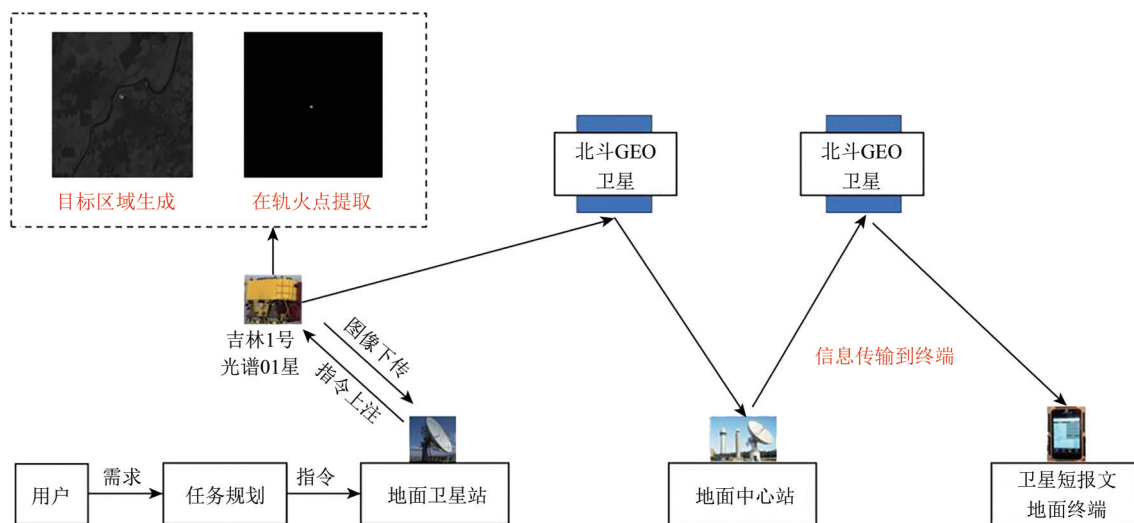


图8 森林火灾着火点实时提取

Fig.8 Real-time extraction of forest fire points

5 实时遥感服务实践

通过构建遥感、导航与通信卫星集成的天基信息服务网络，达到“一星多用、多星组网、多网融合、智能服务”的目标，实现“天网”与“地网”的深度耦合，从而可以根据广大用户的需求，将相应的数据和信息实时推送到用户的手机和移动终端上，实现智能化服务。

近年来，国家在大力推动智慧城市的建设，PNTRC系统作为智慧城市的基本元素之一。采用PNTRC系统技术可以实现智能交通，它可以应用于城市各种车辆的监管、紧急救护、网络约车、小孩老人的看护、食品安全运输监管、重要物品或危险品的运输监管、智慧物流配送、智慧停车导引等各个领域。

在智能交通方面，PNTRC系统可以用于缓解交通拥堵和停车难的问题。依靠高精度的PNTRC系统定位和导航技术，适时引导车辆在非拥堵路段行驶，同时提供非拥堵不收费路段的信息，从而缓解局部交通状况。“共享单车”作为缓解出行难问题的一大举措，项目的实施和普及同样离不开高精度定位和智能调度的支撑。

在物流配送方面，利用PNTRC系统的信息服务，将城市内运行的物流空车信息与物流配送任务需求相结合，不但能实现物流配送的全面升级，还能为改善城市市容以及环保做出贡献。同时也可应用于物流仓储的规划和选址中，实现物流资

源的有效聚集和优化配置。

在现代农业方面，利用PNTRC系统到农民手机的实时服务，可直接将农田长势、病虫害信息推送给农民，无人机或无人农用汽车可直接进行田间作业，这将是中国农业现代化和智能化的方向。

在疫情防控方面，需要积极收集疫情信息，包括人员流动、患者、医疗生活物资、物流等信息的时空分布。人员流动的监测有利于预测疫情暴发风险，辅助资源调配。医疗生活物资的监测也有助于政府部门和医院合理规划和配置医疗资源，制定疫情防控对策。这些都离不开PNTRC系统构建的时空位置大数据服务的支撑（李德仁等，2020）。

PNTRC系统可以广泛应用在大地测量、资源勘查、地籍测量及工程测量等领域，在海洋测量和海洋工程中的应用也已经兴起。与传统的测量手段相比，利用低轨卫星增强高轨GNSS卫星导航定位系统，在无地面增强系统情况下，PNTRC系统应用有巨大的优势，测量精度高，全天候操作，观测点之间无需通视。

PNTRC系统卫星定位技术的应用推进了机械工业自动化、产业化发展进程，使用卫星导航技术辅助控制的机械可用于防浪海堤建筑施工系统、道路桥梁建筑施工系统、航道疏浚系统、露天矿山和铁路、公路隧道开挖、精准农业、生态环境监测和管理（图9）等。

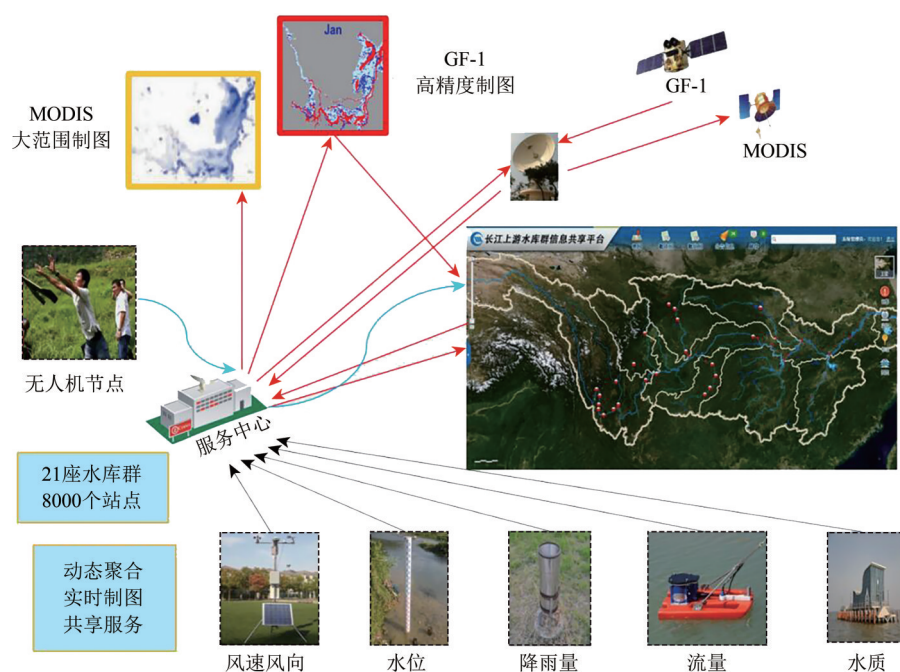


图9 基于传感网的长江流域生态环境智能服务

Fig.9 Intelligent monitoring service of ecological environment based on sensor web in the Yangtze River Basin

6 结 语

当前的天空地海对地观测传感网已经具备了一定的实时服务能力，2020年美国的SpaceX公司首次载人发射任务成功，并实现火箭返回级完美海上着陆，遥感信息服务呈现出日新月异的发展态势。构建天空地海对地观测传感网，突破通信、导航和遥感卫星间的系统壁垒，加速推进天基信息实时智能服务系统建设，在时空大数据、云计算和天基信息服务智能终端支持下，通过天地通信网络的全球无缝互联互通，实时地为国民经济各部门、各行业和广大手机用户提供快速、准确、智能化的应用服务。从当前国家需求和国际高科技发展形势看，建设中国自主的通导遥一体化空天信息实时智能服务系统，是实践党中央提出“军民深度融合”战略的重要途径，也是落实《国家民用空间基础设施中长期发展规划（2015年—2025年）》要求的有力举措。目前发达国家也尚未形成类似系统的实用化，这既是中国抢占国际竞争战略制高点的重大机遇，也是中国遥感事业做大做强、推进大众化应用的迫切需求。遥感界的同仁们，我们必须抓住这个机会，做出应有的贡献。

参考文献(References)

- Chen B Y, Li X Y, Zhang G X, Guo Q, Wu Y P, Wang B Y and Chen F S. 2020. On-orbit installation matrix calibration and its application on AGRI of FY-4A. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14(2): 024507 [DOI: 10.1117/1.JRS.14.024507]
- Chen M, Tomás R, Li Z H, Motagh M, Li T, Hu L Y, Gong H L, Li X J, Yu J and Gong X L. 2016. Imaging land subsidence induced by groundwater extraction in Beijing (China) using satellite radar interferometry. *Remote Sensing*, 8(6): 468 [DOI: 10.3390/rs8060468]
- Dong Y, Fan D Z, Ma Q H, Ji S and Ouyang H. 2019. Automatic on-orbit geometric calibration framework for geostationary optical satellite imagery using open access data. *International Journal of Remote Sensing*, 40(16): 6154-6184 [DOI: 10.1080/01431161.2019.1587206]
- Feng W Q, Sui H G, Tu J H, Sun K M and Huang W M. 2017. Change detection method for high resolution remote sensing images using random forest. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 46(11): 1880-1890 (冯文卿, 眭海刚, 涂继辉, 孙开敏, 黄伟明. 2017. 高分辨率遥感影像的随机森林变化检测方法. *测绘学报*, 46(11): 1880-1890) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2017.20170074]
- Goodchild M F. 2007. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4): 211-221 [DOI: 10.1007/s10780-007-9111-y]
- Jiao T Z, Hu Y X, Lv P, Zhang K and Tai X Q. 2020. A method of multi-ship target detection and tracking by on-orbit satellite. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 37(3): 368-378 (矫腾章, 胡玉新, 吕鹏, 张凯, 台宪青. 2020. 一种在轨海上多运

- 动舰船目标检测和跟踪方法. 中国科学院大学学报, 37(3): 368-378 [DOI: 10.7523/j.issn.2095-6134.2020.03.010]
- Li D R. 2012. On Space-air-ground integrated earth observation network. *Journal of Geo-information Science*, 14(4): 419-425 (李德仁 . 2012. 论空天地一体化对地观测网络. *地球信息科学学报*, 14(4): 419-425) [DOI: 10.3724/SP.J.1047.2012.00419]
- Li D R. 2016a. Towards geo-spatial information science in Big Data Era. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 45(4): 379-384 (李德仁 . 2016a. 展望大数据时代的地球空间信息学. *测绘学报*, 45(4): 379-384) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2016.20160057]
- Li D R. 2016b. The "Internet Plus" space-based information services. *Journal of Remote Sensing*, 20(5): 708-715 (李德仁 . 2016b. 论“互联网+”天基信息服务. *遥感学报*, 20(5): 708-715) [DOI: 10.11834/jrs.20166222]
- Li D R. 2017. Construction of space-based information real-time service system. *People's Tribune*, (18): 26-27 (李德仁 . 2017. 建设天基信息实时服务系统的设想. *人民论坛*, (18): 26-27) [DOI: 10.16619/j.cnki.rmlt.2017.18.012]
- Li D R. 2018. Brain cognition and spatial cognition: on integration of geo-spatial big data and artificial intelligence. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 43(12): 1761-1767 (李德仁 . 2018. 脑认知与空间认知——论空间大数据与人工智能的集成. *武汉大学学报(信息科学版)*, 43(12): 1761-1767) [DOI: 10.13203/j.whugis20180411]
- Li D R. 2019. Towards geospatial information technology in 5G/6G era. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 48(12): 1475-1481 (李德仁 . 2019. 展望5G/6G时代的地球空间信息技术. *测绘学报*, 48(12): 1475-1481) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2019.20190437]
- Li D R, Shao Z F, Yu W B, Zhu X Y and Zhou S H. 2020. Public epidemic prevention and control services based on big data of spatiotemporal location make cities more smart. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 45(4): 475-487, 556 (李德仁, 邵振峰, 于文博, 朱欣焰, 周素红 . 2020. 基于时空位置大数据的公共疫情防控服务让城市更智慧. *武汉大学学报(信息科学版)*, 45(4): 475-487, 556) [DOI: 10.13203/j.whugis20200145]
- Li D R, Tong Q X, Li R X, Gong J Y and Zhang L P. 2012. Current issues in high-resolution Earth observation technology. *Science China Earth Sciences*, 55(7): 1043-1051 [DOI: 10.1007/s11430-012-4445-9]
- Li D R, Wang M, Shen X and Dong Z P. 2017. From earth observation satellite to earth observation brain. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 42(2): 143-149 (李德仁, 王密, 沈欣, 董志鹏 . 2017. 从对地观测卫星到对地观测脑. *武汉大学学报(信息科学版)*, 42(2): 143-149) [DOI: 10.13203/j.whugis20160526]
- Li D R, Zhang G, Shen X, Zhong X, Jiang Y H, Wang T Y, Tu J G and Li Z J. 2019. Design and processing night light remote sensing of LJ-1 01 satellite. *Journal of Remote Sensing*, 23(6): 1011-1022 (李德仁, 张过, 沈欣, 钟兴, 蒋永华, 汪韬阳, 涂建光, 李治江 . 2019. 珞珈一号01星夜光遥感设计与处理. *遥感学报*, 23(6): 1011-1022) [DOI: 10.11834/jrs.20199327]
- Shao Z F, Pan Y, Diao C Y and Cai J J. 2019. Cloud detection in remote sensing images based on multiscale features-convolutional neural network. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 57(6): 4062-4076 [DOI: 10.1109/TGRS.2018.2889677]
- Sui H G, Liu C X, Huang L H and Hua L. 2019. Application of remote sensing technology in earthquake-induced building damage detection. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 44(7): 1008-1019 (眭海刚, 刘超贤, 黄立洪, 华丽 . 2019. 遥感技术在震后建筑物损毁检测中的应用. *武汉大学学报(信息科学版)*, 44(7): 1008-1019) [DOI: 10.13203/j.whugis20190070]
- Sui H G, Liu C X, Liu J Y, Zheng X C, Li H F, Yu S H and Li Q Y. 2020. Reflection and exploration of rapid remote sensing emergency response for typical natural disasters. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 45(8): 1137-1145 (眭海刚, 刘超贤, 刘俊怡, 郑晓翠, 李海峰, 于树海, 李器宇 . 2020. 典型自然灾害遥感快速应急响应的思考与实践. *武汉大学学报(信息科学版)*, 45(8): 1137-1145) [DOI: 10.13203/j.whugis20200065]
- Tang Y, Wang L J, Ma G C, Jia H J and Jin X. 2019. Emergency monitoring of high-level landslide disasters in Jinsha River using domestic remote sensing satellites. *Journal of Remote Sensing*, 23(2): 252-261 (唐尧, 王立娟, 马国超, 贾虎军, 靳晓 . 2019. 利用国产遥感卫星进行金沙江高位滑坡灾害灾情应急监测. *遥感学报*, 23(2): 252-261) [DOI: 10.11834/jrs.20198405]
- Wang M, Cheng Y F, Chang X L, Jin S Y and Zhu Y. 2017. On-orbit geometric calibration and geometric quality assessment for the high-resolution geostationary optical satellite GaoFen4. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 125: 63-77 [DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2017.01.004]
- Wang M, Cheng Y F, Tian Y, He L X and Wang Y L. 2018. A new on-orbit geometric self-calibration approach for the high-resolution geostationary optical satellite GaoFen4. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(5): 1670-1683 [DOI: 10.1109/JSTARS.2018.2814205]
- Wang M and Yang F. 2019. Intelligent remote sensing satellite and remote sensing image real-time service. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 48(12): 1586-1594 (王密, 杨芳 . 2019. 智能遥感卫星与遥感影像实时服务. *测绘学报*, 48(12): 1586-1594) [DOI: 10.11947/j.AGCS.2019.20190454]
- Wang Y L, Wang M and Zhu Y. 2020. On-Orbit Calibration of installation parameter of multiple star sensors system for optical remote sensing satellite with ground control points. *Remote Sensing*, 12(7): 1055 [DOI: 10.3390/rs12071055]
- Yu S H, Yu Y B, He X J, Lu M, Wang P, An X D and Fang X C. 2020. On-board fast and intelligent perception of ships with the "Jilin-1" spectrum 01/02 satellites. *IEEE Access*, 8: 48005-48014 [DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2979476]
- Zhang G, Wang J Y, Jiang Y H, Zhou P, Zhao Y B and Xu Y. 2019. On-orbit geometric calibration and validation of LuoJia 1-01 night-light satellite. *Remote Sensing*, 11(3): 264 [DOI: 10.3390/rs11030264]

Application-oriented real-time remote sensing service technology

LI Deren^{1,2}, DING Lin¹, SHAO Zhenfeng²

1. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: The aerospace industry in China has developed rapidly over the past 40 years. Remote sensing satellites have grown and gradually developed, and this situation has formed a variety of various satellite series. The communication satellite series, navigation satellite series, Earth observation satellite series, and science and technology test satellite series constitute the current application satellite system in China, which is used in national land and resources survey, meteorological services, environmental monitoring, ocean remote sensing, and other fields. This system provides the foundation for the development of satellite applications.

At present, the satellite systems of communication, navigation, and remote sensing are separate and independent. Thus, they cannot meet the real-time, intelligent, and diversified requirements in the era of big data. In addition to the application of land, surveying and mapping, planning, geology and mining, agriculture, transportation, marine, and other industries, the government, enterprises, and the public have shown a large and urgent need for satellite remote sensing navigation data and services, especially high-resolution satellite remote sensing data and services. The demand of users in different industries and fields for remote sensing data products has gradually changed from singularity and standardization to diversification and specialization; from static investigation to dynamic monitoring, forecasting, and forecasting; from qualitative analysis to quantitative research; and from general application to batch business. Therefore, with the application requirements as the traction, focusing on improving the service capabilities of satellite remote sensing, the communication-navigation-remote sensing integrated space-based information service system with integrated communication, navigation, and remote sensing can be built to provide all-day, all-weather, all-region application-oriented services. This system fully utilizes the benefits of satellite applications. Thus, it breaks the barriers of satellites of communication, navigation, and remote sensing.

Building a space-based information real-time service system (positioning, navigation, timing, remote sensing, communication, PNT/RC) based on “one-satellite multitasking, multi-satellite networking, multi-network integration, and intelligent services” that integrates communication, navigation, and remote sensing, has become an important direction for the development of contemporary aerospace information technology. In the era of 5G, Internet of Things, big data and artificial intelligence, it is inevitable to study remote sensing service technologies for real-time applications in the era of 5G, Internet of Things, big data, and artificial intelligence is important to meet people’s strong demand for “fast, accurate, and flexible” remote sensing information services with the way of B2B, B2G, or B2C.

This paper first studied the real-time service capabilities of space-air-ground-sea integrated Earth observation network. Then, the real-time application service requirements of remote sensing technology (requirements for high-efficiency remote sensing services for earthquake and disaster relief, remote sensing monitoring requirements for land surface deformation, and demand for public real-world services) were elaborated. Finally, the on-orbit processing technology based on artificial intelligence was analyzed, and the trend of remote sensing technology transformed from remote sensing information to real-time services was discussed.

Key words: remote sensing, space-air-ground-sea integrated earth observation network, real-time application services, artificial intelligence on-orbit processing

Supported by National Key Research and Development Plan on Strategic International Scientific and Technological Innovation Cooperation Special Project (No. 2016YFE0202300); Consulting Research Project of Chinese Academy of Engineering(No. 2020ZD16); National Natural Science Foundation of China(No.41771454); Natural Science Foundation of Hubei Province in China(No.2018CFA007)