

网络空间测绘的概念及其技术体系的研究

周 杨 徐 青 罗向阳 刘粉林 张 龙 胡校飞

(中国人民解放军信息工程大学 郑州 450001)

摘 要 对地理网络空间学进行研究,将地理测绘的理论、方法和技术手段运用于网络空间态势感知,已成为测绘与网络两个领域研究人员共同关注的热点问题。首先,分别阐述了地理空间和网络空间的概念,并在此基础上回顾总结了地理网络空间学的发展历程与研究现状,提出了网络空间测绘的概念;其次,阐述了网络空间测绘的研究范围、作用与地位,阐明了网络空间测绘的技术体系,并深入分析了其所涉及的关键技术;最后,重点开展了地理网络空间制图技术的研究,并给出了初步实验结果。研究表明:网络空间作为测绘学研究的新对象,为传统测绘学提供了新的思维和理论,网络空间测绘学对于丰富和革新测绘科学理论和技术具有重要意义;发展并运用传统测绘的理论方法和技术手段,有助于网络研究和管理人员更及时、准确地探测网络资源,精确感知网络态势。

关键词 网络空间,地理空间,地理网络空间,网络空间测绘,网络节点定位,网络空间地图

中图法分类号 TP305 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2018.05.001

Research on Definition and Technological System of Cyberspace Surveying and Mapping

ZHOU Yang XU Qing LUO Xiang-yang LIU Fen-lin ZHANG Long HU Xiao-fei

(PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract Carrying out the research of geo-cyberspace and applying the theories, methods and technologies of geo-mapping to cyberspace situational awareness, have been the hot issues that researchers of survey-mapping and network focus on. Firstly, this paper expounded the concept of geospatial space and cyberspace respectively. After reviewing the development and research status of geo-cyberspace, the concept of cyberspace mapping was proposed for the first time. Then, the research range of surveying and mapping of cyberspace was described, and so were the function and statement. The technological system of network space mapping was sorted out, and the involved key technologies were analyzed. At last, this paper focused on the research of geo-cyberspace mapping technologies and gave the preliminary test results. The research shows that cyberspace provides thinking and theories for geography as a new space and thing. Cyberspace mapping research has important significance for constructing and enriching the surveying and mapping scientific theory. Development and application of methods and technologies used in geo-mapping can help network researchers and managers detect network resources and perceive network situation more timely and precisely.

Keywords Cyberspace, Geographical space, Geo-cyberspace, Surveying and mapping of cyberspace, Localization of network node, Cyberspace map

21 世纪,网络空间成为继“陆、海、空、天”之后的第 5 个战略空间^[1]。网络空间前沿技术在国防和社会经济活动中的广泛应用揭开了新一轮信息技术和信息化革命的序幕,世界各国纷纷加强网络空间的建设,以抢占网络空间的制高点。

网络技术与网络基础设施的飞速发展,使得人类日常的生产和生活对虚拟网络空间的依赖程度正日益增强。测绘作为人类认识和感知生活中的真实空间的主要技术手段,所针对的研究对象是包括“陆、海、空、天”在内的真实地理空间^[2],以计算机技术、光电技术、网络通讯技术、空间科学、信息科学

为基础,以全球定位系统(GNSS)、遥感(RS)、地理信息系统(GIS)为技术核心,通过测量手段获得以地球为主体的地理空间中各种要素的几何和属性信息,以反映地理空间的现状^[3]。网络空间与地理空间相结合,形成了一种新的空间——“地理网络空间(Geo-cyberspace)”^[4]。如何运用并发展测绘的理论、方法和技术手段,测量和绘制网络空间中的各种真实或虚拟的资源,并将网络空间的测绘成果与地理空间信息在一个统一的时空框架下进行无缝融合和数据挖掘与应用,从而更好地进行网络空间态势感知及信息管控等,已成

到稿日期:2017-03-06 返修日期:2017-05-05 本文受国家重点研发计划:网络空间资源测绘技术(2016YFB0801301-2,2016YFB0801303)资助。

周 杨(1974—),男,博士,教授,主要研究领域为摄影测量与遥感,E-mail:zhouyang3d@163.com(通信作者);徐 青(1964—),男,博士,教授,主要研究领域为摄影测量与遥感;罗向阳(1979—),男,博士,副教授,主要研究领域为网络安全;刘粉林(1965—),男,博士,教授,主要研究领域为网络安全;张 龙(1992—),男,硕士生,主要研究领域为摄影测量与遥感。

为测绘与网络两个领域研究人员共同关注的热点与难点问题,由此衍生出了一个新的理论与技术领域——网络空间测绘。

1 两种空间的定义

1.1 地理空间

地理学和测绘学研究的空问被称为地理空间,是地理实体、能量、信息的数量及行为在实体空间范畴内的广延性存在形式。地理空间表现出有限性特征,依据地理要素划分的地表圈层、区域、地方与地点都是具有时空边界的实体空间^[5]。

地理空间包括绝对空间和相对空间。绝对空间是一个清晰、自然的空问,显现的是真实或经验的实体;相对空间只是事件间的一种关系,或事件之间的某个方面,受到时间和过程的制约^[6]。舒红从“人在”“地在”“机在”3个方面辩证地论述了地理空间的存在^[7]。Frank认为地理信息科学既是人类认知地理空间的手段,也是人们借助一定手段(计算机等)认识地理空间后所形成的理论体系^[8]。

1.2 网络空间

网络空间包括广义网络空间和狭义网络空间。本文主要研究狭义网络空间,即互联网网络空间。

广义网络空间是指连接各种信息技术基础设施的网络,包括互联网、电信网、传感网、各种计算机系统,以及各类工业系统中的各种嵌入式处理器和控制器构成的物联网,同时还涉及虚拟信息环境,以及人和人之间的相互影响。网络空间中的实体突破了传统的空间、时间等限制,具有宿主角色未知、连接关系动态变化、地理位置难以确定等特点。网络空间是一个摆脱了实体性存在的虚拟人类社会,是人类生存的第二空间(第一空间是真实社会),是一个数字化、虚拟化、信息化的世界^[9]。

狭义网络空间特指互联网(Internet)空间,人类可借助计算机或手机等设备登录互联网,并以虚拟人的形态生存在其中的网上虚拟信息空间^[10]。1969年,因特网诞生于美国,随着接入的计算机、网民、网站和信息数量的延展和扩充,因特网得到广泛认可,并逐步发展为包含众多子网的互联网。当前,互联网空间正全面、深刻地影响着人类文明的进程。

2 地理网络空间学的发展历程与现状

网络空间测绘是近年才出现的新概念,目前尚未有一个权威的定义,但地理网络空间学却产生于20世纪90年代。自1991年互联网(World Wide Web, WWW)诞生以来,国外学者分别于1992年和1997年发表了“End of Geography”^[11]和“The Death of Distance”^[12]等文章,讨论了网络空间的兴起给传统地理学研究带来的机遇和挑战。从此,地理和网络领域的专家便开始关注网络空间与地理空间的融合问题,网络空间地理学的概念应运而生。Bakis首先提出“地理网络空间”一词,他认为“地理网络空间”是由“地理空间”和“网络空间”交织融合后形成的一种全新空间形式^[4]。

地理网络空间学的研究对象是各种通讯网络空间(包括互联网、物联网、传感网及其他存在于计算机屏幕以外的电子

“版图”),研究内容涉及基础物理设施定位、信息内容探测、数字空间社区人口统计和数字空间可视化及态势感知等一系列与地理相关联的现象,核心是虚拟网络空间与真实地理空间的虚实映射(即网络空间的地理特征),目的是找出空间、信息与人类行为之间的内在关联,重新定义地理学中的距离、尺度及区域等基本概念^[13]。

虽然网络空间依赖于地理空间而存在,具有一定的地理空间特性,但其性质和依赖程度存在较大争议。

一种观点认为,与地理空间相比,网络空间的时空关系发生了根本性改变,传统地理学的理论和技术发生了重大变革,其重要性降低。此观点的出发点是网络空间的信息本质以及网络通信导致的时空压缩,使得网络空间成为一个与人类生产和生活相关联的、新的、无地域疆界的虚拟空间。在这个空问里,人们能够突破时空限制相遇并相互影响,因此这样的地理网络空间学与传统地理学大相径庭^[14]。

另一种观点则认为,与传统地理空间相比,虽然网络空间具有虚拟、瞬时、互动等特性,但地理学的时空关系仍旧是网络空间不可或缺的关键要素^[15]。他们认为:1)网络空间的联结性与频宽分布是不平等的,具有较强的地域特征;2)当网络上传输的信息被认为与地理相脱离时,很多信息中蕴含的地理属性却是网络数据挖掘与应用的关键;3)网络空间的基础设施是在真实地理空间中构建的,网络节点的实体关系及拓扑联结性在很大程度上依赖于地理空间。因此,网络空间的发展离不开地理学理论与技术的支撑。

基于虚拟地理学研究,国外学者Batty初步阐述了网络空间的地理属性^[16],并指出地理网络空间是由真实场所、计算机空间、网络空间及网络场所形成的一种新的空间形式。传统地理学领域的核心是位置和空间(Place/Space),位置形成空间;计算机空间(Computer Space)是计算机存储中的一种虚拟空间;网络空间(Cyberspace)则是通过计算机信息网络将计算机空间连接而成的新抽象空间;网络位置(Cyber Place)是网络空间中的基础设施与传统地理空间的基础设施之间的映射关系。孙中伟等在界定网络空间的空间归属的前提下,提出了其物质性构建的体系框架,并在此基础上进一步分析了其外部物质层面所蕴含的地理内涵^[17]。Martin开展了基于互联网IP地址的地理网络空间学研究,绘制了IP密度可精确到街区的“英国互联网址拥有者地图”,该地图可准确且直观地描述重点域名所有者的分布状况^[18]。国内也有不少学者开展了基于IP的网络实体地理位置定位技术(简称IP定位)的研究,目的是根据联网设备的IP地址来获取其地理位置^[19-23]。

在地理网络空间学的具体应用方面,IP空间库在美国、英国等已进入实用阶段。例如,Visualware公司推出的CallerIP能直接显示与系统相连的IP地址,将其所处的城市、街区、网络节点及注册信息等全部反馈出来,并在地图上准确标注位置;美国劳伦斯伯克利国家实验室通过TraceRoute软件对互联网犯罪数据流动的路径进行监测,通过输出路由清单,有效追踪上网者的真实位置并进行相关统计,进而针对犯罪高发区进行环境因素等的相关分析^[24];美国国家安全和英

国政府通信总部(GCHQ)筹备“藏宝图计划”的目的是联合绘制一张实时的全球互联网互动地图^[25],这份地图不仅要映射电信和电缆设备,还包括主要的路由器节点。

综合分析国内外相关研究,我们认为,真实地理空间与虚拟网络空间是相辅相成、密不可分两个存在本体,地理空间是网络空间的承载,而网络空间是地理空间的扩展;随着技术的进步和人们思想观念的改变,两种空间之间的界限将逐渐模糊,出现“你中有我、我中有你”的局面,人类的活动将能自由地在两种空间中切换。研究网络空间与地理空间的虚实映射,认识空间对信息产生影响的方式以及信息变成真实地点的方式,成为了地理学家和网络学家面对的一个新研究领域,而以网络实体资源测量定位和虚拟资源探测为主要目的的网络空间测绘逐渐受到了测绘与网络两个领域学者的关注。

3 网络空间测绘的定义、地位和作用

3.1 网络空间测绘的定义

网络空间测绘是指以网络空间为对象,以计算机科学、网络科学、测绘科学、信息科学为基础,以网络探测、网络分析、实体定位、地理测绘和地理信息系统为主要技术,通过探测、采集、处理、分析和展示等手段,获得网络空间实体资源和虚拟资源在网络空间的位置、属性和拓扑结构,并将其映射至地理空间,以地图形式或其他可视化形式绘制出其坐标、拓扑、周边环境等信息并展现相关态势,并据此进行空间分析与应用的理论与技术。

网络空间测绘的研究范围分为广义、狭义两种。广义的研究范围(见图 1)是指:以网络空间中各种类型的网络为对象,研究传统的网络测量技术、基于地理空间测绘解决网络空间测量的相关技术,以及网络空间向地理空间映射的相关技术,其测量的对象包括实体资源和虚拟资源。狭义的研究范围是指:研究网络空间中某类具体网络(如互联网)中实体资源的定位、定性、与地理空间的映射技术,以及基于地理空间测绘解决该网络测量的相关技术(图 1 中的虚线框出部分)。文中主要探讨互联网空间测绘的理论与技术体系。

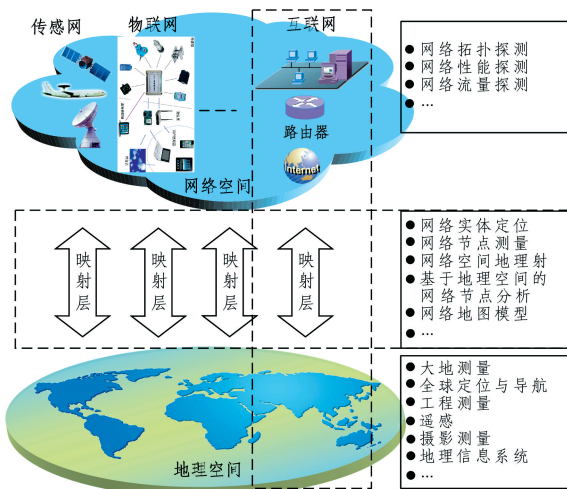


图 1 网络空间测绘研究的对象及范围

Fig. 1 Research object and scope of cyberspace surveying and mapping

3.2 网络空间测绘的地位和作用

网络空间测绘技术是探测网络空间资源,精确获取网络空间要素的地理属性及其周边地理环境信息,实现虚拟网络空间与真实地理空间的映射与融合,进行网络空间大数据挖掘与应用的有效手段。在网络空间态势感知中引入地理空间信息测绘的理论与技术手段,将时空数据建模、GPS 辅助精确定位、基于网络地标的测量、海量空间数据可视化、地理信息空间分析与应用等技术应用于网络空间测绘,实现网络节点的精确定位与精度和可靠性分析、网络链路的拓扑分析、关键节点缓冲区分析,可以满足网络空间态势精确感知与有效控制的需求,在军用与民用领域均可发挥重大作用。

在民用领域,网络空间测绘用于获取互联网用户的地理位置,能够帮助互联网服务提供商在地域上区分用户,从而更有针对性地提供与地域相关的服务。如在广告业中,Web 服务的用户访问网页时,互联网服务提供商若能定位用户的地理位置,便可添加针对性强的广告,以提高广告投放的效果。还有一些网站可根据用户的地理位置调整页面内容,智能地选择合适的语言页面并主动推送与其所在地域相关的天气预报或新闻资讯。

在军用领域,网络空间测绘更关心非合作网络的实体定位与信息感知,此类目标的定位难度更大,要求更高。网络空间测绘可为各类网络目标的定位和追踪提供技术支持,为开展反渗透、反心战、反窃密和反策反行动提供技术支持,对维护国家安全具有重要的现实意义,在保障国家网络空间安全方面具有重大价值。

4 网络空间测绘的技术体系

开展网络空间测绘的关键技术研究,以网络资源探测、网络拓扑分析、实体定位、测绘和地理信息系统为技术核心,通过探测、采集、处理、分析等手段获得网络空间虚拟与实体资源在网络空间和地理空间的属性,并将网络空间数据映射至地理空间,以地图或其他可视化形式表达网络空间资源的属性、坐标、拓扑、周边环境等信息,构建面向全球互联网的网络空间测绘体系,为维护国家网络空间安全和提升网络空间态势感知能力提供理论和技术支撑。网络空间测绘的技术体系如图 2 所示。

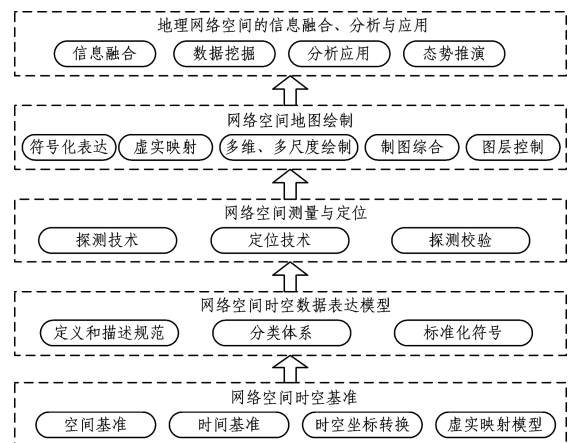


图 2 网络空间测绘的技术体系

Fig. 2 Technological system of cyberspace surveying and mapping

4.1 网络空间时空基准

网络空间具有虚实融合、动静结合等特点。网络空间要素分为实体要素和虚拟要素,80%以上的要素都与空间和时间有关,具有多源异构、多维、多时空尺度等特性。为了精确测量各类网络空间要素,并进行统一表达和有效应用,必须参考地理空间时空基准框架的构建思想^[26-30],建立一个网络空间时空基准框架,为各种网络空间信息的测量和应用提供不同维度的空间位置及其时间变化的参考基准;该基准必须能和地理空间时空基准进行精确、便捷、快速的转换。

4.2 网络空间时空数据模型

有学者认为,地理时空数据模型是一种有效组织、管理和表达时空地理数据的地理数据模型。该模型具有完整的空间、时间和专题语义,其时态特征强调地理对象的空间和专题特征是随时间变化的^[31-33]。

网络空间的要素包括实体要素和虚拟要素,其类型多样,结构复杂,具有瞬时、互动的特性。若要对各类网络空间要素的统一描述和有效应用,则必须参考地理空间时空数据模型的理论、方法和技术手段,建立网络空间时空数据模型。该模型能有效表达网络空间要素的时空语义,包括空间结构、有效时间结构、空间关系、时态关系、网络事件、时空关系等。

4.3 网络空间测量与定位技术

(1) 网络实体参考地标测量技术

网络实体参考地标是指具有精确坐标位置和准确 IP 地址的网络实体,其在网络空间测绘中的作用如同地理空间测绘中的控制点,可以借助一定的技术和手段,由它们推算出其他具有 IP 地址的网络实体资源的地理空间坐标。网络实体参考地标往往都是 IP 地址公开的标志性服务器,如门户网站服务器、电信运营商服务器,其服务器在地理空间中放置的大概位置也是众所周知的。可借助传统测绘中控制点的测量手段,如 GPS 测量、控制测量、摄影测量与遥感等技术,获得服务器所在位置的精确坐标,从而将 IP 地址与空间坐标关联,构建网络实体参考地标库,为后续网络节点的测量提供精确的控制数据。

(2) 基于网络参考地标的网络实体节点定位技术

基于网络参考地标的网络实体节点定位技术能够根据定位精度需求,基于参考地标、时延测量及拓扑分析结果,远程实现对网络目标实体不同级别的地理位置定位^[34]。主要技术流程如下:首先基于时延测量进行目标 IP 地址的粗粒度地域范围界定,然后对地标和目标及地标和地表之间的距离进行估计,最后对定位问题给出形式化描述,寻求适合的求解方法;同时,利用地理空间信息统计与分析的思想对目标进行细粒度的地理位置定位,给出目标定位结果的可靠性分析和精度评估与校正。网络实体节点的定位也被称为网络坐标的计算,最早出现的方法是 Ng 等人提出的 GNP^[35];通过对 GNP 的改进,又出现了 Vivaldi 等方法^[36-37]。如图 3 所示,此类方法的基本思想是对 Internet 网在几何空间建模,将网络节点映射为欧氏空间中的点,通过时延测量来预测已知网络实体参考地标和位置网络节点之间的距离,然后利用多个参考地标与同一个未知节点的距离交会出该未知节点的空间位置。

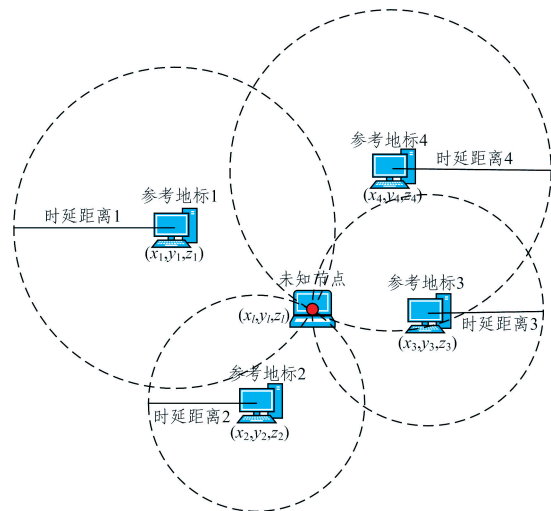


图 3 基于网络实体参考地标的网络实体节点定位技术

Fig. 3 Network entities geolocation technology based on network entities reference landmark

利用时延估计距离,进而交会出网络节点地理空间的方法,易受到网络负载不均衡、网络速率不稳定等因素的影响,从而产生较大的测量误差。针对上述不足,王意洁等提出了一种基于分簇的自适应网络坐标计算方法(CACC),该方法测量精度高,且具有较好的扩展性和收敛性^[38-39]。此外,以地理信息作为辅助的空间分析技术对测量结果进行检校与修正也可以有效提高节点定位的精度。

(3) 网络探测与拓扑分析技术

网络探测与拓扑分析技术是指综合应用分布式多点部署^[40]、多策略路径扫描^[41-42]、IP 别名解析^[43]、路由器别名归并等技术^[44-45]实施目标网络多点探测,并在网络实体角色分析的基础上进一步辨别网络实体操作系统的类型,分析网络资源属性,形成内容丰富的网络实体连接拓扑结构。通过该技术能够获得由源到目标的网络路径以及路由器层次的网络拓扑结构,提取网络实体之间的连接关系和时延等通信特征。

4.4 地理网络空间图绘制技术

传统测绘学中地图是表达地理知识和开展空间分析与应用的最好工具,与之类似,地理网络空间图是网络空间测绘研究的重要组成部分,其形象且直观地呈现出了互联网建构出的新领土空间,是我们深刻认识、掌握和控制网络空间的有效工具,是网络空间测绘信息挖掘和应用的基础。

(1) 网络空间地图要素的分类与符号设计

地理空间地图的通用符号标准体系已经比较成熟,目前正在向面向服务的空天地一体化多维空间符号设计方向发展^[46-48]。但是,网络空间地图符号的设计与表达尚处于空白,亟需一套成熟且完整、能应用于网络地图可视化表达的网络空间资源可视化符号规范,以促进网络空间资源测绘成果的进一步应用。为此,需要在深入研究网络空间测绘资源的种类和层次结构划分的基础上参考地图符号设计,结合网络空间中各种虚拟与实体资源要素的属性、等级、实际用途等因素,形成完备、合理、针对性、可扩展的符号表达规范,为网络空间资源多维度可视化表达提供依据与标准。

(2)地理网络空间制图——网络测绘成果可视化与态势展现技术

传统网络地图关注的是复杂网络结构的拓扑图、可视化信息检索、网络节点信息流可视化以及社会关系网络可视化等。形象直观的网络地图可以通过精确的展示帮助人们认识网络的内部结构,同时可以为挖掘隐藏在网络内部的有价值的信息提供帮助^[49-52]。由于忽略了虚拟网络空间与真实地理空间之间的时空坐标映射,传统的网络图并不符合人类的视觉思维,其时空关系也不清晰,因此难以利用地理空间数据进行网络信息的挖掘与应用。地理网络空间制图需要综合地理学、测绘学、计算机科学、科学计算可视化、社会学、文化学及认知心理学等领域的研究成果及理论,集成多源异构数据的同化与信息融合、海量地理空间信息与网络空间信息的集成可视化、制图综合、多尺度绘制、人机交互等关键技术,构建网络资源要素可视化系统,在高精度、跨尺度时空地图上叠加网络空间测绘成果,实现地理网络空间信息的可视化表达、态势分析与推演。

图4和图5给出了将网络测绘数据叠加到地理空间数据上的可视化表达实验结果。为了实现地理与网络空间的集成可视化,需要对网络空间数据进行分层分级,构建不同比例尺的网络图,从而实现海量网络测绘数据的动态展示、查询与分析。

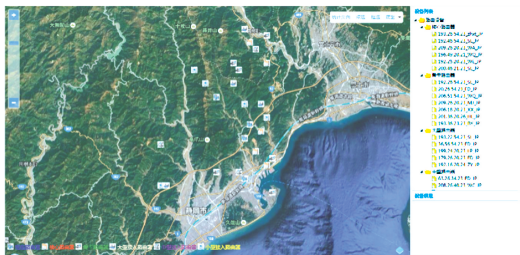


图4 网络测绘成果与遥感影像图的叠加可视化

Fig. 4 Overlapping visualization of cyberspace surveying and mapping results and remote sensing images



图5 网络测绘成果与矢量地形图的叠加可视化

Fig. 5 Overlapping visualization of cyberspace surveying and mapping results and vector map

4.5 地理网络空间的信息融合、分析与应用

在实现地理和网络空间多源异构、多尺度时空数据融合的基础上,开展基于地理网络空间数据挖掘与信息分析技术的网络空间测绘成果精度与可靠性分析、网络链路拓扑分析、网络节点缓冲区分析等关键技术研究,可为网络空间态势感知与控制提供技术支撑。其主要研究内容包括以下几个方面:1)基于空间关联规则^[53]的网络节点定位结果的精度与可

靠性分析。将大比例尺、高精度地理空间数据与网络空间测量结果进行精确配准和信息融合,然后基于地理空间数据的空间与属性信息来辅助分析网络测量结果的可靠性与合理性,进而分析并校正定位精度。2)地理网络空间链路拓扑分析。地理网络空间链路拓扑分析则是将网络拓扑结构图与地理拓扑结构图进行融合^[54],从融合的虚实拓扑结构图中提取关键网络节点,分析网络信息流向,在此基础上可进行最佳网络关注目标的确定,以及网络攻防效果的推演与评估等应用。3)网络节点缓冲区的分析。在大比例尺、高精度地理空间数据的基础上,借鉴地理空间缓冲区分析技术的思想^[55],以网络节点为中心,自动建立在节点周围一定宽度范围内的缓冲区多边形,然后将该多边形与地理要素图层叠加,从而提取关键网络节点周边的重要地理信息,利用缓冲区内存在的重要地理信息判断该网络节点的重要性,获取其地理属性。

结束语 一方面,随着信息技术的发展,传统测绘已高度依赖于网络,测绘数据的传输、生产作业的开展以及测绘成果的应用与服务都离不开网络。没有网络,测绘作业的效率将大幅降低,分布于各个不同地域的测绘成果库将成为信息孤岛,其在国民经济和国防建设中的作用难以发挥^[56]。另一方面,虽然网络空间是一种新的空间形态,其具有的虚拟、瞬时和互动特性与以实体、距离和边界所定义的传统地理空间有明显区别,但网络信息的感知、管理与安全维护同样离不开测绘。发展运用传统测绘的理论方法和技术手段,可以将网络空间和地理空间进行有机融合,帮助网络研究和管理人员更加及时、准确地探测网络资源,感知网络态势,维护网络安全。因此,网络空间不仅没有“终结地理学”,而且作为一种新的空间形式为地理学的拓展带来了巨大的机遇。开展网络空间测绘的研究,对于发展和丰富测绘科学理论具有重要意义。

参考文献

- [1] 郭莉,牛温佳,LI G.《网络安全行为分析》专辑前言[J]. 计算机学报,2014,37(1):1-2.
- [2] XU Q,JIANG T,ZHOU Y, et al. Construction of space situational awareness information support system[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2013, 30(4): 424-432. (in Chinese)
徐青,姜挺,周杨,等.空间态势感知信息支持系统的构建[J]. 测绘科学与技术,2013,30(4):424-432.
- [3] WANG J Y. The Process of geomatics navigation and geographic information science and technology[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2014, 31(5): 441-449. (in Chinese)
王家耀. 测绘导航与地理信息科学技术的进展[J]. 测绘科学技术学报, 2014, 31(5): 441-449.
- [4] BAKIS H. Understanding the geocyberspace: A major task for geographers and planners in the next decade[J]. Netcom, 2001, 15(1/2): 9-16.
- [5] CAI Y L, YE C, CHEN Y G, et al. Geographical Methodology [M]. Beijing: Science Press, 2011: 27-28. (in Chinese)
蔡运龙,叶超,陈彦光,等.地理学方法论[M].北京:科学出版社,2011:27-28.
- [6] BLAUT J. Space and process[J]. The Professional Geographer, 1961, 13(4): 1-7.

- [7] SHU H. The being of geographical space[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2004, 29(10): 868-871. (in Chinese)
舒红. 地理空间的存在[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2004, 29(10): 868-871.
- [8] FRANK A U. Tiers of ontology and consistency constraints in geographic information system[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, 15(7): 667-668.
- [9] ZHANG G. Studies on cyberspace[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013. (in Chinese)
张果. 网络空间论[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [10] SUN Z W, LU Z, WANG Y. The geography of cyberspace: review and prospect [J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(10): 1005-1011. (in Chinese)
孙中伟, 路紫, 王杨. 网络信息空间的地理学研究回顾与展望[J]. *地球科学进展*, 2007, 22(10): 1005-1011.
- [11] O'BRIEN R. *Global Financial Integration: The End of Geography*[M]. New York: Council on Foreign Relations Press, 1992: 1-120.
- [12] CAIRNCROSS F. *The Death of Distance: How the Communications Revolution Will Change Our Lives*[M]. Boston: Harvard Business School Press, 1997.
- [13] JIANG L Q, ZHOU Z R, LIU Z R, et al. The progress of cyber-geography research outside China[J]. *World Regional Studies*, 2002, 11(3): 92-98. (in Chinese)
蒋录全, 邹志仁, 刘荣增, 等. 国外赛博地理学研究进展[J]. *世界地理研究*, 2002, 11(3): 92-98.
- [14] MORLEY D, ROBINS K. *Spaces of Identity: Global Media, Electronic Landscapes and cultural Boundaries* [M]. London: Routledge, 1995.
- [15] KITCHIN R. Towards geographies of cyberspaces[J]. *Progress in Human Geography*, 1998, 22(3): 385-406.
- [16] BATTY M. Virtual geography[J]. *Futures*, 1997, 29(4/5): 337-352.
- [17] SUN Z W, HE J L, TIAN J W. Cyberspace attribution and the geographical cognition of its material construction[J]. *World Regional Studies*, 2016, 25(2): 148-157. (in Chinese)
孙中伟, 贺军亮, 田建文. 网络空间的空间归属及其物质性构建的地理认知[J]. *世界地理研究*, 2016, 25(2): 148-157.
- [18] DODGE M, KITCHIN R. Mapping Cyberspace[J]. *International Encyclopedia of Human Geography*, 2000(1): 356-367.
- [19] ZHAO F. Research on IP Positioning Algorithm Based on Path Detection and Time Delay Measurement[D]. Zhengzhou: PLA Information Engineering University, 2015. (in Chinese)
赵帆. 基于路径探测与时延测量的 IP 定位算法研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2015.
- [20] LI W. Research and Implementation of Network Location Based on IP Address[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012. (in Chinese)
李威. 基于 IP 地址的网络实体地理位置定位技术与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.
- [21] WANG Z F, FENG J, XING C Y, et al. Research on the IP Geolocation Technology[J]. *Journal of Software*, 2014, 25(7): 1527-1540. (in Chinese)
王占丰, 冯径, 邢长友, 等. IP 定位技术的研究[J]. *软件学报*, 2014, 25(7): 1527-1540.
- [22] JIA W W. Traceroute-based optimization of client-independent IP geolocation system[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2013. (in Chinese)
贾伟伟. 基于路由追踪的 IP 定位优化[D]. 郑州: 郑州大学, 2013.
- [23] JIANG Y L. Research on rules and methods of information mapping of entity's physical space and cyberspace [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2012. (in Chinese)
姜亚丽. 实体的物理空间与网络空间的信息映射规则与方法的研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2012.
- [24] PAXSON V. Measurements and analysis of end-to-end Internet dynamics[D]. Lawrence Berkeley Lab. CA, 1997.
- [25] Treasure map [OL]. www.spiegel.de/international/world/snowden-documents-indicate-nsa-has-breached-deutsche-telekom-a-991503.com.
- [26] WEI Z Q. Proposal concerning CHINA geodetic coordinate system 2000 [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2006, 26(2): 1-4. (in Chinese)
魏子卿. 关于 2000 中国大地坐标系的建议[J]. *大地测量与地球动力学*, 2006, 26(2): 1-4.
- [27] CHEN J Y. Chinese Modern Geodetic Datum—Chinese geodetic coordinate system 2000 (CGCS2000) and its frame [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2008, 37(3): 269-271. (in Chinese)
陈俊勇. 中国现代大地基准: 中国大地坐标系 2000 及其框架[J]. *测绘学报*, 2008, 37(3): 269-271.
- [28] YANG Y X. Chinese geodetic coordinate system 2000 [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(16): 2271-2276. (in Chinese)
杨元喜. 2000 中国大地坐标系[J]. *科学通报*, 2009, 54(16): 2271-2276.
- [29] MA G F, DENG Y, DU L. The unit of coordinates and time in space-time reference systems[J]. *Progress in Astronomy*, 2010, 28(4): 383-390. (in Chinese)
马高峰, 邓勇, 杜兰, 等. 时空参考系中的坐标和时间单位[J]. *天文学进展*, 2010, 28(4): 383-390.
- [30] LV Z P, WEI Z Q, L J, et al. The establishment of high precise coordinate transformation grid model of CGS2000 [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2013, 42(6): 791-797. (in Chinese)
吕志平, 魏子卿, 李军, 等. CGCS2000 高精度坐标转换格网模型的建立[J]. *测绘学报*, 2013, 42(6): 791-797.
- [31] WANG J Y, WEI H P, CHENG Y, et al. The research and development of spatio-temporal GIS [J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2004, 24(5): 1-4. (in Chinese)
王家耀, 魏海平, 成毅, 等. 时空 GIS 的研究与进展[J]. *海洋测绘*, 2004, 24(5): 1-4.
- [32] SHE J F, FENG X Z, DU J K. A review on progress in spatio-temporal data modeling [J]. *Journal of Nanjing University (Natural science)*, 2005, 41(3): 259-267. (in Chinese)
余江峰, 冯学智, 都金康. 时空数据模型的研究与进展评述[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2005, 41(3): 259-267.
- [33] CHEN X B, LI S N, ZHU J J. Spatiotemporal datamodel related concepts and its classifications [J]. *Hydrographic Surveying and Charting*, 2009, 29(5): 74-76. (in Chinese)
陈新保, LI S N, 朱建军. 时空数据模型的相关概念及分类[J]. *海洋测绘*, 2009, 29(5): 74-76.

- [34] CHEN J N, LIU F L, LUO X Y, et al. A Landmark Calibration Based IP Geolocation Approach[J]. EURASIP Journal on Information Security, 2016, 2016(1): 4.
- [35] NG T S, ZHANG H. Predicting internet network distance with coordinates-based approaches[C]// Proc. of IEEE INFOCOM 2002. 2002; 170-179.
- [36] DABEK F, COX R, KAASHOEK F, et al. Vivaldi: A decentralized network coordinate system[C]// Proc. of ACM SIGCOMM 2004. New York: ACM, 2004; 15-16.
- [37] CHEN J N, LIU F L, ZHAO F, et al. A SC-Vivaldi Network Coordinate System Based Method for IP Geolocation[J]. Journal of Internet Technology, 2016, 17(1): 1119-1128.
- [38] WANG Y J, LI X Y. Network distance prediction technology research [J]. Journal of Software, 2009, 20(6): 1574-1590. (in Chinese)
王意洁, 李小勇. 网络距离预测技术研究[J]. 软件学报, 2009, 20(6): 1574-1590.
- [39] LI X Y, WANG Y J. CACC: An adaptive network coordinate computing method based on clustering[J]. Journal of Computer Research and Development, 2009, 46(Suppl.): 181-186. (in Chinese)
李小勇, 王意洁. CACC: 一种基于分簇的自适应网络坐标计算方法[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(增刊): 181-186.
- [40] WANG L L. Research on node deployment and topology reconfiguration of wireless sensor networks [D]. Nanjing: Nanjing University of Technology, 2014. (in Chinese)
王力立. 无线传感器网络节点部署及拓扑重构问题研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- [41] HE M. Research on recourse location and search model in content delivery P2P network based on user requirements[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2015. (in Chinese)
何明. 基于用户需求的内容分发 P2P 网络资源定位搜索模型研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2015.
- [42] LIU B, ZHANG S Q, TANG C J. Research on the detection before scan[J]. Computer Engineering and Applications, 2005, 41(7): 145-148. (in Chinese)
刘斌, 张森强, 唐朝京. 扫描探测技术研究[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(7): 145-148.
- [43] YIN Q R. Research on internet topology and key technologies [D]. Nanjing: Southeast University, 2015. (in Chinese)
殷庆荣. 因特网拓扑及其关键技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2015.
- [44] SHI M. Research on techniques of automatic network topology discovery[D]. Zhengzhou: PLA Information Engineering University, 2007. (in Chinese)
石玫. 网络拓扑自主发现[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2007.
- [45] WANG S S, YIN X C, HAO G M. Alias resolution algorithm of router interface[J]. Journal of Airforce Engineering University (Natural Science Edition), 2009, 10(4): 62-65. (in Chinese)
王燊燊, 殷肖川, 郝果旻. 路由器接口别名解析算法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2009, 10(4): 62-65.
- [46] LI W, CHEN Y F, QIAN L T, et al. Personalized map symbol design mechanism based on linguistics[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015, 44(3): 323-329. (in Chinese)
李伟, 陈毓芬, 钱凌韬, 等. 语言学的个性化地图符号设计[J]. 测绘学报, 2015, 44(3): 323-329.
- [47] JIAO D L, ZHANG H T, LV G N, et al. Coupling of map symbol web service and web map service[J]. China Journal of Image and Graphics, 2013, 18(9): 1190-1196. (in Chinese)
焦东来, 张海涛, 闫国年, 等. 地图符号服务与地图服务的耦合[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(9): 1190-1196.
- [48] SHI Q S. Theory and practice of cognition and expression of space situation[D]. Zhengzhou: PLA Information Engineering University, 2015. (in Chinese)
施群山. 空间态势认知与表达的理论与实践研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2015.
- [49] AHMED A, DYWER T, HONG S H, et al. Visualisation and Analysis of Large and Complex Scale-free Networks[C]// EURO-GRAPHICS—IEEE VGTC Symposium on Visualization. 2005; 1-8.
- [50] WANG B, WU W, XU C Q, et al. A survey on visualization of complex network[J]. Computer Science, 2007, 34(4): 17-23. (in Chinese)
王柏, 吴巍, 徐超群, 等. 复杂网络可视化研究综述[J]. 计算机科学, 2007, 34(4): 17-23.
- [51] SUN Y, JIANG Y X, ZHAO X, et al. Survey on the research of network visualization[J]. Computer Science, 2010, 32(2): 12-18. (in Chinese)
孙扬, 蒋远翔, 赵翔, 等. 网络可视化研究综述[J]. 计算机科学, 2010, 32(2): 12-18.
- [52] SUN Y, ZHAO X, TANG J Y, et al. Multivariate network visualization paradigm[J]. Journal of Software, 2010, 21(9): 2250-2261. (in Chinese)
孙扬, 赵翔, 唐九阳, 等. 一种多变元网络可视化方法[J]. 软件学报, 2010, 21(9): 2250-2261.
- [53] ZHANG X W, SU F Z, SHI Y Z, et al. Research on progress of spatial association rule mining [J]. Progress in Geography, 2007, 26(6): 119-128. (in Chinese)
张雪伍, 苏奋振, 石忆邵, 等. 空间关联规则挖掘研究进展[J]. 地理科学进展, 2007, 26(6): 119-128.
- [54] WEN Z Y. The research of clustering algorithm with well-distributed cluster head in wireless sensor network[D]. Changsha: Hunan University, 2013. (in Chinese)
文昭彦. 无线传感器网络地理均匀性分簇算法研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
- [55] LI N, XIAO K Y, YIN J N, et al. A method of 3D buffer analysis of boundary representation [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2015, 27(9): 1625-1636. (in Chinese)
李楠, 肖克炎, 阴江宁, 等. 表面模型缓冲区分析方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2015, 27(9): 1625-1636.
- [56] LI D R. Towards Geo-spatial information science in big data era [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2016, 45(4): 379-384. (in Chinese)
李德仁. 展望大数据时代的地球空间信息学[J]. 测绘学报, 2016, 45(4): 379-384.