

DOI: 10.5846/stxb202003120516

郑渊茂, 王业宁, 周强, 王豪伟. 基于景感生态学的生态环境物联网框架构建. 生态学报, 2020, 40(22): 8093-8102.

Zheng Y M, Wang Y N, Zhou Q, Wang H W. Construction on the framework of ecological environment internet of things based on landsenses ecology. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(22): 8093-8102.

基于景感生态学的生态环境物联网框架构建

郑渊茂^{1,2}, 王业宁^{1,2}, 周 强^{1,2}, 王豪伟^{1,*}

1 中国科学院城市环境研究所 城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:更高的城市化率造成新的城市生态环境问题和变化趋势,新理论与新技术也为生态环境监测与管理提供了新方法。景感生态学是以可持续发展为目标,基于生态学的基本原理,从自然要素、物理感知、心理感知、社会经济、过程与风险等相关方面,研究土地利用规划、建设与管理的科学。基于景感生态学理论,开展生态环境物联网的监测网络设计与监测平台构建。首先,从自然要素中的光、热、水、土壤、综合气象等,以及物理感知的视觉、嗅觉、听觉、触觉等作为监测要素并进行特征分析;其次,结合多目标约束和聚类分析约束条件,提出非规则网格最优法进行生态环境监测网络的布设。再其次,重点探讨了联合地面固定监测站、无人船与无人机构建的“陆海空一体化”的生态环境数据采集与监测;其中,在地面构建综合气象与土壤传感器,可监测自然要素的光照、热量、雨量、气压,以及物理感知要素的风速、风向温度、湿度及噪声等;在海洋中,基于无人船搭载的水环境与水质传感器,可监测水体温度、水浑浊度与水污染状况,以及水体总磷与水体质量等;在空中,基于无人机搭载的气体监测仪、多/高光谱传感器与数码相机,可获取不同区域与不同高度的 CO₂、SO₂、PM_{1.5}、PM_{2.5}、NO、O₃ 等大气环境状况及粒子溶度与污染物扩散状况。最后,从全方位、多要素的数据获取、有线网络与无线网络相结合的数据传输、数据分类处理、数据智能控制,以及包含实时监测、预报预警、综合分析和平台管理的远程监控平台等五个模块来构建物联网监测平台。构建的生态环境物联网框架可实现生态环境全方位、全天候、多维度的远程实时监测与智能预警预报,为提升城市生态环境监测与管理提供支撑平台,增强了生态环境安全,满足人民日益增长的优美生态环境需要,提高了城市生态环境动态监测和智能管理的效益。

关键词:景感生态学;生态环境;物联网;监测网络设计;陆海空一体化;监测平台构建

Construction on the framework of ecological environment internet of things based on landsenses ecology

ZHENG Yuanmao^{1,2}, WANG Yening^{1,2}, ZHOU Qiang^{1,2}, WANG Haowei^{1,*}

1 Key Lab of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The higher urbanization rate causes new urban ecological environment problems and changing trends. The new ideas and technologies also provide new methods for ecological environment monitoring and management. Landscape ecology aims at sustainable development based on the basic principles of ecology. It researched the science of land use planning, construction and management from the aspects of natural elements, physical perception, psychological perception, social economy, process and risk, etc. Based on the concept of landscape ecology, this paper developed a monitoring network design and monitoring platform for the ecological environment Internet of things. Firstly, the characteristics of natural elements such as light, heat, water, soil, comprehensive meteorology and so on, as well as physical perception of vision, smell, hearing, touch and so on as the monitoring elements, we perform the feature analysis. Secondly, combined with the

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(XDA23030103);国家自然科学基金(41571148)

收稿日期:2020-03-12; **网络出版日期:**2020-09-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hwwang@iue.ac.cn

multi-objective constraints and clustering analysis constraints, an irregular grid optimal method is proposed to set up the ecological environment monitoring network. Then, the paper focuses on the collection and monitor of the ecological environment data of "land, sea and air integration" built by the combined ground fixed monitoring station, unmanned ship and unmanned organization. Among them, a comprehensively meteorological and soil sensor is built on the ground, which can monitor the light, heat, rainfall and air pressure of natural elements, as well as the wind speed, wind direction, temperature, humidity and noise of physical sensing elements. In the ocean, based on the water environment and water quality sensors carried by unmanned ships, water temperature, water turbidity and water pollution, as well as water environment and water quality can be monitored. In the air, the gas monitor, multispectral sensor and digital phase are based on Unmanned Aircraft Vehicle (UAV). The atmospheric environment conditions of CO_2 , SO_2 , $\text{PM}_{1.5}$, $\text{PM}_{2.5}$, NO , O_3 , particle solubility and pollutant diffusion in different regions and at different heights can be obtained. Finally, the Internet of things (IOT) monitoring platform is constructed from five modules, such as all-round and multi-factor data acquisition, data transmission combined with wired network and wireless network, data classification processing, intelligent control of data, and remote monitoring platform including real-time monitoring, forecast and early warning, integrated analysis and platform management. In this paper, the framework of the Internet of things can realize all-round, all-weather and multi-dimensional remote real-time monitoring and intelligent early warning and forecast of ecological environment, which provides the support to improve the urban ecological environmental monitoring and management platform, so as to enhance the ecological environment security, and meet the needs of the people's increasing beautiful ecological environment, as well as improve the urban ecological environment dynamic monitoring and intelligent management of benefits.

Key Words: Landsenses ecology; ecological environment; internet of things; monitoring network design; land, sea and air integration; monitoring platform construction

快速的城市化率需要启动和促进城市生态环境的科学研究,来耦合城市发展和生态环境过程,实现城市可持续发展。生态环境物联网的发展有助于城市生态环境科学研究与管理。生态环境动态监测与管理的信息化与智能化,是生态文明建设的紧要内容。生态文明是指能够保持和改善生态系统服务,并能够为民众提供可持续福利的文明形态^[1]。显然,生态文明是一种走向可持续发展的文明形态。景感生态学理论涉及表征自然、经济、社会、心理、预期、过程与风险等方面^[2-3]。因此,基于景感生态学理论,完善生态环境动态监测与评估体系,运用监测和评估结果,可为生态文明建设提供科学依据和技术支撑。

生态环境是国家生态文明和美丽中国建设的重要组成部分,随着社会经济的蓬勃发展,人口的不断增加,人类面临的生态环境问题越来越严峻,土地退化、水资源短缺、空气污染、生态风险增加、全球气候变化等严重问题,不利于和谐社会的可持续发展^[4-6]。同时,目前城市化快速发展,城市生态环境破坏状况频发,导致了大气、水质、土壤等环境质量下降,造成生态环境结构和功能退化等严重问题^[7-8]。生态环境与人类的生存和发展息息相关,涉及气候变化、生态演变、人类活动影响等重大科学问题,关乎社会、经济与城市的可持续发展,受到了国际社会的高度关注^[9-10]。随着生态环境问题的日益突出,生态环境监测越来越受到广泛的重视^[11-13]。因此,亟需推进生态环境的监测与管理。随着卫星对地观测技术的发展,尤其是高分辨率卫星遥感数据的不断出现,遥感技术与遥感数据已成为生态环境监测重要手段之一^[14-16]。近年来,卫星遥感技术在生态环境监测领域的作用明显,通过卫星遥感进行高时空分辨率的生态环境监测评估,可迅速得到较大尺度上的生态环境破坏的空间范围^[17-18]。

生态环境监测是掌握生态环境质量状况和发展趋势的重要手段,对于生态环境管理与污染快速处置具有重要意义。目前,卫星遥感技术可快速、大面积获取生态环境监测要素的内容,但也存在遥感数据与生态环境监测要素的数据尺度不匹配、不能满足小尺度研究对反演精度的要求^[14]。随着物联网和信息科学的发展,传

感器和通信领域技术的进步,为生态环境监测与管理提供了新的理论和方法,可以更完整、全方位地进行生态环境监测,使得生态环境动态监测具备实用性、有效性与快捷性。目前,国内外学者对物联网开展了一定的研究,比如,Zhao 等^[2-3]创新性地提出景感生态学,并通过构建厦门 LUEORS 对我国城市生态环境进行实地研究,提出“物灵网(ZeroIoT)”的概念以辅助建设可持续发展的智慧城市;同时,Zhao 等^[19]提出用于中国的“Town Villages”生态管理系统。Wang 等^[20]阐明环境物联网的整体框架与主要内容。Dong 等^[21-22]提出物联网噪声监测系统的域模型,构建物联网在噪声监测领域的方法,为物联网应用推广提供新思路。Wang 等^[23]和 Gao 等^[24]基于环境物联网分别对水环境、湿地及土壤环境进行详细监测。Li 等^[25-26]利用环境物联网将公众参与纳入声景观评价体系,为可持续城市生态环境管理服务。刘鑫^[27]建成了多个生态环境物联网子系统,构建北运河香河段生态环境物联网环境管理体系框架。张娜等^[28]设计并实现基于物联网的水质监测系统,提高了监测精度。Saravanan 等^[29]提出一种与物联网技术相结合的监测控制与数据采集(SCADA)系统,用于实时监测水质,结果表明该系统性能优于现有系统,取得了较好的效果。Dhingra 等^[30]提出了一种三相空气污染监测系统,包含气体传感器、集成开发环境(IDE)和 Wi-Fi 模块,用户可从云端访问空气质量数据,并可预测未来空气质量。这些研究均已获得了良好的成果,但主要涉及在环境领域且主要是监测水质或空气的单一要素,尚少有关于集成水质、土壤、综合气象、大气环境及污染物等多要素、全维度一体化监测的报道。基于此,本文提出的生态环境物联网可进行生态环境领域多要素、全方位与全天候的监测与管理,对生态文明建设的生态环境质量实时监测预警、模拟和管理方面具有重要的潜在应用与意义。

因此,本文基于景感生态学理论,完善生态环境动态监测体系,开展了生态环境物联网的监测网络设计与监测平台构建,并论述其完整的框架。通过生态环境物联网的应用,对提升我国生态环境监测的信息化水平,具有重要社会意义^[31]。本文提出的物联网监测框架方法可实现生态文明建设中生态环境全要素、立体化的实时感知、数据管理与综合分析,为生态环境动态监测和智能管理服务。

1 理论

1.1 景感生态学

景感生态学是以可持续发展为目标,基于生态学的基本原理,从自然要素、物理感知、心理感知、社会经济、过程与风险等相关方面,研究土地利用规划、建设与管理的科学^[2-3]。自然要素包括光、热、水、土、地磁、放射性与地形地貌等,物理感知包括人们的视觉、嗅觉、听觉、味觉、光觉、触觉(风速、风向、温度、湿度等),心理感知包括宗教、文化、愿景、隐喻、安全、社区关系与福利等^[2-3]。景感生态学涉及到多要素的研究,其中一些要素从属自然要素、物理感知或心理感知等多重属性;显然,这些要素的出现与否和不同组合会导致不同的利用效果^[2]。

景感生态学的内涵表明,它的应用将直接或间接地涉及表征自然、经济、社会、心理、预期、过程与风险等方面的数据。城市在自然环境和人文环境各要素间相互作用中形成了特色的地理环境,其产生的“迷码”数据量巨大,环境物联网、3S 技术等技术提升了该类数据的获取能力,这些新的数据形式奠定了生态环境动态监测的重要基础,有助于推动互联网、大数据、人工智能和实体经济的深度融合。

“迷码”数据包括“混合”数据和“行进”数据这两类数据。“混合”数据是指通过不同途径、不同来源、不同时空尺度等各种形式获得的具有相同或不同性质的各类数据;“行进”数据是指工作程序实施过程中出现的数据^[2]。本文构建的物联网获取的生态环境各要素的实时数据即包含了“混合”数据和“行进”数据。

1.2 环境物联网

环境物联网是一种具有环境感知与管理功能的综合系统,包括感知环境系统和智慧管理系统,基于环境大数据中心平台,通过对环境各要素的实时感知、数据传输、综合分析及深度挖掘环境问题,整体把握环境变化趋势,为环境监测提供信息管理与决策的技术支持^[32-33]。环境物联网有三个主要特征^[34],第一是全传感,即传感器被用于随时随地检测信息;第二是可靠传送,因为信息是通过各种网络信号和 Internet 的综合传送;

三是智能处理,利用云计算、模糊识别等计算技术对海量数据分析处理,对事物进行智能控制。因此,通常认为物联网由 3 个层次组成:收集数据的感知层、传输数据的网络层和处理分析数据的应用层。总之,物联网是集信息采集、传输与处理等分布式技术为一体的网络信息系统,具有低成本、小型化、低功耗、灵活的网络和对移动目标适应性。

景感生态学的理论研究和实际应用需对生态及相关动态过程进行长期的、实时的、原位的观测,包括客观的“感”和人们主观的“感”等方面。这类观测只有通过环境物联网的途径才有可能获得,通过其他途径是很难或无法获得的^[2]。

其次,物联网为生态环境监测提供了可行的途径,进而为生态环境的规划、建设、管理与调控等提供了有效的保障^[2]。视觉、听觉、嗅觉、味觉与触觉等物理感知功能作为一个系统且常常是相互影响的。生态环境作为一个整体也是不可拆分的,在生态环境监测中既要分别研究各种物理感知,也要把各种物理感知作为一个系统进行研究。因此,物联网是景感生态学不可或缺的有效工具,同时景感生态学为物联网的发展提供方向和思路^[2]。

2 监测点位网络的设计

2.1 监测要素与点位分析

本文构建的城市生态环境监测是基于景感生态学理论的自然要素和物理感知这两方面开展城市生态环境的要素监测。具体地,主要从自然要素中的光、热、水质、土壤、综合气象(雨量、气压等);以及物理感知的视觉(环境状况)、嗅觉(大气污染物等)、听觉(噪声等)、触觉(风速、风向、温度、湿度等)进行全方位、持续地监测,来完整地表征生态环境的时空状况;同时,加强监测数据的综合分析,全面、精确、及时地掌握监测要素对象的现状、动态变化、发展趋势及相互影响,为城市生态环境动态监测与管理规划等提供数据支撑。

其次,生态环境监测网络是根据一定的监测目的和功能属性,组成统一规则运行的系统。生态环境监测是生态文明建设的重要支撑,而监测点位的网络布设是监测工作中的一个重要问题^[35-36]。因此,生态环境监测网络是实施生态环境监测与管理的重要措施。基于此,对城市生态环境监测点位的选取,需结合生态环境监测区域的空间布局、城市规划、历史综合气象资料、以及在生态敏感特征与污染物浓度空间分布特征调查的基础上,并经过综合分析来确定监测网络点位的数量和布局,使其达到足够的空间代表性和经济适宜性。

2.2 非规则网格最优法

针对目前生态环境监测网络的监测点位采用规则格网划分,其存在获取数据代表性不够完整、经济不够适宜性等问题。本文基于景感生态学理论的心理感知、社会经济、过程与风险等相关方面,提出非规则网格最优法进行监测点位的布设。非规则网格最优法以非规则网格法为主体,结合多目标约束和聚类分析约束条件,对监测网络点位的分布布局进行优化。具体方法内容如图 1 所示,非规则网格最优法的步骤如下:

(1)在城市空间布局和城市规划资料等统计基础上,通过生态环境网络设施和生态敏感特征调查,确定生态环境监测目标区。构建的非规则网格法是基于景感生态学理论的生态风险、过程感知、心理感知、社会经济和辖区管理等方面计算监测区数据,通过对多层地理信息空间叠加分析及综合研判,将生态环境监测目标区初步划分为多个不规则网格。

(2)从人口约束、成本约束、空间约束及地形约束等方面为多目标约束条件,对非规则网格的监测点位进行分析,建立区域监测网络布点模型并优化求解,得出生态环境监测网的初步优化结果。

(3)以气象分析、地形分析、功能布局分析与目标敏感分析等为聚类分析约束条件;基于地理空间分析,在求解监测网初步优化结果的基础上,根据物以类聚对各指标进行分类与统计分析,着重将多个相似监测点位聚为一类;最终,得到生态环境监测网的点位空间布局和经济适宜性的最优化。

因此,本文构建的非规则网格最优法是基于景感生态学理论,从目标物体的内在本质与外在空间数据约束构建全属性进行生态环境监测点位模型的最优化求解。与单一的目标约束和聚类分析约束主要从目标对

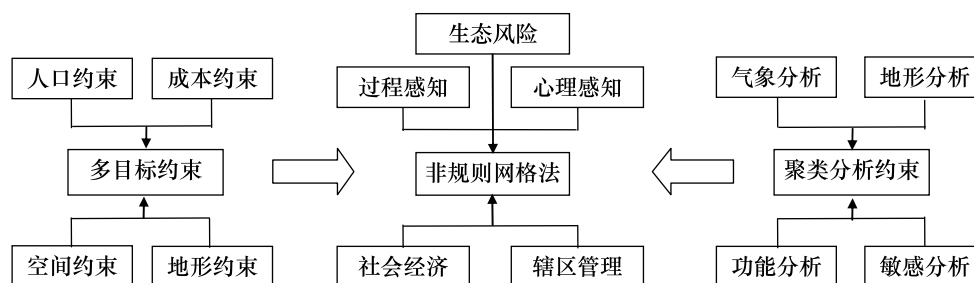


图 1 非规则网格最优法

Fig.1 Irregular grid optimization method

象的外在空间属性进行优化相比;非规则网格最优法具有考虑目标对象的全属性、内外一体特征,可从目标对象内在本质的感知和外在空间数据约束结合一体化来进行监测点位全方位的约束计算求解,最终可计算出监测点位的最优化方案。总之,通过本文提出的非规则网格最优法可计算生态环境监测点位数量的最优解,同时也使得生态环境监测点位的空间布局与经济适宜性达到最优化。

3 物联网监测平台的构建

本文构建的物联网监测平台设施主要由:生态环境各要素传感器、数据采集装置、数据传输网络、数据处理与控制装置,以及远程监控平台等部分构成。根据生态环境监测的要求,首先,安装土壤、水质与大气传感器,以及降水、风速、风向、温度与气压等综合气象要素传感器;其次,构建有线和无线数据传输网络硬件,并设计开发一套远程监控管理软件平台,建立一个基于物联网的生态环境远程实时监测系统。此外,本文构建物联网监测平台的数据获取是基于地面的固定监测站、基于海洋的无人船搭载的传感器,以及基于空中的无人机搭载的传感器集成的陆海空一体化监测采集终端,并通过地面监控站远程控制的生态环境实时监测与预报预警。构建物联网监测平台的具体方案,如图 2 所示。

3.1 陆海空一体化数据获取

首先,本文的数据获取主要是对生态环境的各要素进行监测,通过基于地面、海洋、空中的数据采集终端构建陆海空一体化进行生态环境各要素监测。其中,在陆海空一体化生态环境监测设备中,地面是固定监测站,海洋是无人船搭载传感器,空中是无人机搭载传感器。

地面数据采集是通过固定监测站构建综合气象和土壤传感器。通过构建多要素监测集成的综合气象传感器可实时、全天候采集地表自然要素的光照、热量、雨量、气压,以及物理感知要素的风速、风向温度、湿度与噪声等;通过土壤传感器可监测地表自然要素的土壤水分、湿度以及土壤 PH 值的土壤环境各要素的状况。此外,可设计移动式传感器来辅助地面各要素信息的采集获取,还可采用其他类型的传感器作为地面数据监测站进行数据的感知获取。

海洋数据采集是通过无人船搭载水环境和水质传感器等。通过水环境传感器可监测物理感知要素的水体温度、水浑浊度及水污染状况;通过水质传感器可监测物理感知要素的水体环境和水体质量;且无人船上安装有 GPS 定位系统,可精确定位水环境严重污染重点区域的空间位置和范围,来实时、准确了解水域的生态环境状况。

空中数据采集是通过无人机搭载大气气体监测仪、多/高光谱传感器以及数码相机等。无人机可在野外高寒及高热等高危环境的监测人员难以到达地方进行数据采集监测。通过大气气体监测传感器可快速、实时地获取不同区域与不同高度中物理感知要素的 CO_2 、 SO_2 、 $\text{PM}_{1.5}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO 、 O_3 等气体的大气环境状况以及粒子溶度与污染物扩散状况;通过多/高光谱传感器可进行物理感知视觉要素的水环境、水质与地表植物病虫害状况的遥感监测;通过无人机搭载数码相机获取的影像数据可进行视觉要素的地表地貌与地物的生态环境状

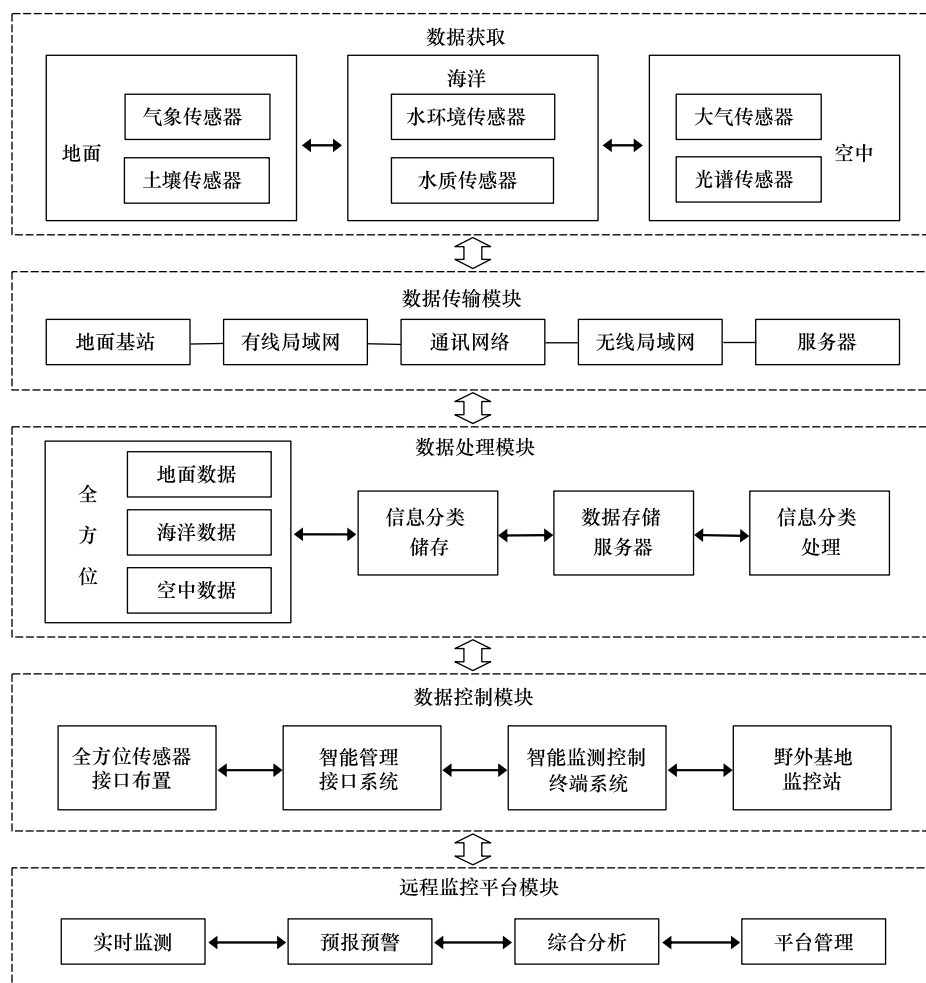


图2 物联网监测平台方案

Fig.2 Platform solution for Internet of Things monitoring

况快速监测,尤其对污染面域准确及时地响应监测与分析。陆海空一体化的生态环境监测的各要素,如图3所示。

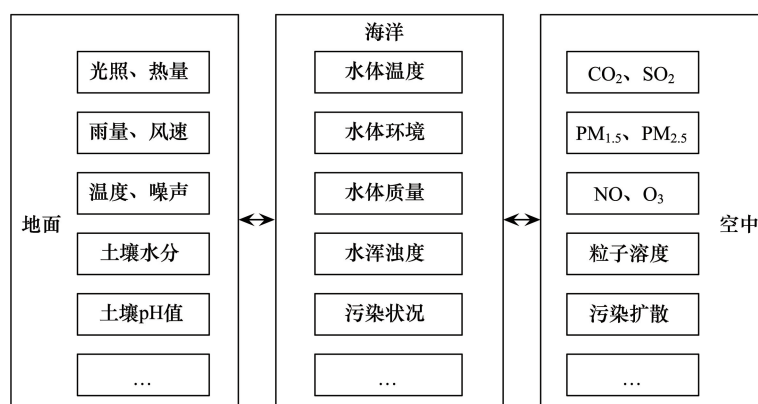


图3 陆海空一体化的生态环境监测要素

Fig.3 Ecological environment monitoring elements based on land, sea and air integration

3.2 数据传输模块

数据传输模块用于数据采集模块和数据处理模块之间的数据传输。根据数据传输环境,数据传输主要分为有线局域网传输和无线局域网传输,在地面的数据采集模块由于布线方便,可采用有线局域网传输或无线局域网传输;在海洋和空中的数据采集模块由于布线不方便,采用无线局域网传输。即对于地面各传感器获取的数据,可通过有线网络或无线局域网将数据传输到数据处理模块,而对无人船和无人机搭载的传感器数据采用无线局域网的传输方式。

数据传输模块中,野外地面基站主要配置无线网桥、网络交换机以及监控计算机等设备。其中无线网桥是接收传输模块中无线数据采集器发送生态环境监测的光照、热量、土壤环境、水环境、大气与综合气象等各类要素的实时数据,再通过网络交换机发送给远程监控计算机。监控计算机中安装定制开发的监控管理平台系统,实现对监测数据的连续采集、查询与传输。

其次,构建有线和无线数据传输网络硬件,设计基于互联网的远程实时生态环境数据传输管理平台系统。该系统是利用交叉学科优势对生态环境的各要素进行实时监测,对数据传输在时空范围内进行拓展和探索,克服传统原位采样和测试方法带来的滞后和误差,提高了获取数据的效率和准确性。最后,将野外地面基站收集的数据统一储存在数据服务器进行管理分析。具体流程如图 2 中的数据传输模块。

3.3 数据处理模块

在野外地面基站将生态环境地面、海洋和空中的各类采集数据传输到数据存储服务器,可进行各类数据信息的存储、分析与处理。对于数据存储服务器收集到生态环境各要素、全方位的地面数据、海洋数据与空中数据,按照统一布局将各类数据信息完整地进行分类储存与分类处理,便于后续对数据综合分析,本部分如图 2 中的数据处理模块所示。

3.4 数据控制模块

在数据控制模块中,本文设计全方位传感器接口布置、智能管理接口系统、智能监测控制终端系统与野外基地监控站共 4 个部分进行数据控制。本模块主要是通过野外基地监控站建立一个远程监控数据中心,利用 VPN(虚拟专用网)技术,通过智能管理接口系统和智能监测控制终端系统,可实现远程控制各类生态环境传感器接口监测数据的实时采集与传输。通过此模块,在互联网可远程监控各类传感中的所有历史和实时数据,大大提高了监测实时性和准确性。由于采用 VPN 技术,可保证数据安全性同时有效地降低系统成本。本部分如图 2 中的数据控制模块所示。

3.5 远程监控平台模块

远程监控平台模块主要是远程监控各类传感器的数据采集,可实时获取生态环境各要素的数据信息及生态环境状况。远程监控平台模型主要包括实时监测、预报预警、综合分析和平台管理共四个方面。

在实时监测方面,主要包含数据接收、数据解析和数据存储。通过监控平台可实现对监测数据的远程实时查看、转换导出和存储分析,同时对野外传感器硬件设备的运行状况进行在线管理和智能控制。该技术不受地域时空限制,对生态环境各要素实时监测控制,大大增强了获取数据的精确度和效率。通过收集综合气象、土壤环境、水环境与大气环境等自然要素和感知要素数据,进行远程监控和管理,为生态环境的科学评估与预测提供基础数据及技术支撑、提高生态环境的管理和综合效益。

在预报预警方面,主要包含动态信息、智能预报和智能预警。通过监测平台可实时获取生态环境各类监测要素的状态,获取各类要素实时动态信息。同时对每类要素设定阈值,当监测的数据值超过该阈值时,监测平台自动预警该环境要素超标,并在远程监控平台上进行预报预警显示。总之,该远程监控平台可对生态环境各要素实时监测,并对监测要素超标造成的环境影响区进行智能预报与预警。

在综合分析方面,主要包含污染状况、污染源分析和环境评价。在监测平台可对监测的生态环境各要素进行综合分析,尤其对污染物状况重点分析,通过在线绘制污染物区域图及扩散图,及时显示污染物区域;并根据污染状况进行污染源分析,对污染物周围进行环境评价。通过生态环境长时间的监测,获取各要素的时

空数据,还可由监测平台的综合分析,得到生态环境各要素动态变化的规律与机制,进一步探讨生态环境恢复及演变机理,并验证本文提出的方法在生态环境监测应用的准确性和可靠性。

在平台管理方面,主要包含可视化管理、数据库维护和平台维护。远程监控平台的可视化管理具有多种功能,可对生态环境各要素进行实时监测、统计报表、历史数据展示、实时数据展示、智能预报报警与显示综合分析的图表等,具有良好的人机可视化界面且易于操作,是实现远程控制、远程数据采集、数据分析与指令控制等功能的综合管理平台。在平台管理中,配置强大的实时数据库管理来储存所采集数据,如定时存储与变化存储等,保证数据可靠性,也减少对存储空间的要求;同时也对综合分析的数据进行储存管理。最后,在平台管理中,对平台进行维护与定期检查,可修复存在的问题,确保远程监控平台能保持稳定、持续地进行生态环境全方位、全天候的实时在线监测工作。远程监控平台模块如图4所示。

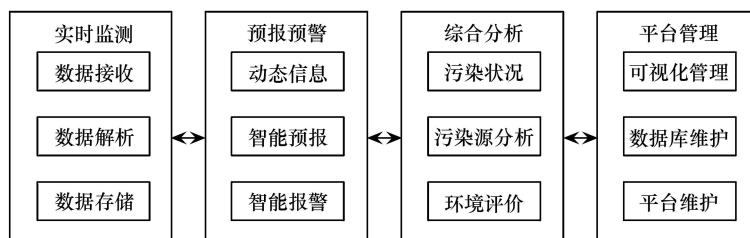


图4 远程监控平台模型

Fig.4 Platform model for long-distance monitoring

总之,本文提出基于景感生态学的生态环境物联网框架构建。第一是感知层,首先进行空间布局和城市规划等历史资料的收集,了解生态环境监测要素状况与特征分析,基于景感生态学理论来确定自然要素和物理感知方面的生态环境监测要素;其次,基于景感生态学的心理感知、社会经济、过程与风险等相关方面,提出非规则网格最优法进行监测点位的布设。第二是网络层,包括数据传输网络、数据处理服务器和数据控制系统。第三是平台层,包含实时监测、预报预警、综合分析与平台管理共四个部分。最后是应用层,将平台层得到的生态环境的时空监测结果与综合评估,可为生态文明建设效益评价与管理系统提供准确、可靠的数据源;也为生态环境监测智能预警与综合平台提供技术支撑,提高了城市生态环境动态监控和智能管理的效益。本文构建基于景感生态学的生态环境物联网总体框架,如图5所示。

4 结论

生态环境物联网的发展有助于生态环境科学研究和生态环境管理。本文提出了非规则网格最优法增强了生态环境监测网络点位布设的效益;其次,构建陆海空一体化的生态环境多要素数据感知获取,可全方位、立体化、全天候与多维度地获取生态环境要素的光照、热量、土壤环境、水质环境、空气环境、降水、风速、风向、温度与气压等综合气象要素等,并进行实时远程监测与智能预警预报,增强了城市生态环境安全,提高了城市生态环境监测与管理的效益,满足人类日益增长对优美生态环境的需求。此外,由于非城市地区的人类社会经济活动较少,生态环境存在的严重问题也较少。因此,在非城市地区主要侧重于光照、热量、水质、土壤、地形地貌与综合气象等自然要素的监测;对于非城市地区也是采用非规则网格最优法进行监测点位的网络布设,以及基于本文构建的生态环境监测平台进行自然要素的数据实时获取与综合分析等。

基于景感生态学构建的生态环境物联网监测平台,可不受地域时空限制,对各生态环境要素进行实时监测控制,且获得数据的精确度和效率都大大提高,为城市生态环境监测提供科学依据与手段。此外,该物联网平台还可为城市管理者、科学研究者、公众提供科学准确的数据来源,提高了生态环境信息获取的效率与知情权,为促进生态环境建设、社会和经济的可持续发展具有重要意义。综上所述,本文构建的生态环境物联网框架,提高了城市生态环境动态监测和智能管理的效益,还可为全球各区域的城市生态环境监测提供科学依据

与技术支撑。

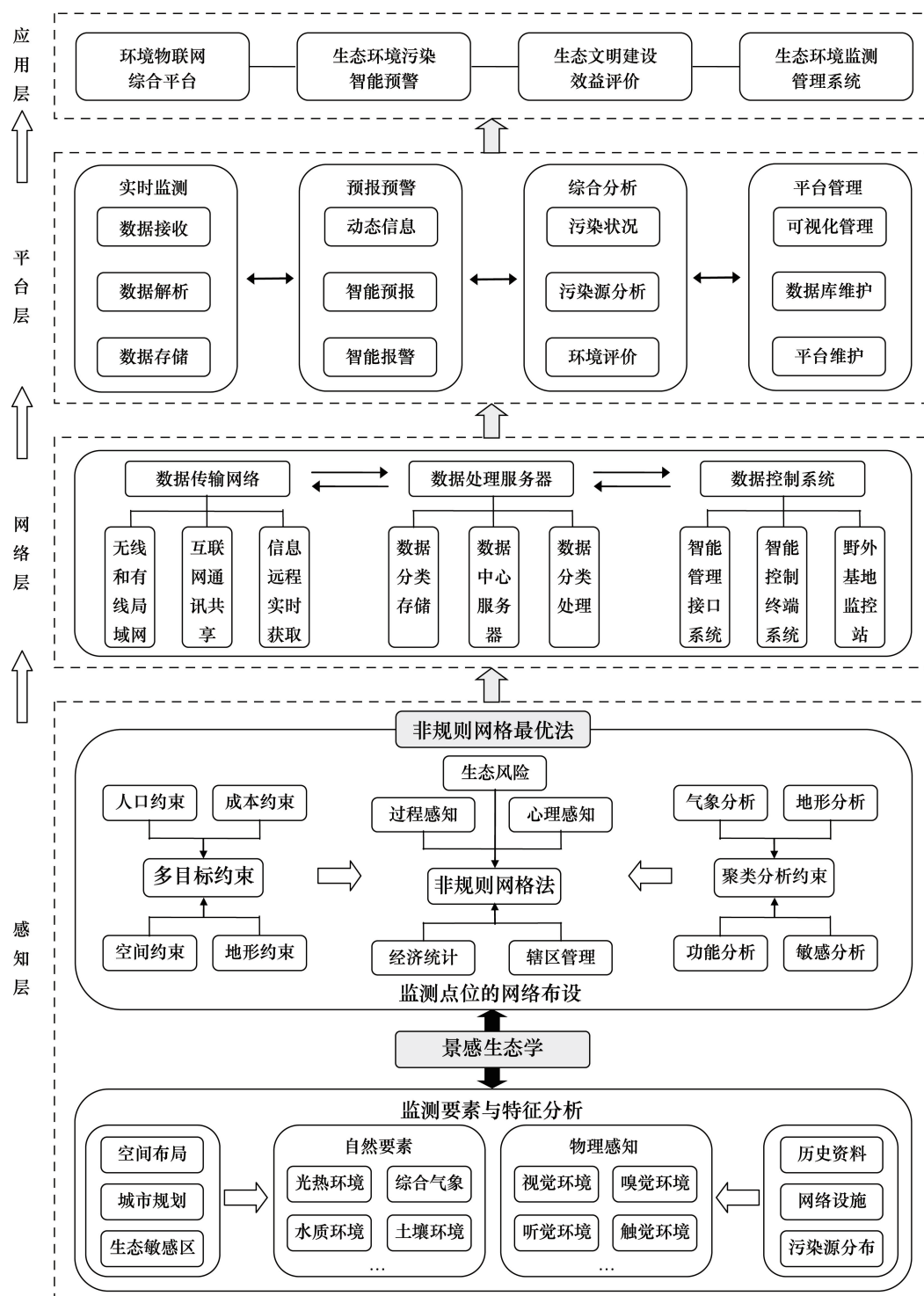


图 5 基于景感生态学的生态环境物联网框架

Fig.5 Framework for ecological environment Internet of things based on Landsenses ecology

参考文献 (References):

- [1] 赵景柱. 关于生态文明建设与评价的理论思考. 生态学报, 2013, 33(15): 4552-4555.
- [2] Zhao J Z, Liu X, Dong R C, Shao G F. Landsenses ecology and ecological planning toward sustainable development. International Journal of

- Sustainable Development & World Ecology, 2016, 23(4): 293-297.
- [3] Zhao J Z, Yan Y, Deng H B, Liu G H, Dai L M, Tang L N, Shi L Y, Shao G F. Remarks about landsenses ecology and ecosystem services. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2020, 27(3): 196-201.
- [4] 李欢欢, 张雪琦, 张永霖, 董仁才. 城市生态环境损害鉴定评估监测体系研究. *生态学报*, 2019, 39(17): 6469-6476.
- [5] Tang L N, Wang L, Li Q Y, Zhao J Z. A framework designation for the assessment of urban ecological risks. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2018, 25(5): 387-395.
- [6] 傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 生态系统综合评价的内容与方法. *生态学报*, 2001, 21(11): 1885-1892.
- [7] 赵少华, 刘思含, 刘芹芹, 吴艳婷, 吴迪. 中国城镇生态环境遥感监测现状及发展趋势. *生态环境学报*, 2019, 28(6): 1261-1271.
- [8] 刘菁华, 李伟峰, 周伟奇, 韩立建, 钱雨果. 京津冀城市群扩张模式对区域生态安全的影响预测. *生态学报*, 2018, 38(5): 1650-1660.
- [9] Siepielski A M, Morrissey M B, Buoro M, Carlson S M, Caruso C M, Clegg S M, Coulson T, DiBattista J, Gotanda K M, Francis C D, Hereford J, Kingsolver J G, Augustine K E, Kruuk L E B, Martin R A, Sheldon B C, Sletvold N, Svensson E I, Wade M J, MacColl A D C. Precipitation drives global variation in natural selection. *Science*, 2017, 355(6328): 959-962.
- [10] Craw D, Upton P, Burrige C P, Wallis G P, Waters J M. Rapid biological speciation driven by tectonic evolution in New Zealand. *Nature Geoscience*, 2016, 9(2): 140-144.
- [11] 徐涵秋. 城市不透水面与相关城市生态要素关系的定量分析. *生态学报*, 2009, 29(5): 2456-2462.
- [12] Turpie K R, Klemas V V, Byrd K, Kelly M, Jo Y H. Prospective hysPIRI global observations of tidal wetlands. *Remote Sensing of Environment*, 2015, 167: 206-217.
- [13] Murray N J, Keith D A, Bland L M, Ferrari R, Lyons M B, Lucas R, Pettorelli N, Nicholson E. The role of satellite remote sensing in structured ecosystem risk assessments. *Science of the Total Environment*, 2018, 619-620: 249-257.
- [14] 欧阳志云, 张路, 吴炳方, 李晓松, 徐卫华, 肖燧, 郑华. 基于遥感技术的全国生态系统分类体系. *生态学报*, 2015, 35(2): 219-226.
- [15] 张添佑, 王玲, 王辉, 彭丽, 罗冲. 玛纳斯河流域盐渍化灌区生态环境遥感监测研究. *生态学报*, 2017, 37(9): 3009-3018.
- [16] Kim H, Parinussa R, Konings A G, Wagner W, Cosh M H, Lakshmi V, Zohaib M, Choi M. Global - scale assessment and combination of SMAP with ASCAT (active) and AMSR2 (passive) soil moisture products. *Remote Sensing of Environment*, 2018, 204: 260-275.
- [17] Yue L W, Shen H F, Yu W, Zhang L P. Monitoring of historical glacier recession in Yulong mountain by the integration of multisource remote sensing data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2018, 11(2): 388-400.
- [18] 彭燕, 何国金, 张兆明, 江威, 欧阳志云, 王桂周. 赣南稀土矿开发区生态环境遥感动态监测与评估. *生态学报*, 2016, 36(6): 1676-1685.
- [19] Zhao J Z, Zheng X C, Dong R C, Shao G F. The planning, construction, and management toward sustainable cities in China needs the Environmental Internet of Things. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20(3): 195-198.
- [20] Wang H W, Zhang T H, Quan Y, Dong R C. Research on the framework of the Environmental Internet of Things. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20(3): 199-204.
- [21] Dong R C, Tang M F, Zhou K, Li S Y, Wu G. Study on the modified quadrat sampling method for urban ecosystem network monitoring. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20(3): 210-215.
- [22] 董仁才, 李宇亮, 全元, 王辰星. 物联网技术应用于噪声监测的路径探索. *环境科学与技术*, 2014, 37(S1): 258-260, 402-402.
- [23] Wang S M, Zhang Z J, Ye Z L, Wang X J, Lin X Y, Chen S H. Application of environmental internet of things on water quality management of urban scenic river. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20(3): 216-222.
- [24] Gao J B, Wu Q, Li Q L, Ma J, Xu Q F, Groffman P M, Yu S. Preliminary results from monitoring of stream nitrogen concentrations, denitrification, and nitrification potentials in an urbanizing watershed in Xiamen, Southeast China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20(3): 223-230.
- [25] Li C M, Liu Y, Haklay M. Participatory soundscape sensing. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 173: 64-69.
- [26] Li C M, Wei D, Vause J, Liu J P. Towards a societal scale environmental sensing network with public participation. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20(3): 261-266.
- [27] 刘鑫. 生态环境物联网技术与管理研究——以北运河为例[D]. 北京: 中国科学院大学, 2017.
- [28] 张娜, 杨永辉. 基于物联网的水质监测系统设计与实现. *现代电子技术*, 2019, 42(24): 38-41, 45-45.
- [29] Saravanan K, Anusuya E, Kumar R, Son L H. Real-time water quality monitoring using Internet of Things in SCADA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2018, 190(9): 556.
- [30] Dhinra S, Madda R B, Gandomi A H, Patan R, Daneshmand M. Internet of things mobile-air pollution monitoring system (IoT-Mobair). *IEEE Internet of Things Journal*, 2019, 6(3): 5577-5584.
- [31] 李新, 刘绍民, 孙晓敏, 吴冬秀, 周燕, 郭建文, 温学发, 陈世革, 马明国, 晋锐, 赵宁. 生态系统关键参量监测设备研制与生态物联网示范. *生态学报*, 2016, 36(22): 7023-7027.
- [32] 路倩倩, 马建伟, 王大睿, 曹燕, 冯启源. 环境物联网在水环境整治中的应用展望--以北运河香河段为例. *环境工程*, 2018, 36(5): 180-183.
- [33] 苏晓丹. 城市环境物联网的基础理论与实践研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.
- [34] Gubbi J, Buyya R, Marusic S, Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 2013, 29(7): 1645-1660.
- [35] 赵其国, 黄国勤, 马艳芹. 中国生态环境状况与生态文明建设. *生态学报*, 2016, 36(19): 6328-6335.
- [36] 陈明华, 曹娟, 贺美娇, 刘振邨, 刘恋, 刘观华. 鄱阳湖生态环境监测布点现状及优化建议. *环境监测管理与技术*, 2018, 30(5): 60-63.