

引用格式: 苏奋振, 吴文周, 张宇, 等. 从地理信息系统到智能地理系统[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(1): 2-10. [Su F Z, Wu W Z, Zhang Y, et al. From geographic information system to intelligent geographic system[J]. Journal of Geo-information Science, 2020, 22(1): 2-10.] DOI: 10.12082/dqxxkx.2020.190802

从地理信息系统到智能地理系统

苏奋振^{1,2,3}, 吴文周^{1,2}, 张宇^{1,2*}, 康路^{1,2}, 李晓恩^{1,2,3}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国南海研究协同创新中心, 南京 210023; 3. 兰州交通大学测绘与地理信息学院, 兰州 730070

From Geographic Information System to Intelligent Geographic System

SU Fenzhen^{1,2,3}, WU Wenzhou^{1,2}, ZHANG Yu^{1,2*}, KANG Lu^{1,2}, LI Xiaoen^{1,2,3}

1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Collaborative Innovation Center of South China Sea Studies, Nanjing 210023, China; 3. Faculty of Geomatics, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Geographical system, composed of natural and human elements, distributed in the earth's surface space, is provided with the functions of generating, maintaining or transforming material forms and energy forms, or driving the flow of material and energy. It is characterized by natural and human elements and their interactions on spatial distribution, structure, pattern, evolution and function factors. Geographical system is an objective reality system which generally consisted in earth with multi-levels. The geographic system was represented by the geographic information system by a information world with digital form. Then make the plans to transform geographical system by investigating and analyzing the received information. Therefore, two geographic systems, namely real geographic system and information geographic system, are co-existed for a long time and evolved independently. In recent years, with the integration of real-time observation and Internet of Things Technology (IoT), the real-time representation from the real geographic system represented into the information geographic system is coming true. Therefore, two systems evolve no longer independently, and the information geographic system is becoming a mirror of the real geographic system. Once the real geographic system changes, the information geographic system changes simultaneously. At present, the development with an unprecedented speed of human science and technology, especially the cloud services, big data and artificial intelligence, makes the information geographic system no longer be satisfied with being a mirror of the real geographic system. The artificial intelligence and unmanned automation control technology are adopted to achieve the integration of the real world and information world. The real geographic system can be changed through the operation of information geographic system. In the future, the boundary between the real geographic system and the information geographic system will become blurred and the two systems will be fully integrated with no distinguish at last. This article takes the intelligent geographic system to indicate this system, which

收稿日期: 2019-12-02; 修回日期: 2019-12-26.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1402903、2016YFC1402902)。[**Foundation items:** National Key R&D Program of China, No.2016YFC1402903, 2016YFC1402902.]

作者简介: 苏奋振(1972—), 男, 福建永定人, 研究员, 博士生导师, 主要从事高维动态时空信息的组织管理、智能挖掘和系统开发等研究工作。E-mail: sufz@lreis.ac.cn

*通信作者: 张宇(1987—), 男, 山东济宁人, 博士, 主要研究方向为地理信息检索与服务。E-mail: zhangyu@lreis.ac.cn

integrates two worlds, and uses an unattended intelligent system designed for the South Island Reef as an example to show the integration and interoperation of the real geographic system and the information geographic system. The system realizes unmanned and intelligent monitoring, protection, response and operation for the island reef geographic environment and artificial facilities.

Key words: intelligent geographic system; virtual reality; internet of things; artificial intelligence

***Corresponding author:** ZHANG Yu, E-mail: zhangyu@lreis.ac.cn

摘要:地理系统是自然与人文要素构成的,分布在地球表层空间中,具有生成、维持或转换物质形态和能量形式,或驱动物质和能量流动等功能的有机整体,表征为自然与人文要素及其相互作用的空间分布、结构、格局、演化和功能。地理系统分层级广泛存在于地球表层空间,是客观现实系统。地理信息系统将地理系统用数字投影到信息世界中,进而考察、分析和制定改造地理系统的方案。由此存在2个地理系统,即现实地理系统和信息地理系统,2个地理系统长期独立存在,各自演化。近些年,融合实时观测和物联网技术,现实地理系统的变化或演变已基本能够实时投影到信息地理系统中,即2个系统不再是独立演化,信息地理系统成为现实地理系统的镜像,现实地理系统一旦发生变化,信息地理系统同步变化。当前,人类科技正以前所未有的速度发展,特别是云服务、大数据、人工智能的异常迅猛发展,使得信息地理系统不再满足于成为现实地理系统的镜像,开始利用人工智能和无人自动控制技术,实现与现实世界的融合,即通过信息地理系统的操作,实现现实地理系统的改变。如此,未来现实地理系统与信息地理系统的界线日趋模糊,直至2个系统完全融合,不再区分现实地理系统和信息地理系统。本文暂且以智能地理系统指征这种融合2个世界的系统,并以南海岛礁的无人值守智能系统为例,展示现实地理系统与信息地理系统的融合与操作交互,实现岛礁地理环境和人工设施监测、保护、应对和操作的无人化和智能化。

关键词:智能地理系统;虚拟现实;物联网;人工智能

1 引言

现实世界中的地理系统,一般指存在于地球表层中,在一定时间和区域约束下,相互联系或相互制约的要素或过程组成的,具有生成、维持、驱动物质和能量产生、流动和消亡功能的有机整体。地理系统是层级尺度概念,可以是指整个地球表层系统,也可指圈层系统,如岩石圈、水圈、生物圈、大气圈和电离层等,也可指区域限定的概念,如一个岛屿,一个群岛,一个流域,一个湖泊等。各地理系统既在内部进行物质、能量或信息的流动,又与相邻或外部地理系统进行物质、能量或信息的流动。关于地理系统的概念和理解有许多非常经典的论述,钱学森等^[1]1988年提出“地理系统是一种开放的复杂巨系统”,陈述彭^[2]1991年提出“地理系统是一个巨系统,由不同层次的若干分系统和子系统组成”。地理系统因其动态性质和人类活动的目的性及其调节、控制能力等,具有综合性和复杂性特点,地理学者惯常采用分要素或综合的描述方法开展研究,也曾尝试用严格的数理方程或计量方法开展研究,产生了理论地理学、计量地理学等分支或方向,试图实现对地理系统的整体研究,但终究发展不理想。

地理系统包括了自然的和人文的要素,研究地理系统首先要刻画其自然和人文众多要素的协同

演化规律。利用计算机刻画地理系统,从结构或特征上对地理系统进行不同角度的抽象,以数字方式将客观地理系统映射到计算机世界中,由此产生了地理信息系统(Geographic Information System, GIS)。人们通常将GIS定义为管理和分析空间数据的计算机系统或空间信息系统^[3],即通过建立地理空间坐标,将地理对象及其属性,按坐标位置输入到计算机中存储管理和分析处理,探究地理特征和因果关系,并以地图为基本载体输出结果。从不同的功能侧面刻画GIS,常有不同描述,如认为GIS是数字制图技术和数据库技术的结合等。不同应用目的有不同名称,如地籍信息系统、土地信息系统、环保信息系统、管网信息系统和资源信息系统等^[4]。总之,地理信息系统是在计算机软硬件支持下,以采集、存储、管理、检索、分析和描述空间物体的定位分布及与之相关的属性数据,并回答用户问题等为主要任务的计算机系统^[5-6]。人们通过地理信息系统的查询和分析,形成改造地理系统的方案,进而在地球表层空间的现实世界中改造地理系统。

地理信息系统将物理世界的地理系统抽象为一系列地理对象的动态组合,并将之用数字投影到计算机系统中。在很长一段发展阶段,信息地理系统一旦建成,其与物理地理系统不存在直接的联系或关联,当物理世界的地理系统发生改变时,信息

世界的地理系统不会发生改变,只有再次进行数字抽象并投影到计算机系统中,才能实现又一次的现实地理系统的复制。我们暂且将这种映射描述为地理信息系统仅实现由物理世界向信息世界的单次单向映射,这2个世界是相互割裂独立的。

随着实时观测、智能传感器、物联网、互联网和现代通讯技术的发展^[7-9],地理系统上直接或间接装载了用于获取地理系统参数的传感器,这些参数实时进入地理信息系统的数据库中^[10],由此,实现了现实地理系统到信息地理系统的不间断的映射,保证了信息地理系统与现实地理系统的同步关系,改变现实地理系统,信息地理系统随之改变。这是地理信息系统学科方向的巨大进步。

但同时,这种同步依然是单向的,即现实地理系统对信息地理系统的单向映射。能否直接通过改变信息地理系统,从而实现对现实地理系统的操作,完成现实地理系统的改造呢?是否有可能实现反向映射,即通过改变信息地理系统,从而实现对现实地理系统的改变?是否能够构建双向映射,也就是融合现实的和信息的2个地理系统,改变任何一个系统,另一个系统随之改变,最终实现2个系统的完全融合,不再区分现实的和信息的,只有一个融合了信息地理系统的现实地理系统?本文暂且将这样的地理系统命名为智能地理系统。

2 智能地理系统定义、框架及构成

地理信息系统实现了从客观物理空间向信息数字空间的投影,智能地理系统则在此基础上实现客观物理空间和信息数字空间的双向映射,实现物理空间地理系统与信息空间地理系统的高度融合。地理信息系统一般由计算机软硬件和用户构成;智能地理系统则主要包括:物理空间的地理系统、信息空间的地理系统和双向映射系统。双向映射系统主要是由附着于物理空间地理系统之上的传感网系统、存在于信息空间地理系统中的地理智能网和实现客观地理系统改变的地理控制网组成。

2.1 定义与框架

地理信息系统是将物理世界的地理系统抽象为模型化的空间数据,并在计算机系统中进行可视化,如图1所示,是对物理世界的抽象表达。一旦将物理世界数字化正向映射到计算机系统的信息世界后,物理世界再发生改变,信息世界将不再发生

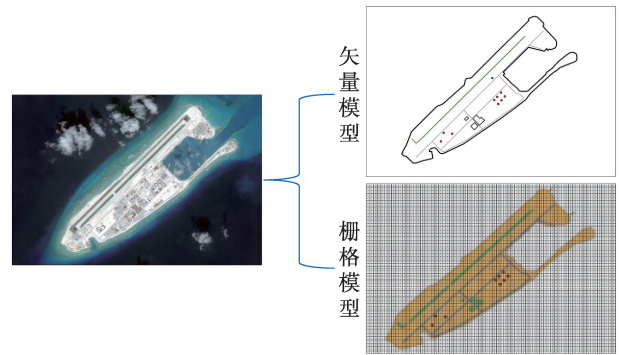


图1 物理世界向信息世界单向映射

Fig. 1 Unidirectional mapping from the physical world to the information world

改变,也就是说,这2个世界是相互割裂独立的,是一种单向映射。

智能地理系统则需要融合自然地理学、人文地理学和地理信息系统3个分支学科的理论方法,综合运用物联网、互联网、智能控制、大数据挖掘、人工智能等现代信息技术,是一个集地理传感网、地理智能网和地理控制网于一体的融合系统,旨在突破时间和空间限制,实现物理世界与信息世界的相互映射与融合。

智能地理系统双向映射的框架结构如图2所示,主要由地理传感网、地理智能网、地理控制网3部分组成。地理传感网利用星载遥感观测网、泛在互联网、原位传感器网络等全方位、全要素的传感网络,对物理世界的地理环境进行全方位实时感知与数据采集,保证物理世界的地理系统能够不间断地向信息世界的地理系统映射;地理智能网借助大数据挖掘、深度学习、人工智能等技术,对物理世界

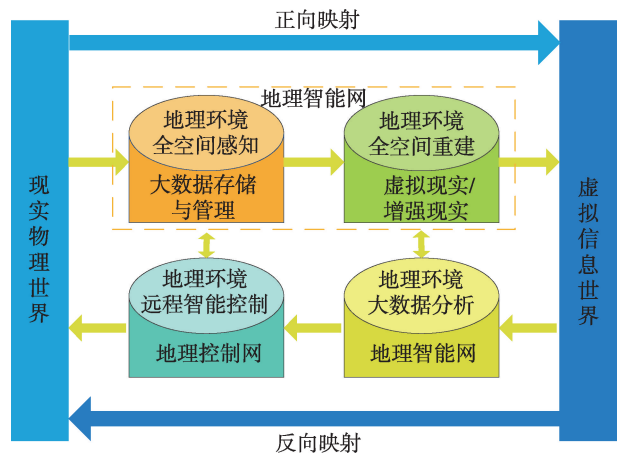


图2 智能地理系统基本组成

Fig. 2 The basic composition of intelligent geographic system

的地理传感网各个节点感知的地理环境数据进行模拟、推演、预测与预警等分析,并通过物联网、互联网对物理世界的地理系统发出智能处置指令;地理控制网根据接收到的控制指令,通过智能控制技术操作物理世界的控制器,达到对物理世界的地理环境状态、人工设施或装备做出相应控制的目的,从而改变物理世界的地理环境状态和人工设施或设备状态,实现信息世界的地理系统向物理世界的地理系统映射。这里的人工设施可以是水闸、道路隔断、道路信号等,人工装备可以是智能机器人、无人机、无人车,以及武器系统等。

2.2 地理传感网

地理传感网是智能地理系统的感官系统,是物理世界向信息世界不间断映射的技术途径。狭义的地理传感网可以理解为在分布式环境下由感知与获取诸如气温、风速、太阳辐射、降雨量等地理环境特性的传感器组成的覆盖全空间的立体感知网络。广义的地理传感网可理解为由一切地理环境探测与感知设备组成的对地观测网络,包括航空/航天遥感、互联网、传感器网络等。地理传感网注重硬件基础设施和信息基础设施集成,各个传感器节点自适应组织与协同监测,并通过制定统一的传感网服务信息模型和接口规范实现物理世界的地理环境信息感知、获取与传输^[1]。

2.3 地理智能网

地理智能网是智能地理系统的神经中枢,是由一系列具有特定功能、按照一定逻辑顺序的地理神经单元组成的地理神经网络,负责地理环境各类信息的接收、处理、存储、分析、决策、反馈与表达。地理神经单元作为地理智能网的最小单元,是执行特定类型操作的功能集合,划分为视觉处理单元、运算单元、记忆单元、判断单元与反应单元,涉及大数据分析、机器学习、深度学习、模式识别、自然语言处理等关键技术。每个地理环境智能传感器都对应于地理智能网中的一个地理神经单元,具备过程特征分析模型、状态判断模型和决策生成能力。在领域专家知识建模的基础上,每个地理神经单元通过经验知识学习实现不同功能间的逻辑组合,从而完成复杂的任务需求。地理神经单元间的协作则涉及群体智能的技术突破,这不管对于人工智能学科还是地理智能研究方向,无疑都是关键中的关键。

2.4 地理控制网

地理控制网是智能地理系统的运动系统和行动系统,是由各种地理环境控制器、机械设施或设备组成的网络,根据地理智能网的决策指令,采取行动,改变物理世界中地理环境状态和机械运转状态,是实现信息世界向物理世界映射的执行系统,涉及物联网、互联网、智能控制等关键技术。通过地理控制网,可以实现对传感器、控制单元的休眠、唤醒及机械运转控制(如开启/关闭智能水阀、启动无人设备或触发武器系统等诸多控制操作)。地理控制网不仅是物对物的控制,更是物理世界、信息世界与人的互联、互动,人无论在何时、何地都能感知物理世界的地理环境状态信息,并参与信息世界的控制管理,从而实现人与地理系统的互动和融合。由此,地理系统通过传感、学习、判断、决策和机械操作,获得了运动中的“思想”和“智慧”。

3 智能地理系统九大研究内容

在分析智能地理系统框架及构成基础上,本文将智能地理系统研究方向归结为智能地理系统表达模型、智能地理系统采样模型、智能地理系统存储结构、智能地理系统过程特征分析、智能地理系统过程模拟、智能地理系统异常检测、智能地理系统控制模型、智能地理系统现实重建、智能地理系统共享互操作9大研究内容。

3.1 智能地理系统表达模型

地理信息系统发源于地籍图形和属性与计算机的结合,采用将客观世界抽象为点、线、面、体等几何特征,并以属性表与之关联实现对客观世界的表达,从而实现对地理系统空间特征、属性特征和时间特征的数字描述。而随着地理空间信息从地球空间向宇宙空间、从室外空间向室内空间、从小数据向大数据等方向不断拓展^[12],属性上由与几何关联扩展到与地理系统的要素关联,传统地理系统的概念模型或表达模型难以满足发展需求。在智能地理系统中,客观世界的地理系统都是以系统对象的形式存在,对象及其之间关系也不再是静止的,而是随着时间、场景、粒度等发生变化,对客观世界的地理系统抽象和描述,首先需要对地理对象的全生命周期,即地理时空过程进行描述。因此,智能地理系统首先需要研究如何将客观世界的地理系统分解为系统构成的多尺度时空对象或过程,

并针对多尺度地理对象,从其维度、尺度、模态等特征展开,实现对客观世界地理系统的信息映射。

3.2 智能地理系统采样模型

在地理信息系统的研究中,空间采样是基础研究问题之一;在智能地理系统的研究中,除了空间采样,时间采样和地理系统角度或要素选择是前所未有的重要。在时间采样方面,如果采样间隔时间过长,将会引起有用信息的严重丢失,如果采样间隔时间过短,又会造成采样数据的严重冗余;在空间采样方面,也会面临与时间采样相同的问题,比如地形或过程平坦或平稳区域,采样点可以稀疏,而在地形或过程复杂及不平稳区域,采样点需要密集。因此需要根据空间特征、过程时间特征和要素数值特征,分别或综合构建或发展时间域、空间域和要素域采样模型。传统地理信息采样是在某一时刻或几个时刻对地理空间中样本点处的数据进行获取,可以理解为对样本点的某一瞬时状态数据采样。而在智能地理系统中,物联网和智能传感器技术的快速发展使得地理信息采样变为实时采样或过程采样。不同于传统空间采样模型,在智能地理系统研究中,采样方案或模型必须直接与传感器布设方案、数据读数频率及机械控制单元布设等直接关联,以平衡传感器和控制单元对区域、过程或要素的控制效率和控制冗余。

3.3 智能地理系统存储结构

传统地理信息系统是对点、线、面、体等地理特征数据和栅格场数据进行管理,是对客观世界抽象的状态数据管理,数据类型较少,数据量较小。在智能地理系统中,地理对象更多、尺度不一、粒度不同,对象关联关系也更为复杂,传感器的类型和监测要素也就更多,地理系统又处于动态过程中,如何将这源源不断产生的数据进行有序的统一组织与管理是智能地理系统的重要研究内容,涉及高维、高动态、多要素、跨尺度数据模型,复杂地理系统分块、分层存储机制,以及时空维度与语义维度的联合索引策略等。

3.4 智能地理系统过程特征分析

传统地理信息系统大多以静态或有限状态方式表达客观世界,决定了其空间分析仅是地理环境信息的瞬时有限状态进行操作和分析。一般可依据任务需求采用缓冲区分析、空间叠置分析或网络分析等方法,以揭示地理环境的瞬时状态特征。

然而,地理系统具有时空动态性、模糊性和高维性等,要完整表达和分析地理现象的变化特征与规律,智能地理系统提供了过程监测技术手段,同时也给地理过程的分析带来挑战^[13],其主要研究内容包括:针对实时获取的智能传感网数据,如何提取地理环境要素的时空变化,以连续分析该要素的变化过程,从而预测其未来发展态势;由于地理过程分析对象由单一对象转化为组合对象、由单一关系转化为复杂关系,且地理过程的多维性及要素间关联耦合性无疑增加了地理过程分析的难度,因此如何实现地理过程多维过程的特征描述或提取,以实现地理过程特征综合分析。

3.5 智能地理系统过程模拟

地理过程模拟是在连续地理环境数据获取的基础之上,模拟不同情景下环境要素的时空变化过程,以探究其变化规律^[14]。地理环境监测手段的多样化促使地理过程模拟分析的深入,模拟对象也由单要素时空过程模拟转向多要素时空过程综合模拟,是以多要素时空耦合机理探究为基础,通过分析各要素间的相互作用模拟整体变化规律,并辅之以多维度、多粒度、多特征的时空数据可视化表达。因此,地理过程模拟应从地理系统角度出发,模拟分析各地理环境要素间能量流、物质流和信息流的相互作用,同时研究人类活动与地理环境间的耦合作用,在地理信息分析平台上综合自然地理和人文地理研究方法,从而形成地理系统变化过程的综合模拟。

3.6 智能地理系统异常检测

以往地理环境信息异常检测更多是空间异常检测,在智能地理系统中则是以空间上的不同时序地理环境数据为基础,利用统计学、密度与相对距离等方法发现时序数据中不同于一般规律的情况。智能地理系统强调的是系统性的地理过程异常检测,不仅分析单要素的变化机理及趋势,更注重多要素耦合的变化机理及趋势,从而综合分析地理系统中的要素异常机理及其与邻近要素间的相互作用,因此其研究内容包括:地理过程异常的判断准则构建,主要利用先验知识、深度神经网络、回归分析等方法对历史数据进行编码、解析、分类或赋予意义,形成各地理要素的标准值域区间以及地理过程正常运行标志;如何建立地理过程异常检测机制,以判断地理过程状态;如何建立地理过程的智能预警机制,实现异常地理过程分析与预警,并实现应急响应。

3.7 智能地理系统控制模型

地理控制网是指在一定的地理空间范围内布设的地理环境控制器和人工设备或装备组成的网络。由于地理控制网布设需求或目的不同,地理环境控制器的布设方法往往差异很大。传统的控制网通常需求简单,控制对象也单一,对控制覆盖率、网络结构要求都不高,因此没有对控制器的布设最优位置和最优数量进行考虑。如何通过最少数量的控制器尽可能高覆盖指定地理空间范围,又尽量少地重叠,有时又必须科学地重叠才能实现地理环境变化控制达到决策方案所限定的时空要素场,以实现地理环境信息过程的有效控制。智能地理控制网主要研究内容包括:研究地理环境控制器的布设位置和布设数量,即寻找最优布设位置和最佳数量实现控制范围的最大化问题,尤其是全空间、全时间和全要素范围,地理环境控制器的布设位置选取变得更为复杂;研究地理环境控制器的网络结构,如何设计合理的网络结构,使较少的网络布线便能覆盖全部地理环境控制器节点,充分发挥网络节点的控制效率,提高网络的整体传播水平,实现高效的传播效率。

3.8 智能地理系统现实重建

智能地理系统现实重建是以人为主体,利用现代虚拟现实技术与精确的地理空间坐标和地理参数融合,并将人的视、听、嗅、温、压、触等感觉通过声、光、气、电、磁等手段进行精确模拟,重建物理世界地理环境。在此基础上,模拟表达多尺度地理过程,挖掘地理格局形成演变时空规律,并实现虚拟地理环境和现实地理环境的交互操作和实时更新,其核心研究内容主要包括:虚拟地理环境的搭建,以地理学意义上的地理环境(自然—社会—经济综合体)和网络信息世界的声—图—字—像信息流为模拟对象,实现各类要素的三维立体虚拟,具体包括空间基准构建、地理空间建模、地理信息要素多维可视化、尺度适宜性和地理过程表达等问题;时间虚拟,在虚拟地理空间扩展时间维,引入时间基准,进行时间剖分,建立时空数据关联机制,实现动态高维时空虚拟地理环境的构建,具体包括时间信息表达、时空大数据多尺度动态关联、时空一致性、虚实地理环境实时更新等问题;地理系统多角度多要素重建,打通地理系统表达、传感网和控制网,特别是控制结果的按要求获得等;虚拟交互操作,搭建支持虚实一体化操作的多客户端协同计算平台,

借助深度学习、人工智能和智能控制等技术,捕获实时信息并形成决策结果,实现人一机一地的交互操作和同步更新,具体包括多客户端协实时交互响应、人机操作消息的数据响应范围、数据传输和通信交互等问题。

3.9 智能地理系统共享互操作

传统地理信息系统共享的主要研究目的是提供技术手段,实现信息系统和数据的共同使用,关键在于突破各个系统和数据体系的各自边界,实现互操作和强调数据和服务的共享^[15],其实质还是属于信息世界内各数字系统的互操作,未涉及现实物理世界,同样是与现实物理世界割裂。而智能地理系统共享的不仅仅是来自传感网的海量实时大数据,同时还包括通过共享控制网功能来改变物理世界和融合了现实和信息系统的双向映射系统共享,实质上是对融合了信息的客观地理系统的共享与互操作。面对智能地理系统中密集、多类型、实时传输的传感器,数据多源异构,空间分析模型智能多样,精准的控制服务需求,如何实现系统的全方面共享是智能地理系统研究的又一重要内容,主要包括:研究智能地理系统分类编码体系,实现系统内部和系统间的快捷地理系统共享;研究智能地理系统共享元系统标准,开发连通各个智能地理系统以及和用户互动的操作共享技术、规范和协议,以统一的方法进行操作描述和操作访问,使系统之间及服务请求者之间保持一种透明关系;研究智能地理系统的共享安全控制,针对不同智能地理系统中的众多传感器和控制器,需要提供完备的安全防护措施和入侵检测措施以及地理系统加密机制。

4 智能岛礁系统应用案例

岛礁系统是一种典型的地理系统,是地理学研究中非常有价值的相对独立的地理系统单元。当今全球化下,岛礁的研究价值和现实战略意义日益凸显。中国南海岛礁远离大陆,人员往返时间长;岛礁环境恶劣,不适宜长期居住;岛礁陆域稀缺,岛上管理人员较少。这种地小、人少、距离远的独有特点,使得南海岛礁生态环境监测与保护难以依靠传统的人工方式进行管理。针对南海岛礁生态环境实时监测和管理无人化目标,作者所在研究团队建立了面向岛礁港池水体、土壤、气象、植被、地下

水管、水表、电表等基础地理环境和设施的地面原位传感器网络,并采用建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)技术构建了岛礁室内外一体化精细三维模型,在此基础上,综合集成物联网/互联网、虚拟现实、智能控制等核心技术,研发了智能岛礁系统,系统主界面如图3所示。

智能岛礁系统以精细三维模型方式将物理世界岛礁映射成为信息世界虚拟岛礁,并通过传感网将物理世界岛礁的基础地理环境和设施状态信息不间断映射到信息世界虚拟岛礁中,用户足不出户就能身临其境地掌握物理世界岛礁的港池水体、土壤、气象、植被、地下水管、水表、电表等基础地理环境和设施的实时状态信息,如图4所示。

根据岛礁基础地理环境和设施实时监测数据,通过大数据分析和异常检测模型,智能岛礁系统对地理环境信息异常状态进行预警,如对土壤干旱、地下水管爆破等状态预警,并启动应急处置措施。这里以植被浇灌水阀为例,当土壤干旱时,智能岛礁系统启动开启水阀指令,远程打开物理世界岛礁中相应的植被浇灌水阀进行浇灌,进而触发信息世界中虚拟岛礁的土壤监测要素(土壤温度/湿度等)曲线发生变化,实现信息世界向物理世界的反向映射。图5显示的是信息世界的岛礁室内场景中开启水阀,虚拟场景中的水阀将以粒子流效果喷水,同时物理世界岛礁上相应的智能水阀也将开启喷水。

5 讨论

智能地理系统是现实世界物理系统与信息世界的数字系统的融合系统,体现在:地理传感网借助现代传感技术将现实世界的物理系统不间断映射到信息世界的数字系统,是一种正向映射;地理控制网利用智能控制技术将信息世界的数字系统映射到现实世界的物理系统,是一种反向映射;地理智能网需要对现实世界的物理系统进行判断,并形成决策方案和操控指令,涉及到大数据分析、深度学习、人工智能等技术。

论文以智能岛礁系统为案例,采用全要素、全纹理、高精度的方式建立了岛礁室内室外一体化的全空间立体三维模型,实现了在信息世界虚拟场景中对物理世界的实时投影、环境感知、智能判断、操控指令和现实操控与地理改变,并以植被浇灌系统为具体实例,实时感知土壤和植被要素数字,通过干旱智能神经单元实现干旱判断和浇灌指令,通过远程水阀控制实现植被浇灌等,从而改变物理世界的土壤温度、土壤湿度等环境状态信息,这种作用又触发信息世界中地理环境要素状态监测曲线的实时改变,实现了物理世界与信息世界的实时联动。

综上,智能地理系统旨在将现实地理系统与信息地理系统高度融合和相互映射,在物联网、大数



图3 智能岛礁系统主界面

Fig. 3 Main interface of the intelligent island system

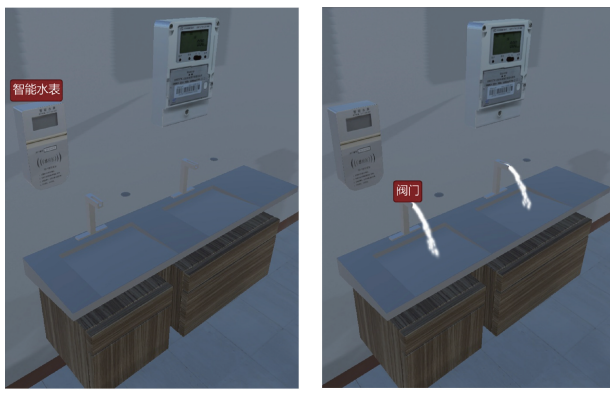


(a) 监测要素实时曲线可视化

(b) 地理环境状态监控信息

图4 岛礁地理环境监测要素实时曲线可视化与状态监控

Fig.4 Simultaneous visualization for the variation curves of features of the island



(a) 水阀关闭状态

(b) 水阀开启状态

图5 水阀智能控制

Fig.5 Intelligent remote control of water valve

据和人工智能及自动控制等新技术条件下,主要研究研究包括:地理系统的几何、要素和过程的表达和抽象理论;地理系统在空间、要素和过程的抽样理论;地理系统的人工智能判断模型;自动控制网与地理系统的融合方法;智能地理系统的相互协作与共享方法等。随着智能地理系统的研究和实践的深入,地理学的自然地理学、人文地理学和地理信息系统三大分支学科将在新技术条件下,有望进入全新的学科融合时代。

参考文献(References):

[1] 钱学森,于景元,戴汝为.一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论[J].自然杂志,1990,13(1):3-10. [Qian

- X S, Yu J Y, Dai R W. A new field of science: Open complex giant system and its methodology[J]. *Chinese Journal of Nature*, 1990,13(1):3-10.]
- [2] 陈述彭.地理系统与地理信息系统[J].*地理学报*,1991,13(1):3-9. [Chen S P. Geo-system and geo-information system[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1991,13(1):3-9.]
- [3] 龚健雅.地理信息系统基础[M].北京:科学出版社,2001. [Gong J Y. *Geographic information system basics*[M]. Beijing: Science Press, 2001.]
- [4] 陈述彭.地理信息系统导论[M].北京:科学出版社,1999. [Chen S P. *Introduction to geographic information system* [M]. Beijing: Science Press, 1999.]
- [5] 吴信才.地理信息系统原理与方法[M].北京:电子工业出版社,2014. [Wu X C. *Principles and methods of geographic information system*[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2014.]
- [6] Goodchild M F. *Geographic information system*[M]. New York: Springer US, 2009.
- [7] 李德仁,龚健雅,邵振峰.从数字地球到智慧地球[J].*武汉大学学报·信息科学版*,2010,35(2):127-132,253-254. [Li D R, Gong J Y, Shao Z F. From digital earth to smart earth [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010,35(2):127-132, 253-254.]
- [8] Wu C, Zhu Q, Zhang Y T, et al. A NoSQL-SQL hybrid organization and management approach for real-time geospatial data: A case study of public security video surveillance[J]. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2017,6(1):21.
- [9] Li, W W, Batty M, Goodchild M F. Real-time GIS for smart cities[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2019, DOI:10.1080/13658816.2019.1673397.
- [10] 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. [Li D R. Towards geo-spatial information science in big data era[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2016,45(4):379-384.]
- [11] Broring A, Echterhoff J, Jirka S, et al. New generation sensor web enablement[J]. *Sensors*, 2011,11(3):2652-2699.
- [12] 周成虎.全空间地理信息系统展望[J].*地理科学进展*, 2015,34(2):129-131. [Zhou C H. Prospects on pan-spatial information system[J]. *Progress in Geography*, 2015, 34(2):129-131.]
- [13] 苏奋振,周成虎.过程地理信息系统框架基础与原型构建[J].*地理研究*,2006,25(3):477-484. [Su F Z, Zhou C H. A framework for process geographical information system [J]. *Geographical Research*, 2006,25(3):477-484.]
- [14] 林琿,黄凤茹,鲁学军,等.虚拟地理环境认知与表达研究初步[J].*遥感学报*,2010,14(4):822-838. [Lin H, Huang F R, Lu X J, et al. Preliminary study on virtual geographic environment cognition and representation[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2010,14(4):822-838.]
- [15] Egenhofer M, Glasgow J, Gunther O, et al. Progress in computational methods for representing geographical concepts[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1999,13(8):775-796.