

与地理空间紧关联的网络空间地图模型

张 龙¹, 周 杨¹, 施群山¹, 罗向阳², 赵海鹏¹

¹信息工程大学地理空间信息学院 郑州中国 450001

²信息工程大学网络空间安全学院 郑州中国 450001

摘要 现有网络数据可视化中与地理空间信息紧密结合表达的研究较少, 难以支撑网络资源测绘数据表达与分析, 制约了网络资源测绘数据可视化理解和认知。为此, 本文提出了一种与地理空间紧关联的网络空间地图模型。首先, 界定了本文网络空间的定义, 分析了网络空间与地理空间的关系; 给出了与地理空间紧关联的网络空间地图模型及组成要素; 最后, 详细阐述了与地理空间紧关联的网络空间地图中涉及的网络资源符号体系、多尺度可视化表达和分析应用三项关键技术。本文希望能够为地理信息辅助下的网络空间态势感知提供新的探索方式和研究思路。

关键词 网络资源测绘; 网络空间地图; 网络资源符号; 多尺度表达; 时空信息挖掘
中图分类号: P28 DOI号 10.19363/J.cnki.cn10-1380/tn.2018.07.06

Cyberspace Map Tightly Coupled with Geographical Space

ZHANG Long¹, ZHOU Yang¹, SHI Qunshan¹, LUO Xiangyang², ZHAO Haipeng¹

¹ Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, ZhengZhou 450001, China

² Institute of Cyberspace Security, Information Engineering University, ZhengZhou 450001, China

Abstract There is little research on the tightly combined expression of the existing cyberspace data visualization with the geographical information, which is hard for the expression and analysis of cyberspace resources. It also restricts our understanding and cognition to the cyberspace resources. For this reason, this paper draws on the relevant principles and techniques in cartography and geospatial analysis, and proposes a cyberspace map that is tightly coupled with geographical space. First, we define the cyberspace of this paper and analyze the relationship between cyberspace and geospatial. Then, we propose the concept and elements of cyberspace map that are tightly coupled with geospatial space. Finally, we elaborate the key technologies of the cyberspace map from three aspects in detail, including symbol system of cyberspace resources, multi-scale visualization & expression and analysis & application. This paper hopes to provide new exploration methods and research ideas for cyberspace situational awareness with the aid of geographical information.

Key words Cyberspace surveying and mapping; Cyberspace map; Cyberspace resource symbol; Multi-scale expression; spatio-temporal information mining

0 引言

伴随网络发展进程不断加速, 网络空间前沿技术为人们日常生活、社会经济生产和国防科工建设带来新一轮信息化革命。网络空间态势感知作为发展网络空间的重要环节, 受到了世界各国广泛关注。测绘网络空间资源, 绘制网络空间地图, 正确认识和理解网络空间是控制和管理网络空间的首要环节。伴随网络定位手段的不断丰富、网络定位精度的逐渐提升、网络虚拟画像与地理人的关联更为紧

密, 衍生出的网络空间测绘成为网络和测绘领域学者共同关注的研究方向^[1, 2]。

国内外都在积极开展网络数据可视化表达和应用方面的研究。以美国藏宝图计划为代表, 美国国家网络安全局联合五国关注网络空间多层(地理层、物理层、逻辑层、社交层)数据的捕获及快速分析, 旨在创造一张近乎实时绘制和可以交互的全球互联网地图, 将整个网络置于监控之下, 包括网络空间中所有设备, 且不论时间和地点^[3]。美国 X 计划中心 DARPA 也在为网络战部队提供战场地图快速描绘能

通讯作者: 周杨, 博士, 教授, Email: zhouyang3d@163.com。

本课题得到国家重点研发计划课题“网络资源测绘模型与方法”(No. 2016YFB0801301)资助。

收稿日期: 2018-03-30; 修改日期: 2018-05-30; 定稿日期: 2018-06-19

力,并辅助生成作战计划。美国诺思(Norse)公司最近公布了一种可显示正在进行的网络攻击的实时地图。俄国卡巴斯基实验室从公司的安全网络中提取数据绘制了网络威胁实时地图。同时,中国知道创宇公司的钟馗之眼(ZoomEye)绘制了全球 42 亿 IP 的网络空间地图。华为推出 RAN 网络 IP 可视化运维服务解决方案。高俊院士认为赛博空间与地理空间互相重叠需要认知,也需要采用可视化的方法让用户理解^[4]。武汉大学艾廷华教授认为网络虚拟空间与地理空间有相同之处,从地图学的角度,赛博网络图的设计面临巨大挑战^[5]。张峥对于赛博地图有较多描述,其认为赛博地图是根据一定的数据法则,使用符号系统,通过多尺度表达,表示赛博空间中各种信息之间的联系及其随时间发展变化状态的图形。赛博地图所绘制的赛博空间本身就囊括网络空间,因此对本文所要描述的网络空间地图具有一定的参考价值。

将复杂的网络空间直观、方便地表达,最好的方法就是可视化。地理空间可视化研究已经开展了较长时间,对于地理空间实体以及实体间关系的二、三维描述已经有了较多的研究进展^[6,7]。而网络研究及网络与地理关联研究的兴起,一定程度上促进了人们对网络空间进行可视化表达的兴趣,与此同时对更好地表达网络空间的相关可视化技术提出了更大的挑战。传统网络可视化图主要包含复杂网络结构的拓扑图、网络节点信息流可视化、社会关系网络可视化及可视化信息检索等方面^[8]。而网络空间测绘数据可视化,不能忽略虚拟网络空间与真实地理空间之间的时空坐标映射,应该符合人类视觉思维,清晰表达时空关系,使之能够利用地理空间数据进行网络信息挖掘与应用。

如同地理空间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一样,网络空间地图是网络空间测绘研究的重要组成部分,可形象直观地呈现出互联网构建出的新领土空间,为我们提供一个深刻认识、掌握和控制网络空间的有效手段,是网络空间测绘信息挖掘和应用的基础。

为此,本文借鉴和延续地理空间可视化与地理空间分析的技术和手段,在分析网络空间与地理空间关联关系的基础上,提出了一种与地理空间紧关联的网络空间地图模型。

1 网络空间与地理空间

1.1 网络空间

认识网络空间是绘制网络空间地图的前提。网

络空间往往可以分为广义网络空间和狭义网络空间。广义网络空间是指连接各种信息技术基础设施的网络,包含互联网、电信网、传感网、工业和军事等内部网络、工业系统中内嵌的控制、处理装置组合形成的物联网,各种计算机系统,信息数据构建的虚拟空间,和社会人间的相互关联。狭义网络空间特指互联网(Internet)空间,现实中人们使用计算机、平板电脑和手机等可联网机器以虚拟人身份进入的虚拟信息空间。

本文研究的网络空间主要是狭义网络空间即互联网网络空间。

1.2 地理空间

地理空间是地理学和测绘学所研究的基础空间,是地理空间实体要素、空间信息、物质能量以及行为表现等在客观真实世界内的广延性存在形式,特指空间要素形态特征、组成结构、基本关系、功能效应、过程变化的空间分布格局和方式与时间要素耦合的延续^[9]。

地理要素空间分布范围决定了地理空间具有有限性。地表圈层、国家、地区、某个地方等描述反应出地理空间是一个有边界的客观真实空间。同时,地理空间又分为绝对空间和相对空间两大类。绝对空间是可以直接或间接感知的物理实体,相对空间是指空间内部事件的关联性或时空约束性。舒红从人-机-地三方面辩证开展了地理空间认知研究。同时在地理空间认知研究基础之上,形成了具备完善理论体系的地理空间信息科学^[9]。

1.3 网络空间和地理空间的关系

网络空间与地理空间的结合产生于 20 世纪 90 年代,被称为“网络地理空间学”。20 世纪末伴随互联网诞生后,国外学者发表的《地理终结》和《消失的距离》等文章引起国际上广泛热议,纷纷探讨网络空间的诞生对地理空间信息科学研究产生的冲击和挑战。地理学和网络领域的专家开始聚焦网络与地理关联和融合,相关学者进行了两个空间的认知辨证研究,由此产生了网络空间地理学的概念,后续研究又不断扩充了其内涵和外延^[10,11]。

网络地理空间学主要面向互联网网络,围绕网络空间的空间特征开展研究。其中主要研究内容包含基础物理设施、数字化活动、信息流通和数字统计和表达等。研究的核心内容是探讨社会人、网络、地理空间与数字化信息数据间的相互关联和影响,以及重新定义地理学中基本概念如距离、方位、区域等。

网络空间依附于地理空间,但网络空间其虚拟、

动态等特点决定了两者间存在区别和差异,因而也是引起较多学者争议的原因之一。

伴随地理网络空间学的发展,以网络实体资源探测定位技术和虚拟资源关联画像手段为核心形成的网络空间资源测绘引起了网络信息和测绘科学领域学者的共同关注和聚焦。国内外许多科研院所和公司部门都在对网络地理空间学开展针对性研究^[12, 13]。

Batty 在其虚拟地理学研究中较为详细地阐述了网络空间所依附的真实地理性,并明确指出计算机网络中的网络拓扑结构、信息流通所处客观空间和环境离不开真实地理空间^[14]。路紫等人运用主成分、网络分析等方法,对中国现实地理空间和虚拟网络空间进行比较,从以省域为单元的联系频率、基于主干网的联系形式和城市节点间的联系速度等方面进行了两个空间的认知比较,给出了规律性的结论。张峥认为地理空间是赛博空间所依附的客观载体,赛博空间中物理和信息两部分都不能离开地理空间而单独存在。孙中伟等人针对网络与地理的空间关联性开展了较多研究,回顾网络信息空间的地理学相关研究成果,对比地理空间和网络空间的基础上,认为网络空间不能脱离传统地理空间,而应该将两个空间进行关联分析^[15]。

本文认为,真实地理空间与虚拟网络空间相辅相成、不可分离,地理空间是网络空间的载体,而网络空间是地理空间的又一平行拓展。伴随网络实体定位技术不断发展和完善、网络虚拟画像与地理人的紧密度不断提升,网络空间和地理空间并不再绝对独立,而是相互兼容甚至有机融合,人类可以在两个空间中形成映射并随意切换。研究网络空间与地理空间的虚实映射,理解信息传输与社会、地理空间的关联关系,认识两个空间的信息转换已成为地理和网络两个领域专家、学者共同关注的热点问题。

当然,网络空间作为新的空间形态,与以实体、距离、边界所定义的传统地理空间有截然不同。地理学家和测绘学家除了需要持续聚焦地下、地表和太空等多范围的地理空间外,也有必要开展网络与地理空间的融合问题研究探讨,从而认知两个空间相互关系和开展信息挖掘等工作。

2 与地理空间紧关联的网络空间地图

地图是人类认识和描述地理空间的重要工具,也是人们认识网络空间的重要工具。地图学学科中完善的系统理论和地图学在设计、表达及应用分析等多方面的成熟思想,为绘制网络空间地图提供了非常好的参考准则。

本文网络空间地图是结合网络资源自身属性、构成和分类等基础上,在地图学原有研究基础上的迁移、延续和借鉴,其目的是实现网络资源时空数据模型、符号体系、多尺度可视化和分析应用等多方面的映射关联,从而丰富原有地图学的研究成果。

2.1 网络空间地图

针对本文所研究的网络空间,网络空间地图目前缺乏具体、客观的描述,较多情况下将其认为是赛博地图。从网络空间资源要素构成来看,网络实体资源本身处在地理空间内部,网络虚拟资源要素依附于地理空间内,可以认为是地理空间中的一种现象。毋庸置疑,网络空间与地理空间存在交叉与重叠,这也是近些年来地理学和测绘学的专家和学者开始关注网络空间或赛博空间的原因之一。

近些年来,伴随网络实体定位手段的不断丰富以及网络定位结果精度的快速提升,网络画像技术飞速发展,由虚拟空间和社会空间进而与地理空间的关联紧密度也不断提高,因而出现了网络空间测绘研究方向,进而对其网络空间测绘资源数据的表达成为了研究的热点之一,即绘制网络空间地图。

网络空间地图是指将网络空间测绘数据(网络实体定位结果、网络拓扑分析数据、网络画像数据等)与地理空间信息数据进行叠加、融合后,经可视化处理在屏幕上显示的地图。地图是指根据一定的绘制法则,使用制图方法,通过制图综合在一定的载体上,表达地球(或其他天体)上各种事物的空间分布、联系及时间中发展变化状态绘制的图形。电子地图是指数字地图经可视化处理在屏幕上显示出来的地图。因此,我们认为网络空间地图是一种专题地图,且为电子地图专题地图中的一类。该地图偏向关注网络拓扑结构、网络资源分布等,地理空间信息数据在其中起不可或缺的辅助作用。同时使用的影像、矢量图层与需要表达的网络空间测绘数据在同一屏幕内呈现两层视觉感受水平,可以利用视觉变量将网络空间测绘数据高亮或者将所使用的地理空间图层做暗黑处理。

网络空间地图框架主要由六个部分组成,分别为网络空间资源数据获取、组织、表达、分析、表现和应用,如图1所示。数据获取或数据源主要包含传统测绘手段、数据库查询、网络定位、网络拓扑探测、网络画像和网络挖掘、采集等,是进行网络空间地图绘制的前提。数据组织主要包含时空数据模型、资源图谱和视觉内容选择,是进行网络空间地图绘制的基础。数据表达主要包含符号化和可视策略两大部分,是进行网络空间地图绘制的核心。基于网络空间地图表达基础上,可开展资源空间分布统计、

拓扑链路分析、节点辅助校正和信息挖掘等多种分析工作。网络空间地图主要表现内容包含网络实体资源的地理分布展示、网络实体资源间的拓扑关联展示、带有地理标记的网络数据如微博、微信等数据的密度分布等系列展示、网络虚拟资源与对照实体资源的概率映射分布等。网络空间地图可以提供地图服务、辅助指挥决策、开展模拟仿真、进行态势感知和方便网络管理等, 在企业生产、工业管理、科研教育和部门安全等多个领域发挥作用。

网络空间地图与地理空间紧关联的关系一方面体现在网络测绘结果与地理空间信息数据的叠加、

融合, 另一方面网络空间地图绘制是在地图学和地理空间分析原理和方法上的延续和迁移, 同时网络空间地图又可补充和丰富原有地图学成果。网络空间地图是在人们网络态势感知基础上概括总结的成果, 同时基于网络空间地图人们又可以进行分析工作从而更好的认知网络态势。不同于传统或一般的网络态势图或态势表达系统, 网络空间地图的建立是伴随着多种网络定位手段的进步而衍生的新型问题。而网络空间地图能够较好地地将网络空间和地理空间结合, 其实质是结合了网络资源或网络测绘结果其具有的不可舍弃或亟需聚焦的地理属性。

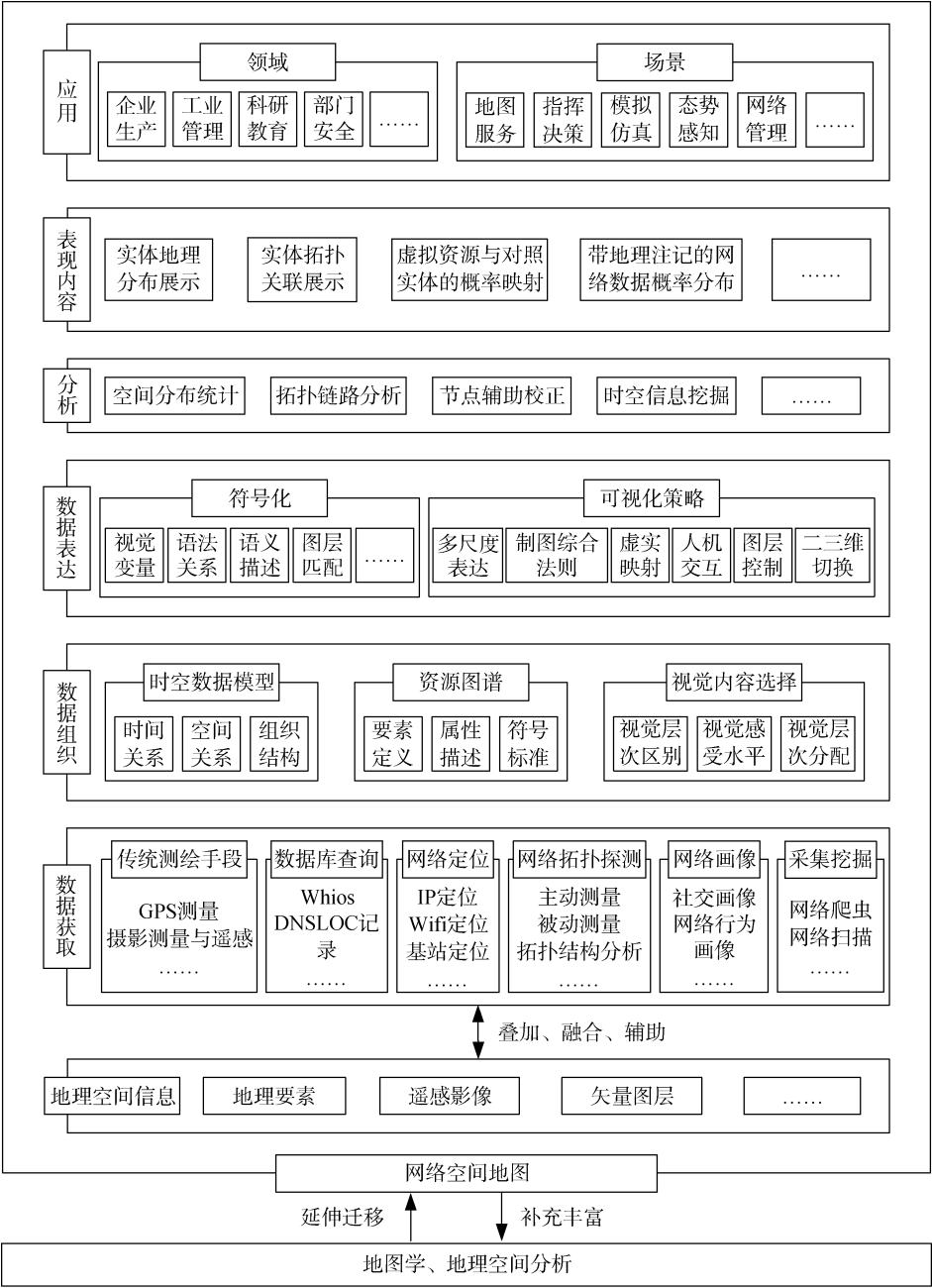


图 1 与地理空间紧关联的网络空间地图基本框架

Figure 1 Framework of cyberspace map tightly coupled with geographical space

与传统地图的不同之处在于,网络空间地图是地理空间信息数据与网络资源要素的叠加或融合,是保留地理位置属性基础上的网络测绘结果可视化展示,更加凸出表现网络测绘要素的位置、属性和关联等信息。例如,对网络实体定位结果进行可视化展示时,与地理空间实体不同之处在于,网络空间定位结果通常是区域型,数据形式通常为中心点经纬度坐标加缓冲区半径。而网络虚拟定位结果则依附于网络实体,且随着时间变化其分布常出现跳变的特点。

2.2 网络空间地图的表达要素

从互联网体系结构角度,网络资源可以分为两大类,即网络实体资源和网络虚拟资源。网络实体资源: 又称网络基础设施, 包含 IP 化实体网元(例如路由器、服务器、终端主机等)和非 IP 化基础设备(例如交换机)。由于网络实体资源真实存在于物理空间,具有典型的地理空间分布特征,因此也可以作为地理空间实体。网络虚拟资源: 是由网络实体资源物理层次之上进行的一系列数字化行为活动构成,可以分为应用服务、虚拟实体和数据资源三大类。网络虚拟资源存在于网络虚拟空间,虽然不能触摸或直接被人感知,但作为依附于地理实体之上的网络现象,可看作为一种客观存在的现象。

同时,时空数据模型在地理空间信息中应用广泛,已经成为地理空间信息管理的重要手段之一^[16]。而网络空间地图作为专题地图的一类,有必要对网络资源要素构建时空数据模型用于表达。因此,网络空间资源要素进行分类、分级以及对各个资源要素的属性信息进行描述是建立网络时空数据模型的基础。构建网络资源图谱或建立网络资源要素数据库,对各个资源要素进行存储时就可以采用规范统一的描述形式,用共同的字段区间进行约束和标准化,从而便于网络空间地图表达的数据输入。

2.2.1 地图要素数据的主要获取方式

地理图层数据源较为丰富,有较多的数据获取手段,本文不再一一赘述。下面介绍网络测绘成果或网络空间表达数据的主要数据来源及获取方法。

(1) 数据库查询。主要是指对目前互联网上已有的公开测绘数据集进行查询。例如以 Whois 为代表的网络 IP 定位数据库,其中包含用户注册的信息,包含 IP 网名、地理注册地址、归属 IP 段、邮箱、联系方式和标签等。

(2) 网络定位。主要是指网络资源要素的地理空间数据的获取方式,包含 IP 地理定位、Wifi 定位和基站定位等多种方式。利用相关定位算法,借助网络

拓扑结构或“时延-距离”的换算关系,确定资源所处区域,得到网络测绘要素的真实地理位置信息。网络虚拟资源主要是将信息映射到 IP 地址上,从而进一步映射到网络实体。

(3) 网络拓扑探测。主要是指利用探测源或探测机对已知或未知的网络要素进行网络拓扑探测,从而获取探测路径中的经过路由或节点信息,包括时延等。例如较为常见的 traceroute 通过发送数据包并返回 TTL 值,从而获知中间经过的路由跳数顺序和 IP 地址,并包含中间路由的地理位置。

(4) 网络采集和扫描。主要是指一些网络爬虫技术或扫描手段对网络要素进行主动或被动的信息获取。借助计算机硬件或软件系统,按照一定的规则,自动获取日志、程序或脚本等。

2.2.2 网络空间地图表达要素的数据分类

根据表达内容,可以把网络空间地图数据划分为基础地理数据与网络测绘数据两大类,如图 2 所示。基础地理数据以空间数据为主,是网络测绘地图中反映制图区域地理环境基础信息的综合性数据,虽然其在网络测绘地图中承担辅助性的角色,但同样是网络测绘地图的重要表达内容之一。网络测绘数据主要分为空间数据和非空间数据两大类。网络测绘空间数据主要是指网络资源要素的定位数据。网络测绘的非空间数据主要是指网络实体资源的 IP 地址、类型、时间、状态、国家、AS 域等一系列的属性数据、网络虚拟的类型、AS 归属、映射 IP 段以及拓扑关联信息等。网络测绘的非空间数据主要分为资源属性数据、测绘要素的统计数据、资源关联的用户信息数据等。

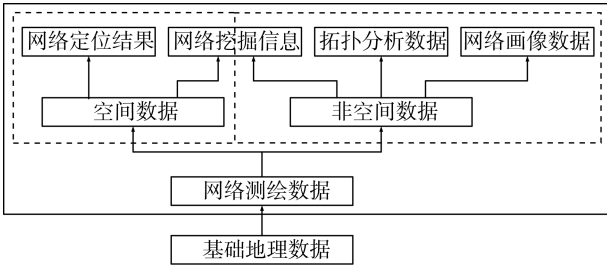


图 2 网络空间地图表达要素组成
Figure 2 Elements of cyberspace map

网络测绘非空间数据主要是指网络测绘要素的属性数据,也可以认为是资源要素的描述数据或语义数据,是对测绘要素质量特征和数量特征的描述。根据对其对象描述的精确程度分为定性数据和定量数据。

定性数据是指描述要素的固有特征或相对等

级、层级、次序,如资源要素类型、所属机构、状态、性质、大小等的信息,对应于量表系统中的定名量表和顺序量表。这种数据没有量的概念。例如服务器可以分为 Web 服务器、文件服务器和邮件服务器等;路由归属包含政府机关、公司企业、研究机构等;资源所处状态包含正常、损毁、报废等。

定性数据某种角度蕴含资源的分类情况,具有一定的层次结构。与自然语言学理论中的聚合语义树一致,定性数据反映了资源要素在其分类系统中的所处层次以及所处的相对位置。当定性数据用于描述资源等级、大小、次序时,会带有一定模糊程度的“量”的概念,可以将资源要素按照一定的顺序进行排列,并需要进行严格的数值运算。

定量数据包含完全量化数据和分级数据两大类。完全量化数据是指对资源要素的完整量化描述信息,一定意义上都具有定量单位,且描述资源要素的绝对量。完全量化数据主要反映资源要素间的差异,有的还可以明确刻画资源间比率关系。例如拓扑结构中父节点的度数等于所有子节点的度数之和。分级数据在描述资源要素等级和次序的同时,还能够量化地描述资源间具体的差异数值。分级数据反映出资源要素本身或其某种功能间的相对关系。人们对分级数据零点的设置较为随意,较为关心资源间的间隔,而不是绝对的数量值关系。同时使用分级数据时需将数值的单位进行统一化。例如按照载荷量界定路由的载荷能力,可以分为 0~100, 100~500, 500~1000 等,单位为 Mbit/s。

2.2.3 网络空间地图内容选择

网络空间地图中有网络测绘要素、地理底图要素,其中地理底图要素为网络测绘要素服务。在进行网络空间地图表达时,需要对图面中表达的内容进行主次区分。通过调节视觉参量如色彩或灰度使图面表达的内容处于不同的感受平面,使原来的二维平面或三维球面产生一种假象,形成若干图层。例如将网络测绘成果属性数据、网络测绘实体资源、地理空间信息数据按照上、中、下层进行分层可视化,从而达到网络空间地图中内容主次分明。

(1) 视觉层次的区别具体表现在以下几个方面:

1) 网络测绘要素与底图要素的层次区别。网络测绘成果是网络空间地图表达主题和核心,因而要突出表现在底图要素之上。地理底图要素是对网络资源要素所处位置信息的一种说明,客观地让用户了解资源所处地理位置及周围环境,处在从属地位。网络测绘要素与底图要素的层次区别是网络空间地图中最基本的两个视觉层次。

2) 不同类别的网络测绘要素间层次区别。网络空间要素的种类较为多样,其中包含网络资源属性数据或链接数据、音视频等网络虚拟资源,因此在关注时刻或重点关注内容不同时造成重要程度或逻辑次序的不同,部分内容安排在上层平面,部分内容安排在下一层。

3) 同一类型不同等级符号的层次区别。同一图层下对网络实体资源进行可视化时,等级大的节点符号偏大,等级小的节点符号偏小或者同一类的网络测绘要素符号大小随图层层级变化而变化。网络拓扑结构在多尺度可视化表达中,图层层级大时显示城域网内部拓扑,图层层级小时显示国家、省、市间的逻辑拓扑关联。

(2) 构建图面视觉层次的方法包括:

1) 改变符号大小或根据图层层级改变符号形状。例如图层层级大时资源要素用简单的几何图元代替表示,图层层级小时采用设计的符号图符,以及等级偏高的网络资源符号形状偏大。

2) 色彩的变化。利用色彩的变化表现视觉层次区别效果最为明显。色彩的变化体现在色相、明度和饱和度。例如地理底图位于视觉层面的最下层,因此选用冷色调,从而有冷静、后退的视觉感受。

3) 不同的视觉形态。线状符号和面积色彩属于不同的视觉形态。例如为了对比表达区域内资源分布密度,可以使用柱状图或热力图进行对比显示。

3 网络空间地图关键技术

网络空间地图是用来描绘海量、多源的网络测绘结果,因而网络空间地图其有限的可视化屏幕与数据海量、类型多样、虚实并存和位置区域性的网络测绘结果形成了最基本的矛盾之一。因为网络空间地图是缩小、简化了的,与真实复杂的网络现实环境有明显的区别。在有限的可视化屏幕,将全部的甚至指定类型的网络测绘结果进行可视化展示时,不可避免的面临点重叠、线交叉以及屏幕堆积冗余的现实问题,因而不利于用户获取有效信息。鉴于该基本矛盾,本文尝试从网络空间资源符号化和网络空间地图制图综合两个方面进行解决。运用符号是对网络空间资源或网络测绘成果的抽象,使用一定的符号图形进行描述与刻画,进而形成完善的符号系统,通过视觉参量、语义特征等约束控制反映资源本身特点。运用综合法则目的是为了对要表达的网络测绘成果进行一定程度地选取和概括,从而使用户可以从有限的表达数据中按照需求抽离出有效的信息。本文重点开展网络资源符号体系、网络资源要

素多尺度表达及网络空间地图分析与应用三方面的研究。

3.1 网络空间地图的符号体系

网络空间地图用于表示网络空间内资源要素分布及关联关系、网络空间现象统计或相关属性信息内容等。而网络空间资源要素的符号体系是网络空间地图的基本组成部分,可以用于标绘、判读、辨识、感知和共享。网络空间地图中的符号体系与传统地图中的符号系统有一定的差别,但应该是在已有地图符号上的继承和延伸,设计过程中需要参考地图符号设计中的相关设计规则、流程和主要思想。

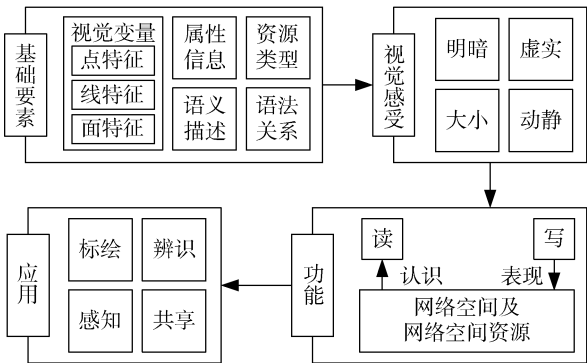


图 3 网络空间资源符号体系形成框架图

Figure 3 System framework of cyberspace resources symbol

网络空间资源的符号体系形成框架如图 3 所示。首先,网络实体资源要素与网络虚拟资源要素符号设计都需要视觉变量理论的约束,包含几何形状、色彩饱和度等,同时紧密结合网络资源类型划分、属性信息、语义描述和语法关系等多个方面保证资源符号设计准确性、一致性和系统性。其次,视觉变量变化引起视觉感受水平变化,主要表现在不同图层的明暗对比、资源所处状态的实虚表现、要素等级大小差异、资源位置动静等。同时,网络资源符号是网络空间地图的语言,具有写和读的二重功能。“写”是指人们可以利用符号来表现网络空间资源,“读”是指人们可以将网络资源符号作为直接认识对象进而从中获取信息。

在网络空间地图中,地图符号体系应该主要以点状和线状符号为主,以及少量的面状符号。

(1) 点状符号。网络空间地图中点状符号主要用于描述网络节点,如网络实体设备或者网络虚拟账号等。点状符号的形状和色彩是对网络空间资源要素进行区分的重要视觉变量,尺寸可以用于表示定量特征。

(2) 线状符号。网络空间地图中线状符号主要用

于描述网络拓扑结构,如网络物理设施间的关联关系、网络虚拟资源与网络实体的连接等。线状符号的粗细可以表示两节点间连通度或传输度、网络流量大小等,符号的形状可以表示连接的内容特征等。

(3) 面状符号。网络空间面状符号主要用于描述具有共同特性的资源要素,如网络定位结果的展现,根据网络定位的最后结果,通常其结果形式为中心点加半径,因此也有必要设计面状符号用于反映真实的数据特征。

3.2 网络空间地图多尺度可视化表达

有限的屏幕可视空间与要表达的海量网络资源要素是网络空间地图的一对基本矛盾。地图中为了解决缩小、简化了的地图表象与实地复杂现实之间的矛盾,采用符号化与地图内容的选取、化简和概括两种综合法则。网络空间地图表达时也有必要对网络资源要素进行层级划分、表达选取、化简概括等一系列处理,其目的是便于用户能够在良好的视觉感受水平下,聚焦其关注的主要对象或目标,较好地解决屏幕信息冗余。

与电子地图的多尺度表达相同,海量、多源网络空间要素数据全部进行调度显示极易引起卡顿或浏览崩溃。网络空间地图的多尺度表达是指伴随地理底图显示范围的变化而显示详细程度不同的网络测绘要素。网络空间地图具有可操作性,当人们进行缩放或漫游时,屏幕空间范围大小始终保持不变,屏幕内显示的地理底图信息发生改变,对应的网络测绘要素信息同时发生变化。

图 4 为网络空间地图多尺度可视化表达基本框架,网络空间地图多尺度可视化表达主要包含符号分类、制图综合、图层构成和人机交互等方面。网络空间地图的符号分类是指将基本几何图元、设计的网络资源符号、资源符号模型与地理空间信息图层进行匹配,伴随地图图层比例尺变化,符号类型有针对性地进行选取。网络空间地图的制图综合主要体现在: 1)表达内容的分类分级; 2)不同层级相同内容的选取。前者主要受到用户需求和关注重点的影响,例如在相同图层层级下有的用户关注边缘路由的分布状况,有的关注该层级下网络拓扑的关联关系,后者主要受到屏幕空间范围的影响。在有限的屏幕内,用符号代替的海量网络资源全部显示时必然会出现重叠现象,因此需要通过权重判别(像素距离、节点度数、节点聚类系数等)进行选取表达。网络空间不同尺度的图层构成方法主要分为自动综合聚类 and 静态数据存储。自动综合聚类是指将全部

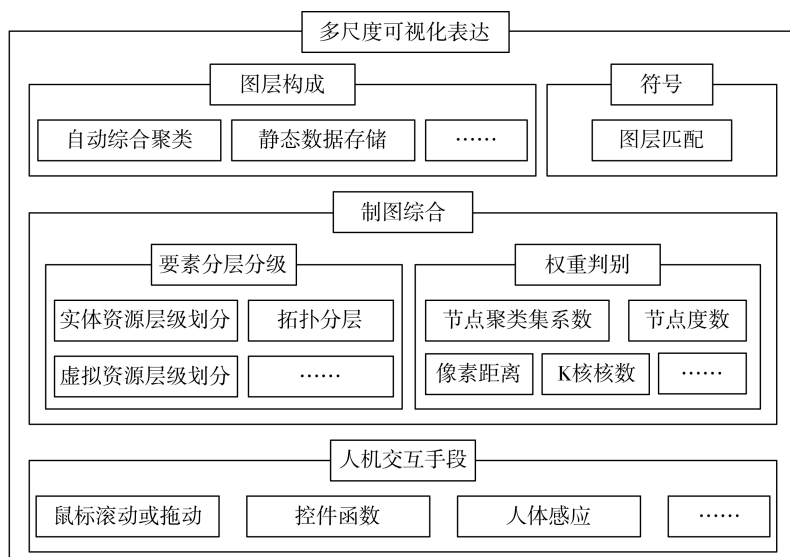


图 4 网络空间地图多尺度可视化表达基本框架

Figure 4 Multi-scale expression basic framework of cyberspace map

要表现的某方面或几方面元素自下而上伴随图层变化进行聚合, 利用权重进行判别选取。静态数据存储主要是为了解决当前计算机系统和处理能力有限情况下海量级数据调度容易崩溃的问题, 将资源要素数据进行分层综合和存储。

研究针对网络资源要素的特定多尺度可视化方法基础上, 增加更适宜的人机交互方法与手段, 同时借助目前较为火热的 VR、AR 等技术实现更好地可视化表达效果以及拓宽可视化表达场景。

3.3 网络空间地图的分析应用

可视化表达不是最终目的, 基于可视化表达基础进行深层次的分析, 是信息时代地图学的新特征^[17]。借助地理空间分析的方法, 将其思想迁移到网络空间, 进行网络空间的深层次分析探究, 从而更好地理解网络空间资源及属性之间的关联以及网络空间和地理空间的映射机理等。网络空间地图本质上是带有地理空间属性的网络测绘数据与地理信息数据的融合, 因此基于网络空间地图表达基础下开展相应的分析与应用具有十分重要的意义。

地理空间几何分析主要包含邻近度分析, 叠加分析和网络分析。邻近度是空间目标距离关系的重要物理量之一, 表示地理空间中目标地物距离相近的程度, 包含缓冲区分析和泰勒多边形分析。叠加分析包括空间要素图形叠加和空间要素属性叠加。网络分析包括最佳路径分析、连通分析、资源分配、流分析、动态分段技术和地址匹配。网络空间地图矢量图层同样具有可量测性, 借助 GIS 空间分析手段, 可以开展网络与地理融合或叠加后的分析和应

用, 从而进行数据信息挖掘。

借鉴、迁移地理空间分析、夜光遥感的手段和方法, 网络空间地图分析内容主要包含资源空间分布统计、拓扑链路分析、节点辅助校正和网络地理信息挖掘等^[18, 19], 如图 5 所示。资源空间分布统计主要利用空间聚类、高斯分布和时间序列表达技术, 进而感知资源区域分布与对比。链路拓扑分析主要包含网络地理拓扑的叠加、不同路径时延对比、同一目标节点的链路关联分析以及网络拓扑地理真实走向等, 进而感知网络流通过程。网络节点辅助校正包含网络节点缓冲区分析和网络节点可靠性检验等, 从而可以校正网络空间测绘成果或辅助网络空间测绘。网络地理信息挖掘是指与地理空间信息叠加、融合后进行信息匹配和现象分析。例如提取关键网络节点周边的重要地理信息, 挖掘节点分布缓冲区内存在的重要地理信息, 对节点重要性和地理属性进行判断; 对网络节点分布、网络流量方向等进行对照, 发现社会或网络自身规律, 从而为网络空间态势感知与控制提供技术支撑。

以网络实体节点定位可信性为例, 大多数情况下网络实体设备主要布设在建筑物内部(除舰船、车载、固定工作站等外)。如图 6 所示, 将定位的网络实体资源与矢量地图图层进行叠加后, 自动判别湖面等水系矢量要素、道路等矢量要素内是否存在网络实体, 如果存在的话, 该实体资源定位结果极大可能存在偏差, 从而需要对该实体资源进行再次定位确认或将该实体归并到水系或道路矢量要素周围的建筑物上。

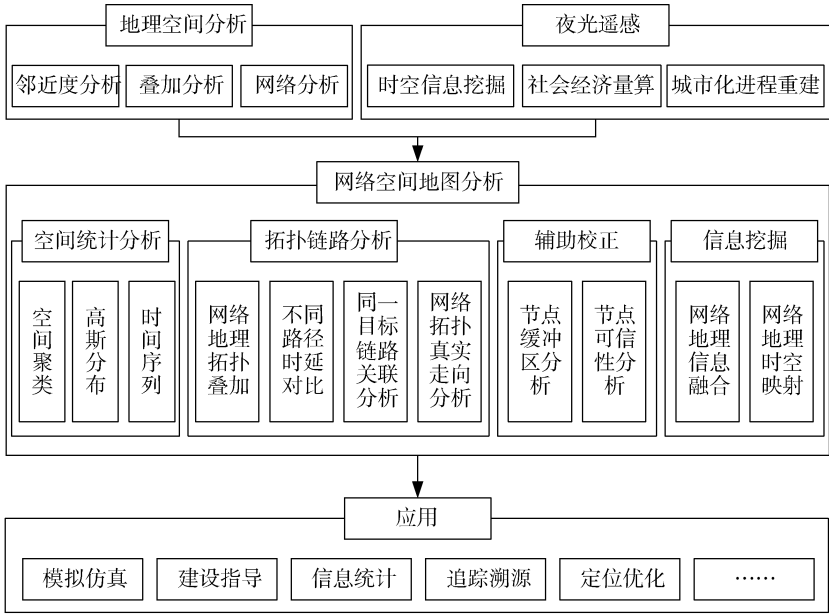


图 5 网络空间地图分析应用

Figure 5 Analysis and application of cyberspace map



图 6 网络实体节点定位可信性分析示例图

Figure 6 The example of geo-location reliability analysis for the cyberspace entities

4 结论

伴随网络定位技术的不断发展与成熟, 将地理空间信息数据与网络空间资源要素进行融合关联, 成为认识、理解、管理和把控网络空间的重要一环。本文借鉴地图学和地理空间分析等相关技术手段与方法, 提出了一种与地理空间紧关联的网络空间地图模型, 从网络空间资源符号体系、多尺度可视化表达以及分析应用三方面给出了网络空间地图涉及的关键技术。希冀本文研究工作能够为地理信息辅助下的网络空间态势感知提供新的研究基础和思路。

同时, 地理空间可视化及空间分析已经发展形成完善的理论方法体系。当前研究中网络资源测绘数据表达、分析与地图学和地理空间分析手段不够紧密, 期望两者能够进行更深层次融合。

致谢 特别感谢施群山讲师和吕亮博士的指导和建
议, 感谢学院徐立教员在地图知识方面的讲解和
介绍。

参考文献

[1] Zhou Y, Xu Q, Luo X Y, et al, "Research on the Definition and Technological system of CyberSpace Surveying and Mapping," Computer Science, 2018(05) (in Chinese).
(周杨, 徐青, 罗向阳等. 网络空间测绘概念及技术体系[J]. 计算机学报, 2018, 05.)

[2] Zhao F, Luo X Y and Liu F L, "Research on cyberspace surveying and mapping technology," Chinese Journal of Network and Information Security, vol.2 no.9, pp. 00097-1 - 00097-11(in Chinese), 2016.
(赵帆, 罗向阳, 刘粉林. 网络空间测绘技术研究[J]. 网络与信息安全学报, 2016, 09:1-11.)

[3] Treasure Map -Five Eyes Surveillance Program to Map the Entire Internet[OL]. 2014, 09/2016.09.http:// thehackernews. com/2014/ 09/ treasure-map-five-eyes-surveil.

[4] GAO Jun, "The 60 Anniversary and Prosepct of Acta Geodaetica et Cartographica Sinica," Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, vol. 46 no.10, pp.1219-1225(in Chinese), 2017.
(高俊. 图到用时方恨少,重绘河山待后生——《测绘学报》60 周年纪念与前瞻[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1219-1225.)

[5] Ai T H, "Maps Adaptable to Represent Spatial Cognition," Journal of Remote Sensing, vol.12 no.2, pp. 347-354 (in Chinese), 2008.
(艾廷华. 适宜空间认知结果表达的地图形式[J]. 遥感学报, 2008, 02: 347-354.)

[6] Gong, H.; Simwanda, M.; Murayama, Y. An Internet-Based GIS Platform Providing Data for Visualization and Spatial Analysis of Urbanization in Major Asian and African Cities. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2017, 6, 257.

- [7] Carolin Helbig, Doris Dransch, Michael Böttinger, and etal. Challenges and strategies for the visual exploration of complex environmental data, *International Journal of Digital Earth*, 10: 10, 1070-1076.2017, 3.
- [8] Zhao Y, Fan X P, Zhou F F, et al. "A Survey on Network Security Data Visualization," *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, vol.26 no.05, pp.687-697, 2014.
(赵颖, 樊晓平, 周芳芳等. 网络安全数据可视化综述[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2014, 05: 687-697.)
- [9] Frank, A.U.Tiers of ontology and consistency constraints in geographic information system[J] <http://www.geoinfo.tuwien.ac.at/persons/frank.html>, In *international Journal of Geographical Information Science*, 2001, 15(7): 667-668.
- [10] Bakis H. Understanding the geocyberspace: A major task for geographers and planners in the next decade[J]. *Netcom*, 2001, 15(1/2): 9-16.
- [11] Dodge M. 2012. Welcome to cyber-geography research[EB/OL]. January 1, 2012[April 2, 2012]. <http://personalpages.manchester.ac.uk/staff/m.dodge/cybergeography/about.html>.
- [12] Morley D,Robins K. *Spaces of Identity: Global Media, Electronic Landscapes and cultural Boundaries*[M]. London: Routledge,1995.
- [13] Kitchin R. Towards geographies of cyberspaces[J]. *Progress in Human Geography*, 1998, 22(3): 385-406.
- [14] Batty M. Virtual geography[J]. *Futures*, 1997, 29(4/5): 337-352.
- [15] Sun Z W, He J L and Tian J W, "Cyberspace attribution and the geographical cognition of its material construction," *World Regional Studies*, vol.25 no.2, pp.148-157(in Chinese), 2016.
(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.)
- [16] Shu H. A unification of Gail Langran's spatio-temporal data models[J]. *Geomatic and Information Science of Wuhan IEEE International Conference on Computer Vision*. New York: IEEE Press, 2009: 436-443.
- [17] WANG Jiayao, "Rethinking about the Information Age Catography," *Journal of Geomatics Science and Technology*, pp.329-333 (in Chinese), 2013(04).
(王家耀. 关于信息时代地图学再思考[J]. *测绘科学技术学报*, 2013, 04:329-333.)
- [18] Lin H, Batty M, Jørgensen S E, et al. Virtual Environments Begin to Embrace Process-based Geographic Analysis[J]. *Transactions in Gis*, 2015, 19(4): 493-498.
- [19] Li Xi, Ge Linlin, Chen Xiaoling. Detecting Zimbabwe's Decadal Economic Decline Using Nighttime Light Imagery[J]. *Remote Sensing*, 2013, 5(9): 4 551-4 570.



张龙 于 2015 年在中国矿业大学测绘工程专业获得学士学位。现在中国人民解放军战略支援部队信息工程大学测绘科学与技术专业攻读硕士学位。研究领域为网络空间测绘、空间信息可视化。研究兴趣包括: 时空信息挖掘。Email: jagger_3d@126.com



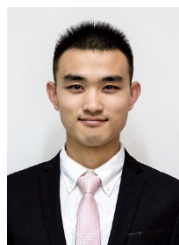
周杨 于 2009 年在中国人民解放军战略支援部队信息工程大学测绘科学与技术专业获得博士学位。现在中国人民解放军战略支援部队信息工程大学地理空间信息学院任教授, 测绘工程教研室副主任。研究领域为摄影测量和遥感、空间三维可视化。研究兴趣包括: 多域融合态势感知、深空测绘。Email: zhouyang3d@163.com



施群山 于 2015 年在中国人民解放军战略支援部队信息工程大学测绘科学与技术专业获得博士学位。现在中国人民解放军战略支援部队信息工程大学地理空间信息学院任讲师。研究领域为空间态势认知与表达。研究兴趣包括: 时空大数据分析。Email: hills1@163.com



罗向阳 于 2009 年在中国人民解放军战略支援部队信息工程大学测绘科学与技术专业获得博士学位。现在中国人民解放军战略支援部队信息工程大学网络空间安全学院任副教授, 博士生导师。研究领域为网络空间测绘与实体定位。研究兴趣包括: 网络空间测绘及态势感知。Email: xiangyangluo@126.com



赵海鹏 于 2017 年在中国矿业大学测绘工程专业获得学士学位。现在中国人民解放军战略支援部队信息工程大学测绘科学与技术专业攻读硕士学位。研究领域为泛在摄影测量、空间信息可视化。研究兴趣包括: 三维重建理论与方法。Email: happyzhp@cumt.edu.cn