网络出版时间：2018-02-10 18:10:59
网络出版地址：http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1692.P.20180210.1809.002.html

doi:10.3969/j.issn.1672-4623.2018.02.001

“一带一路”空间信息智能服务体系研究

张新长[1,2]，张志强[2]
（1. 广州大学，广东 广州 510006；2. 中山大学地理科学与规划学院，广东 广州 510275）

摘　要：“一带一路”作为党中央、国务院统筹国内外局势作出的一项重大决策，受到社会各界的广泛关注。空间数据作为国家的战略信息资源，对“一带一路”建设和发展具有重要的支撑作用。针对当前“一带一路”建设过程中空间信息保障能力不足的问题，从“一带一路”倡议全局的角度，剖析空间信息智能服务在“一带一路”区位发展中的定位。从方案总体设计和空间信息应用服务平台设计两方面，提出“一带一路”空间信息智能服务体系的总体构架。以“数据获取－数据融合－数据更新”为主线，探讨保障空间信息智能服务顺利实现的若干关键技术，为“一带一路”空间信息智能服务平台的建设与应用提供重要指导和参考。

关键词：一带一路；空间信息；智能服务
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2018）02-0001-05

“一带一路”是党中央、国务院统筹国内外局势作出的一项重大决策，包括“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”两部分建设内容，2013 年由国家主席习近平提出并开始建设[1]。它不是实体和机制，而是一项合作发展的理念和倡议，借助既有的、行之有效的区域合作平台，主动地发展与沿线国家的经济合作伙伴关系。“一带一路”倡议提出后，凭借“开放、包容、均衡、普惠”的独特魅力[2]，赢得了国际社会广泛赞誉和沿线国家与地区的积极响应，为沿线各国贸易、金融、电力等领域的互联互通奠定了良好基础。

空间信息理论和技术是“一带一路”建设和发展的重要基础和保障。首先，“一带一路”建设的切入点是互联互通的基础设施、农业技术和节水技术合作、“绿色能源”合作等，在信息化社会中，需要以地理信息为支撑，把“一带一路”沿线和区域的大坐标关联起来，形成物理世界的虚拟再现，支持混合现实的智能化管理[2]。其次，“一带一路”建设涉及经济社会发展的各个领域，各项规划、建设和管理均涉及海量的时空数据，处理海量时空数据，制定科学合理的战略决策，离不开高效的数据挖掘技术和智能的空间信息服务平台。因此，“一带一路”区位发展离不开空间信息理论和技术的应用，空间信息智能服务平台的建设将会使“一带一路”的规划更合理、建设更科学、运行更精准。

根据联合国 2013 年进行的全球地理信息基础设施建设现状调查，“一带一路”沿线各国虽然大多数国家拥有基础地形图或基础地理数据库，但数据零乱，发展不均衡，且彼此隔离，难以实现数据信息集成共享与互访[3]。虽有部分国家正在尝试建设网络地理信息服务平台，但均为小范围且数据类型相对较少，无法支撑本国范围的应用，更无法支撑“一带一路”区域发展需求[4]。而我国尚不具备覆盖“一带一路”的高精度地理空间数据产品，亦无法提供覆盖“一带一路”的自主位置服务，这严重制约了我国对“一带一路”沿线各国地理国情的认识、生态环境变迁的宏观监测与评估、区域突发事件发展态势的评估和行动决策等。因此，研制基于“一带一路”区位发展特征的空间信息智能服务平台，对于提升我国参与国际事务、实施“一带一路”倡议的进度和深度具有重要的现实意义。

本研究基于“一带一路”区位发展的特征，剖析空间信息智能服务在“一带一路”区位发展中的战略定位，构建沿“一带一路”城乡空间信息智能服务框架体系，为“一带一路”空间信息智能服务平台的建设提供总体设计，最后结合已有研究成果，详细阐述空间信息智能服务平台建设的若干关键技术，为“一带一路”空间信息智能服务平台的搭建提供重要的技术支撑。

1　空间信息智能服务在“一带一路”区位发展中的战略定位

在物联网、云计算、人工智能和大数据等新兴信息技术推动下，当今地球空间信息服务呈现智能化、

收稿日期：2017-12-10。
项目来源：国家自然科学基金重点资助项目（41431178）；国家自然科学基金面上项目（41671453）；广东省自然科学基金重点资助项目（2016A030311016）；智慧广州时空信息云平台建设项目（GZIT2016-A5-147）。

自动化、网络化与实时化的特点，形成了“互联网+”空间信息智能服务的新业态。“一带一路”的建设和发展，离不开空间信息理论与技术的支撑[5]，空间信息智能服务在“一带一路”区位发展中发挥着重要作用，让“一带一路”的规划更合理、建设更科学、运行更精准。

1.1 实时智能的位置服务

实时智能的位置服务是指将空天地数据获取手段获得的原始数据和影像，加工成各类地球空间信息后，为其他应用业务提供地理基准和位置服务。其设计原理就是卫星遥感数据在地面接收站接收后，通过各种硬软件系统进行加工处理，提取有用信息，利用互联网发布地理信息，让客户通过浏览器浏览和获取地理信息系统中的数据和功能服务[6]。目前“天地图”正在抓紧“一带一路”亚洲、欧洲部分数据的加工和整合,覆盖为“一带一路”乃至全球提供服务是“天地图”的发展愿景。

在移动互联网时代，高精度、实时智能的位置服务是一切空间信息服务的基础和保障。用户通过实时智能的位置服务能够快速获取当前位置信息，并获取与当前位置关联的服务信息，为用户出行提供便捷。

1.2 灾害综合防治服务

近年来，随着地壳活动的加剧和极端气候事件的增多，“一带一路”沿线各国地震、干旱、洪涝等自然灾害频繁发生，严重威胁着人民的生命财产安全。建立自然灾害综合防治服务体系，保障人民生命财产安全和社会稳定，实现灾害前期预防、中期应急保障、后期跟踪服务，成为“一带一路”建设和发展亟待解决的现实问题。

自然灾害综合防治离不开空间信息的智能服务[7]：①需要整合多源异构的历史灾害数据，智能分析自然灾害频发区域和类型，研究自然灾害发生机理和诱导因素，制定适用于“一带一路”建设和发展的、科学合理的自然灾害等级标准。②聚合空天地一体化观测体系，建立多层级多尺度联动的自然灾害观测、预警平台和机制，实现自然灾害的实时动态监测，确保自然灾害早发现、早预防、早处理，切实保障人民的生命财产安全。③对于自然灾害频发区域，结合已有的应急保障经验，同时借鉴“一带一路”沿线各国先进的应急保障经验，制定科学合理的自然灾害应急保障体系，以最大限度地减少自然灾害损失，保障人民生命财产安全。

1.3 空间信息应急保障服务

随着自然灾害和暴力恐怖袭击事件的频繁发生，如何综合利用各种现代信息技术，聚合分析天空地多源多维异构数据，实现精准应急服务与指挥决策[8]，是实施“一带一路”国家重大战略的重要支撑。“一带一路”建设涉及欧亚大陆的多个国家和地区，不同国家和地区，自然、人文条件差异悬殊，突发事件复杂多样，以往各个国家和地区缺少科学合理的应急保障服务体系或应急信息服务过于粗放,难以满足“一带一路”协同发展的需求，急需建立一套涵盖“一带一路”、天空地协同的精准应急服务体系和平台,确保“一带一路”应急保障服务更加科学合理、更加智能。

应急保障服务体系建设，测绘先行。需要整合“一带一路”沿线各国多源异构的基础地理空间信息，建立统一的应急保障服务平台。其次，整合“一带一路”沿线各国以往的应急保障经验，针对高频突发事件制定科学合理的应急预案。聚合天空地多源多维异构数据，结合空间信息快速提取及知识挖掘技术，实现突发事件区域的精准动态监测。最后，研制智能应急保障服务平台，实现精准应急服务与指挥决策。

1.4 生态环境保障服务

2017-10-18，习近平总书记在十九大报告中明确指出“坚持人与自然和谐共生，必须树立和践行绿水青山就是金山银山的理念，坚持节约资源和保护环境的基本国策”，由此可见生态环境保护在经济社会发展中的重要地位,“一带一路”建设也是如此[9]。“一带一路”建设应做到经济、生态两手抓，即在发展“一带一路”沿线经济的同时保护甚至改善生态环境，建设一个宜居、生态的“一带一路”。

当前“一带一路”沿线各国的生态环境状况各不相同，作为“一带一路”建设的主要倡议者，我国有责任和义务协助“一带一路”沿线各国和地区加强生态环境保护力度。在国家“一带一路”的重大战略布局下，空间观测技术对于从国家战略角度进行资源与环境格局的空间认知研究具有重要作用。近年来，随着我国遥感技术的快速发展，多尺度的地表覆盖动态监测成为可能，这为“一带一路”生态环境保障服务体系的建设奠定了重要的数据基础。

1.5 城乡统筹规划辅助决策服务

城乡统筹规划是从全局的视角，在统一的空间平台上不分城市与村镇,进行安排与规划。在“一带一路”发展和建设过程中，沿线不同国家和地区的功能和服务各不相同,就全局战略而言,各个国家和地区应从“一

带一路”的整体发展需求出发，结合本国本地区的优势，制定科学合理的发展战略，在大环境下获得最大的发展契机。就局部而言，应坚持城乡统筹规划的理念，将城市和村镇放在统一的平台上进行规划和安排，确保城乡均衡发展。

基础空间信息的整合是城乡统筹规划的重要基础和保障。首先需要将不同国家和地区、城市与村镇的基础空间信息整合到统一的平台上，在统筹发展的理念指引下，创新机制和方法，利用全面、科学、合理的规划技术手段，研制空间信息规划辅助决策平台，辅助城市发展评估、规划和决策，模拟和预测城市化的未来，促进城乡区域经济协调和可持续发展。

2　空间信息智能服务体系构架

2.1　方案总体设计

统筹协调“一带一路”发展，建立空间信息走廊，需要以空间数据为中心，以智能服务为中心，建立结构开放、时空统一的空间信息智能服务平台，面向区域、行业发展应用需求，通过专网和公众传输网络，实现分布式的海量空间数据检索、管理、分发与产品生产和智能服务 [10,11]。

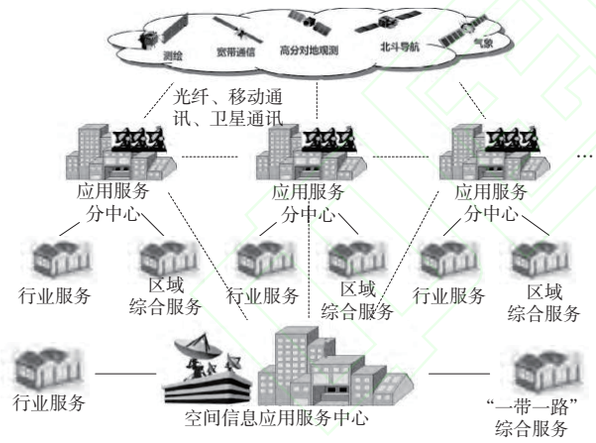

图 1　空间信息服务智能服务体系总体设计

如图 1 所示，空间信息智能服务体系建设采用多中心、分布式的设计方案。在“一带一路”沿线各国和地区建立应用服务分中心，存储管理该地区的天空地一体化空间数据，并提供区域空间数据的专业处理和信息产品生成等服务，实现资源与服务的高效调配，提升空间信息综合服务能力。应用服务分中心为区域用户提供在线、可视化的数据、平台、软件和设施服务。各应用服务分中心之间，基于数据共享机制和相关协定，进行空间数据的共享，实现区域数据的协同应用和服务能力。

在北京建设空间信息应用服务中心，以地面接收系统或其他分中心数据共享的手段获取“一带一路”空间信息，完成空间信息的整合、组织和管理，作为“一带一路”信息数据与服务的总承载平台，为“一带一路”建设和发展提供综合服务。

2.2　空间信息应用服务平台结构设计

各空间信息应用服务中心采用类似的系统架构进行建设，自下而上包括 5 个层次：基础设施层、平台框架层、空间数据层、数据操作层和应用服务层，如图 2 所示。

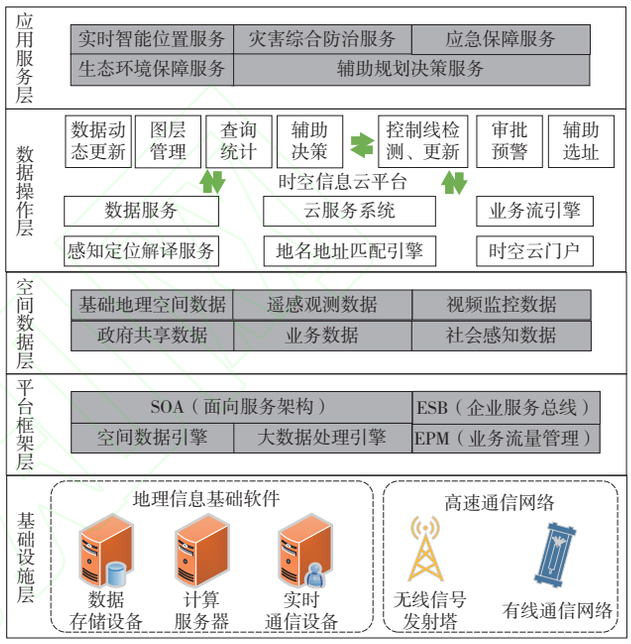

图 2　空间信息应用服务中心设计架构

1）基础设施层。为空间信息应用服务中心提供硬件支持环境，主要包括地理信息基础软件和高速通信网络两部分。地理信息基础软件主要包括数据存储设备、数据计算设备、实时通信设备，用于空间数据的存储和计算。高速通信网络确保数据和服务能够及时传送给用户。

2）平台框架层。该层表征了空间信息应用服务中心的框架结构，包括 SOA（面向服务架构）、ESB（企业服务总线）、EPM（业务流管理）、空间数据引擎、大数据处理引擎。

3）空间数据层。表示空间信息应用服务中心整合和处理的主要空间数据类型，基于“一带一路”建设和发展需求，空间信息应用服务中心承载的数据类型主要包括基础地理空间数据、遥感观测数据、视频监控数据、政府共享数据、各类业务数据和社会感知数据。

4）数据操作层。该层概括了空间信息应用服务中心需要承担的数据操作，包括空间数据动态更新、图层管理、查询统计、辅助决策等，同时所有处理集成

到时空信息云平台。

5）应用服务层。该层表示空间信息应用服务中心承担的空间信息应用服务，包括实时智能位置服务、灾害综合防治服务、应急保障服务、生态环境保障服务、辅助规划决策服务等。

3 空间信息智能服务关键技术

空间信息智能服务的关键在于如何从海量时空数据中挖掘信息、提炼知识，从而智能服务于行业和区域发展。本研究从信息提取、信息融合、基础地理空间数据级联更新、知识表达4个方面剖析空间信息智能服务的若干关键技术。

3.1 空间信息快速提取技术

“一带一路”涉及欧亚大陆的广泛区域，遥感是其重要的数据源。因此，如何从遥感影像中提取多尺度空间信息是保障空间信息智能服务顺利实现的一项关键技术。

在“一带一路”全局尺度或国家尺度上，基于中低分辨率遥感影像，如Landsat影像，获取的地表覆盖信息和专题信息是实现生态环境保障服务的重要数据源。大量研究表明，仅依靠光谱特征进行土地利用/土地覆盖分类，难以得到令人满意的精度，因此，通常需要增加其他辅助信息，如纹理特征、DEM、先验知识等。如何选取有效的辅助信息，并且实现辅助信息与光谱特征的有效融合，是提高中低空间分辨率遥感影像土地利用/土地覆盖精度的关键。不同地物类型具有不同的时序特征，基于时序特征的土地利用/土地覆盖分类也是当前土地利用/土地覆盖分类研究的一个热点方向。

在城镇尺度，高分辨率遥感影像是其重要的数据源，如何从多源高分数据中快速提取专题信息并进行三维重建，对于实现空间信息智能服务具有重要意义。结合前期研究基础，提出一套系统完善的城镇空间信息快速提取路线。首先，利用国产高分遥感影像及航空影像、机载及地面移动测量的LiDAR点云等城镇多源时空信息，通过时空信息融合与深度学习方法，实现复杂城镇空间要素的精准三维目标识别与自动提取[12]，通过多源遥感影像、LiDAR点云与真三维实景模型等数据的融合配准，基于提取的三维目标信息进行城镇空间要素的精细三维几何模型构建与真实纹理贴图，实现城市空间要素的真三维目标化精细建模，并通过基于多层次匹配的三维空间变化检测方法实现城市空间要素的精确变化分析与动态增量更新。其次，基于北斗、地基SAR等技术，解决制约不同技术监测精度的关键问题，实现多源技术的深度融合，获取城镇高精度时空信息，实现重要基础设施与建筑物和区域地面沉降mm级变化的精准监测。再针对高精度室内外一体化定位及建模需求，构建室内外复杂环境自适应多源数据融合模型，在此基础上，融合北斗、超宽带、惯导、激光扫描仪、全景相机等定位传感器及测距技术方法，实现高清全景、三维点云模型、地图及其空间语义关系和其他增强信息的室内外全景三维模型的高精度、高效获取。研究室内外不同环境下的高精度定位方法，在室外环境中采用北斗结合惯导的高精度定位方法，在室内环境中首先构建超宽带测距误差模型，在此基础上实现超宽带和惯导的组合定位。研究移动平台动态位置与姿态的最优估计方法，通过集成定位单元（北斗、超宽带）、惯导、激光扫描仪、全景相机等，基于卡尔曼滤波的多源异构数据融合算法，获取移动平台位置和姿态信息。

3.2 多源异构空间数据融合技术

单一数据源往往存在不同程度的局限性，如高分遥感影像虽然具有较高的空间分辨率，但其光谱可分性相对较差；出租车轨迹、手机信令数据难以理解和可视化，多源异构空间数据融合成为空间信息理论研究和应用的一个重点方向。“一带一路”空间信息智能服务涉及众多的数据类型，单一数据源提供的信息往往难以满足智能服务的需求，因此，多源异构空间数据融合技术是保障空间信息智能服务的又一项关键技术。

结合前期研究工作，提出一套系统完善的多源异构空间数据融合技术。不同数据由于来源不同等原因，具有不同的时空基准、数据精度等。在进行数据融合前，对数据质量进行检查，剔除质量相对较差的数据，同时将多源异构的空间数据统一到同一时空基准上。针对多源时空数据精度不一致、采样率不一致等问题，采用空间数据重采样和纠正方法，进行多源空间数据的同化处理。在不同尺度上，建立时空数据语义关联模型，实现多源异构空间数据的自动配准和整合。最后，在不同尺度上，采用不同的数据融合方法实现面向业务应用的异构空间数据融合。在城镇尺度上，以三维城镇模型为主体，集成基础地理空间数据和社会统计数据、专题数据等相对静态数据，构建“人－地－房”一体化的城市信息模型，融合多源异构空间数据。在全局尺度上，采用多层级映射的异构空间数据整合技术，实现空间与非空间数据、结构化与非结构化数

据的融合与管理[13]。

3.3　空间数据级联更新技术

现势性是空间数据的一个重要特征，是衡量空间数据有效性和可用性的一个重要标志。因此，空间数据需要进行定期的更新和维护，在更新不同比例尺的空间数据时，甚至需要对统一区域进行多次测量，造成大量人力物力的浪费。空间数据级联更新能够实现一次测绘多尺度更新的效果，大大减少地图更新的人力物力成本，对于保持基础比例尺空间数据现势性具有重要意义。

本文提出一套系统完善的空间数据级联更新方法。以 LiDAR 点云和随机高分辨率遥感影像为数据源，利用改进的测地线活动轮廓（geodesic active contour,GAC）模型提取初始建筑物边界，并采用形态学方法进行建筑物边界正则化，将正则化的建筑物边界进行矢量化作为新时期建筑物地形图[14]。根据新时期建筑物地形图的精度与不同比例尺地形图精度的匹配关系，确定更新地形图的最佳比例尺。将新旧时相建筑地形图进行对比，通过比较对象的节点－弧度特征进行变化区域的快速定位，同时以新旧要素的匹配特征为依据，通过神经网络决策树实现变化信息的精准识别[15]。变化信息精准识别完成后，在综合考虑空间距离、语义相似度及拓扑一致性约束的基础上，采用自适应的矢量数据增量更新方法进行单一尺度矢量数据的更新[16]。在单一尺度增量数据更新的基础上，通过多尺度匹配策略检测不同尺度的变化信息[17]，并将变化信息更新到较小比例尺的地形图中，采用地图综合的方法，对更新后的较小比例尺的地形图进行制图综合处理，最终实现地形图的级联更新。

4　结　语

空间信息对“一带一路”建设和发展具有重要的支撑和保障作用。本文针对“一带一路”建设过程中空间信息保障能力不足的问题，剖析了空间信息智能服务在“一带一路”建设和发展过程中的战略定位，从位置服务、灾害防治、应急保障、生态环境保障、辅助城乡规划等 5 个方面深度剖析空间信息智能服务在“一带一路”建设中的重要应用。在此基础上，提出多中心、分布式的空间信息智能服务体系设计方案，并提出空间信息应用服务中心的设计架构，为空间信息智能服务平台的建设提供重要指导。从空间信息获取的角度，以“信息提取—数据融合—数据更新”为主线，探讨保障空间信息智能服务顺利实施的若干关键技术，为“一带一路”研究中相关技术的研发提供参考和借鉴。

参考文献

[1] 郭华东，肖函．“一带一路”的空间观测与“数字丝路”构建 [J]. 中国科学院院刊 ,2016,31(5):535−541

[2] 李争粉，李朋德．建设智慧“一带一路”测绘地理信息要先行 [N]. 中国高新技术产业导报，2017−03−06(005)

[3] 刘艾瑛．提升“一带一路”测绘地理信息保障能力 [N]. 中国矿业报 ,2015−05−26(B01)

[4] 任宇．数字丝绸之路助力跨越信息鸿沟 [J]. 互联网经济 ,2017(11):50−55

[5] 胡伟，刘壮，邓超．“一带一路”空间信息走廊建设的思考 [J]. 工业经济论坛 ,2015(5):125−133

[6] 李德仁．从测绘学到地球空间信息智能服务科学 [J]. 测绘学报 ,2017,46(10):1 207−1 212

[7] 邢珍珍．基于空间信息服务的地震防灾减灾集成系统设计与实现 [D]. 成都：电子科技大学 ,2013

[8] 邵芸，赵忠明，黄福祥，等．天空地协同遥感监测精准应急服务体系构建与示范 [J]. 遥感学报 ,2016,20(6):1 485−1 490

[9] 田颖聪．“一带一路”沿线国家生态环境保护 [J]. 经济研究参考 ,2017(15):104−120

[10] 胡金晖，秦智超，石磊，等．空间信息云服务平台架构及应用研究 [J]. 中国电子科学研究院学报 ,2016,11(1):51−58

[11] 易敏．面向服务架构（SOA）的空间信息服务研究 [D]. 上海：华东师范大学 ,2008

[12] 孙颖，张新长，康停军，等．改进 GAC 模型在点云和影像自动提取建筑物边界中的应用 [J]. 测绘学报 ,2013,42(3):337−343

[13] 张新长，陈家鸿，郭泰圣．基于可逆映射的地形图数据异构融合研究与实现 [J]. 测绘通报 ,2016(6):26−29

[14] 孙颖，张新长，罗国玮．从机载激光雷达点云提取建筑物屋顶边界的活动轮廓模型改进方法 [J]. 测绘学报 ,2014,43(6):620−626

[15] 郭泰圣，张新长，梁志宇．神经网络决策树的矢量数据变化信息快速识别方法 [J]. 测绘学报 ,2013,42(6):937−944

[16] 张新长，郭泰圣，唐铁．一种自适应的矢量数据增量更新方法研究 [J]. 测绘学报 ,2012,41(4):613−619

[17] 罗国玮，张新长，齐立新，等．矢量数据变化对象的快速定位与最优组合匹配方法 [J]. 测绘学报 ,2014,43(12):1 285−1 292

第一作者简介：张新长，教授，博士生导师，主要研究方向为城市地理信息系统、数字城市（智慧城市）理论与方法。