

邹尚恩, 刘开鑫, 孙晓辰, 胡一可. 智慧景观背景下物联网技术研究进展与展望[J]. 风景园林, 2023, 30 (8): 64-71.

# 智慧景观背景下物联网技术研究进展与展望

邹尚恩 刘开鑫 孙晓辰 胡一可\*

**摘要:** 【目的】智慧景观旨在通过数据驱动将景观项目数字化、网络化、可视化。明确智能景观背景下物联网技术的相关研究进展, 对促进景观项目的精准化和科学化具有重要意义。【方法】以“景观”“物联网”为主题, 检索 Web of Science (WoS) 数据库 2013—2022 年的相关英文文献, 采用科学计量方法, 利用 COOC13.4 及 VOSviewer1.6.13 计量软件, 对文献数量、作者、国家、期刊、关键词进行可视化知识图谱分析。【结果】结果表明, 物联网技术与景观项目周期密切相关, 研究集中于勘察与测绘、规划设计、环境监测、信息管理四大方面。【结论】分析得出物联网技术的具体应用, 能有效促进其在空间信息化、规划智能化、治理智慧化三大方面的发展, 以期为今后景观项目周期中物联网技术的应用发展提供参考。  
**关键词:** 风景园林; 物联网; 智慧景观; 文献计量学; 可视化分析  
**基金项目:** 国家自然科学基金重点项目 (编号 52038007); 河北省水环境科学实验室绩效后补助经费项目 (编号 21567631H)

中图分类号: TU986  
文献标识码: A  
文章编号: 1673-1530(2023)08-0064-08  
DOI: 10.12409/j.fjyl.202301020002  
收稿日期: 2023-01-02  
修回日期: 2023-06-13



“物联网” (Internet of Things, IoT) 指的是将各种信息传感设备与互联网结合起来而形成的一个巨大网络<sup>[1]</sup>, 其关键性应用技术包括识别事物的射频识别技术、感知事物的传感器技术、分析事物的智能技术、微缩事物的纳米技术<sup>[2]</sup>。根据 Gartner 在新兴技术成熟度曲线报告来看, 2011 年物联网技术首次被列为值得关注的创新技术, 2013 年调查显示有超过 50% 的互联网连接都是“装置”连接<sup>[3]</sup>, 2020 年物联网等技术开始和人工智能协同应用<sup>[4]</sup>。随着物联网技术的赋能, 在深度覆盖、海量连接、实时处理和智能计算等方面取得了进步<sup>[5]</sup>, 能够收集多种数据并快速地进行智能化分析与反馈, 连接物理空间与虚拟空间, 从而为智慧景观提供有效的实施途径。

智慧景观旨在通过数据驱动将景观项目数字化、网络化、可视化。通过物联网技术, 在智慧景观中构建出动态变化且相互关联的“人与物”“物与物”网络环境, 对接收的数据或信息执行决策<sup>[6]</sup>。信息空间与物理空间相融合, 让景观之间、景观与人之间的信息能够高效交互<sup>[7]</sup>, 促进景观项目的精准化和科学化<sup>[8]</sup>, 因此智慧景观逐渐成为当前的研究热点。

智慧景观是数字技术与风景园林结合的产物<sup>[9]</sup>。随着数字技术融入全尺度、全过程的

风景园林规划设计中<sup>[1]</sup>, 物联网技术与智慧景观的结合促进了“跨学科、跨领域”技术方法的出现, 能辅助建设广泛收集、快速处理与反馈、智能分析的信息网络平台, 助力“全流程、精准化”的设计实践, 提升了其在智慧景观行业的技术应用水平和未来发展趋势。目前, 物联网技术的应用多集中于城市、建筑、交通及其他基础设施等方面, 少有研究对智慧景观背景下的应用进行系统归纳与总结。因此, 本研究以物联网技术为主题对近 10 年前沿英文文献进行分析, 了解智慧景观背景下物联网技术的发展现状、研究热点和未来趋势, 为中国相关领域研究提供参考。

## 1 数据来源与研究方法

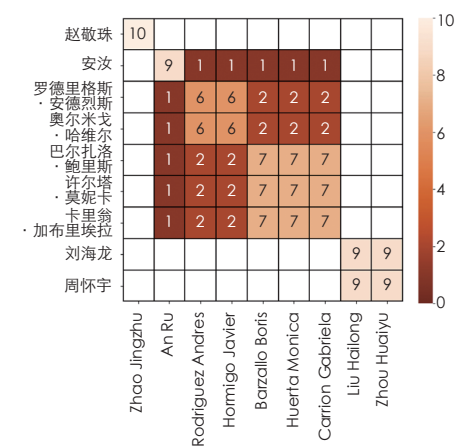
### 1.1 数据来源

研究数据来源于 Web of Science (WoS) 核心合集数据库, 检索时间范围为 2013—2022 年, 检索时间为 2022 年 12 月。英文文献检索主题为“TS=Internet of Things AND landscape”, 语言类型为“English”, 文献类型为“article”“review”, 获得文献 641 篇, 排除重复文献后获得 636 篇。随后利用 Co-occurrence13.4 (COOC13.4) 软件进行数据采集、清洗及同义词合并, 以人工复筛来提升分析数据的准确性。最终以高频关键词进行筛选, 对

“Internet of Things (物联网)”“landscape architecture (风景园林)”“smart garden (智慧园林)”“intelligent landscape (景观智能)”“landscape ecology (景观生态)”“cultural landscape (文化景观)”“urban landscape (城市景观)”“digital landscape (数字景观)”“landscape planning (景观规划)”“stormwater management (雨水管理)”“landscape design (景观设计)”“cultural heritage (文化遗产)”分别进行组合检索。筛选与研究主题概念相悖、相关性较低的文献, 得出有效文献 57 篇。

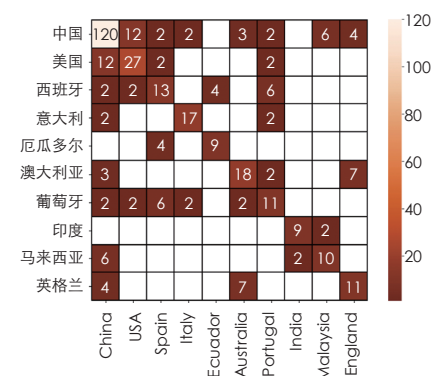
### 1.2 研究方法

本研究侧重于总结物联网在景观领域内的主要研究热点和新兴研究方向。采用 COOC13.4 软件和 VOSviewer 1.6.13 软件对检索得到的 57 篇文献进行定量分析并绘制知识图谱, 通过可视化分析, 将智慧景观背景下物联网技术的国际研究现状、热点和前沿以图谱的形式呈现。首先, 对文献近 10 年的相关研究进行可视化分析, 阐明研究现状; 其次, 对文献的作者、期刊、国家以及关键词进行耦合网络分析、共现分析及聚类分析, 探讨其研究热点; 最后, 通过突变检测算法 (burst detection algorithm), 预测其发展趋势。通过提取近 10 年来的前沿研究热点文献, 采



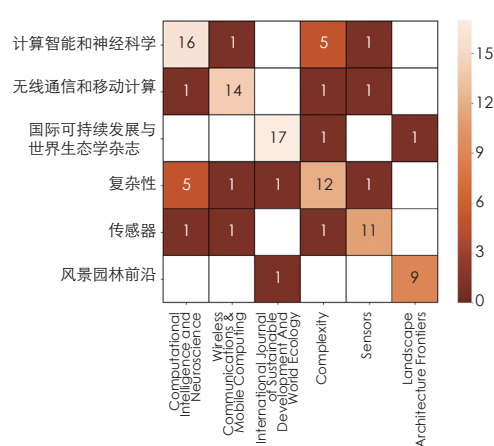
注：网格横向和纵向分别为同一描述对象的中英文。  
作者耦合网络

1-1



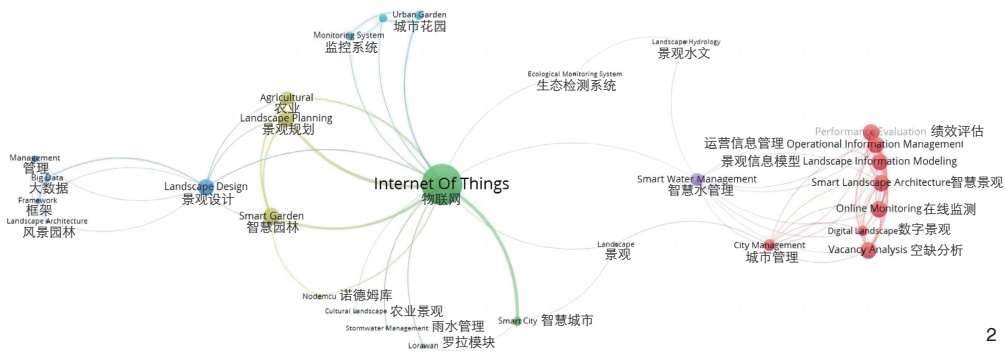
国家耦合网络

1-2



期刊耦合网络

1-3



1 耦合网络分析  
Coupling network analysis  
2 关键词共现图  
Keyword co-occurrence map

2

用内容分析法对物联网技术在智慧景观中的应用进行了总结。

## 2 研究结果分析

### 2.1 文献年度分布分析

根据文献年度分布数量,近10年的研究发展趋势向好,物联网技术在景观领域的研究引起了学界和业界的广泛关注和深入探讨:2013—2017年处于萌芽阶段,总发文量为4篇;2018年进入平台期,与2020年发文数量均为7篇;2021—2022年达到近10年发文量的高峰,总发文量突破50篇,预计未来发文量会持续增加。

### 2.2 耦合网络分析

为了发掘内容高度一致的关键词关系,笔者利用耦合矩阵绘制混淆矩阵(Confusion Matrix),分析关键词与作者、国家、期刊之间的研究内容相似度和潜在合作网络,对关键词网络联系强度进行定量研究。检索作者标准为关键词在作者群体中出现的频次至少

为2,最终有9位作者被计入。其中,作者合作关系强度最高的是Liu Hailong(刘海龙)和Zhou Huaiyu(周怀宇)(9),其次是Barzallo Boris(巴尔扎洛·鲍里斯)、Huerta Monica(许尔塔·莫里卡)和Carrion Gabriela(卡里翁·加布里埃拉)(7)。检索国家标准为关键词在国家中出现的频次至少为2,最终有10个国家/地区被计入。其中,关联性最强的是中国和美国(12),其次是葡萄牙和西班牙与中国和马来西亚(6)。中国与英格兰、澳大利亚和意大利的关系分别为4、3和2。检索期刊标准为关键词在期刊中出现的频次至少为2,所计入的6份期刊中相互之间联系强度最大的期刊是Complexity(复杂性)和Computational Intelligence and Neuroscience(计算智能和神经科学)(5)。可以得出,以中国学者赵敬珠、刘海龙等为学术团队负责人的团队内部合作较密切,但两者团队间合作较少。另外,期刊类别以环境科学类为主,其次为生态类、计算机类和工程类等核心期

刊。总体来看,利用物联网和智能技术对海量的感知信息进行计算和处理,为物联网技术应用于景观项目中的勘察测绘、规划设计、环境监测、信息管理提供了更为便捷、精确的技术手段(图1)。

### 2.3 关键词共现分析

高频关键词能直观地体现物联网在智慧景观中的研究热点。合并同义词后,得到221个关键词,出现频率前29位的关键词之间关系密切(图2),其中“智慧城市”“景观规划”为研究热点。总体来看,物联网技术在智慧景观中的研究突出了研究的目标(智慧城市、景观规划、智慧园林、智慧水管理、城市花园),强化了研究的手段(大数据、云计算、边缘计算、普适计算、机器学习、深度学习),深入了研究城市景观管理的问题(绩效评估、项目信息管理、在线监测、生态检测系统),是当今智慧景观中重要的研究课题。

### 2.4 突变检测分析

利用COOC13.4软件突变检测算法从文

文献的关键词中提取突变词 (burst terms), 检测关键词的趋势变化, 从而深入挖掘智慧景观的前沿动态和未来发展方向。关键词突变图中列出了智慧景观背景下物联网技术在智慧景观中的十大突变词 (图 3), 图中橘色色块表示该术语突现持续的时间段。由此可见, 2017 年以前的智慧景观研究没有突变词, 说明研究处于萌芽期, 学界的关注度低, 研究热点不明确; 2017—2022 年, 研究热点顺应景观“智慧化”趋势, 开始向智慧园林、监控系统、城市管理、智能灌溉等领域发展。因此, 利用物联网技术来实现景观智能化管理和指引景观规划设计, 将成为未来智慧景观研究前沿和热点之一。

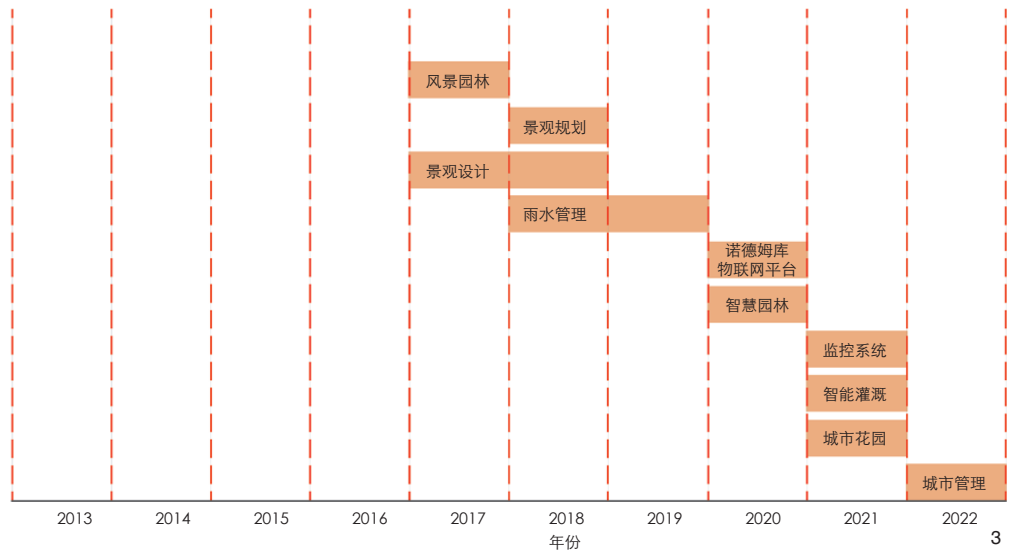
### 3 物联网技术在智慧景观研究中的应用

笔者通过梳理文献发现, 物联网技术在景观项目周期中的勘察与测绘、规划设计、环境监测与信息管理四大方面起到了关键作用 (图 4)。

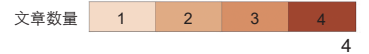
#### 3.1 勘察与测绘

物联网技术应用在勘察与测绘阶段的主要任务是通过各类传感器技术测量各类自然要素、人文现象和人工设施的分布、距离与角度并进行可视化表达<sup>[9]</sup>, 如地形起伏度、植物生长状况和道路交通情况等, 为规划和设计提供精准的数据支持。相比传统的勘察与测绘方法, 物联网技术在智能化勘察与测绘<sup>[9]</sup>应用中所获数据更具及时性<sup>[10]</sup>、准确性、全面性<sup>[9]</sup>。已有研究主要通过搭载多种类型的传感器, 构建无线智能传感网络, 协作感知、采集场地网络覆盖区域中的相关测绘信息。如 LiDAR 点云技术和计算机视觉技术已较为成熟且便于操作, 在景观与空间信息采集和记录研究中应用最为广泛<sup>[11]</sup>。

目前, LiDAR 点云技术主要用于收集景观对象的数据、模拟景观中的物体 (如建筑<sup>[12]</sup>、道路<sup>[13]</sup>、植物<sup>[14]</sup>和汽车<sup>[15]</sup>等), 对景观的空间范围、组成要素等进行分类, 构建景观空间信息记录模型 (图 5)<sup>[16]</sup>, 并与计算机视觉技术、虚拟现实技术等结合, 增强对现实场景的沉浸式体验<sup>[17]</sup>。例如, Li 等<sup>[18]</sup>研究了物联网背景下基于三维点云技术的乡村景观空间



四大研究领域	研究对象	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
勘察与测绘	景观空间信息									4	1
	城市空间信息								1	1	1
规划设计	景观设计					1		1		4	4
	园林规划设计									1	1
	旅游景区规划									1	1
	城市设计						2		1	1	1
环境监测	景观信息监测								1	2	
	城市信息监测	1						1	1	1	
	滑坡监测					2					
	水质监测	1									1
信息管理	城市管理	1				1			4	1	1
	智慧水管理	1					1				1
	花园管理	1								1	
	智慧园林信息管理									2	1
	景观项目信息管理									4	



3 关键词突变图  
Keywords mutation map

4 物联网技术在景观领域研究热点分布图  
Distribution of IoT research hotspots in the landscape field

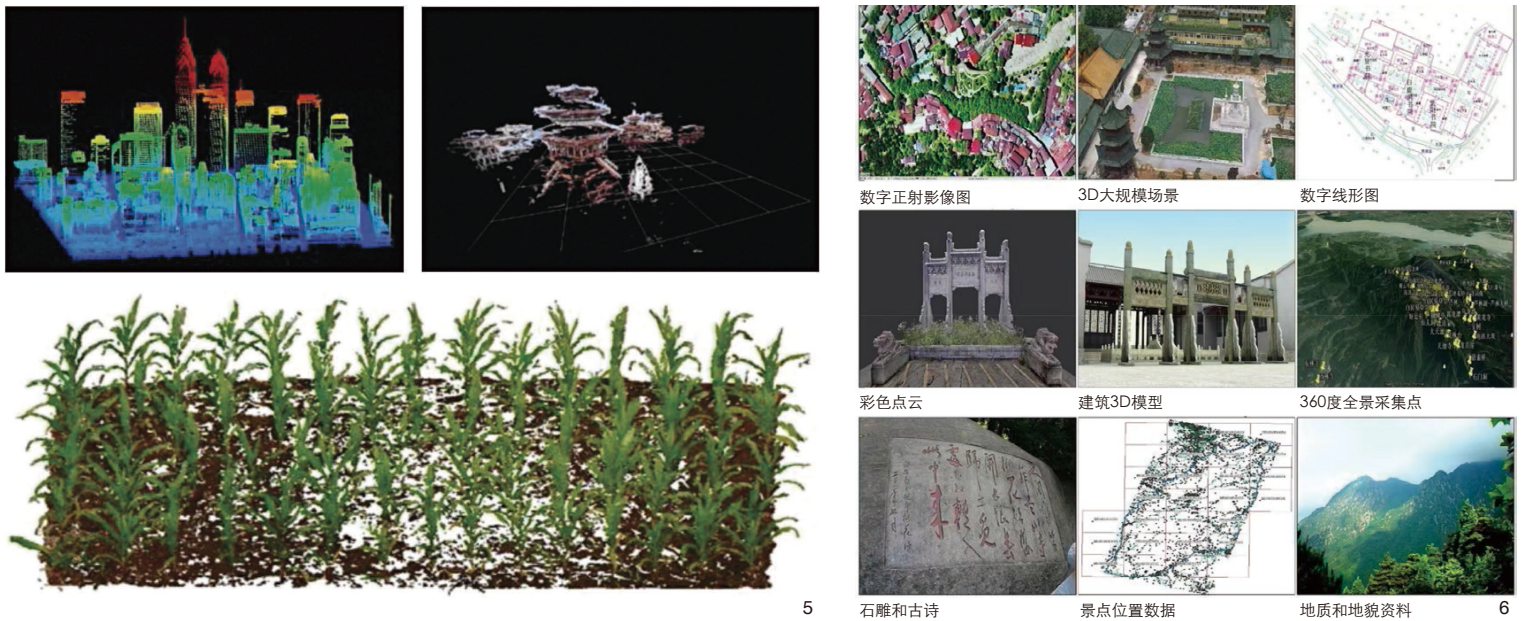
信息记录与保护, 通过构建三维点云空间信息记录模型, 实现对乡村景观空间信息的记录。Cai 等<sup>[18]</sup>运用倾斜航空摄影、三维激光扫描技术, 在三维全景技术的帮助下, 实现了庐山文化景观遗产地的数字化 (图 6)。此外, 计算机视觉技术可以捕获物体表面的信号, 向研究人员提供标准直观的图像结果<sup>[19]</sup>。例如, Liu<sup>[20]</sup>通过视觉传感器扫描组织收集现场照片, 结合红外分割和融合技术, 对三维图像进行分析, 建立公共空间景观模型。Kan 等<sup>[19]</sup>指出双目立体视觉传感器可以实时监控景观建设的全过程, 提出可将传感器与社交网络、移动终端、生理监测设备相结合, 应用于景

观偏好的研究中。

#### 3.2 规划设计

在规划设计阶段, 可以根据调研数据和人群需求, 应用智能算法制定相应的景观方案, 并利用物联网技术采集的实时数据进行建模和仿真, 预测方案效果, 对方案进行优化, 提升方案的实用性和效果。基于物联网技术的智慧景观规划设计, 能够明确规划范围及目标, 对不合理的景观格局进行结构调整。例如, An<sup>[21]</sup>基于物联网边缘计算运用资源分配算法, 对 A 市 2017—2019 年的生态景观结构数据进行分析 and 处理, 提出了城市生态景观结构主体化方案, 使 A 市的生物多样性



5 LiDAR 点云技术提取的空间特征和模型<sup>[16]</sup>

Spatial features and models extracted by LiDAR point cloud technology<sup>[16]</sup>

6 庐山选定景点的数字化结果<sup>[18]</sup>

Digitization results of selected attractions in Mount Lu<sup>[18]</sup>

性指数从 2019 年的 2.2 增加到 2021 年的 3.4, 为物联网边缘计算技术在生态景观空间结构优化中的应用提供支持。然而, 当前城镇生态景观规划治理模式的研究存在主观因素占比大、智能化程度低的问题。例如, Ying 等<sup>[21]</sup>提出了基于模糊优化算法的小城镇生态景观评价模型, 协调栖息地质量和稀有度 (habitat quality and rarity, HQR) 三维规划模型相关的特征参数, 通过对物联网传感器采集的景观二维图像的过零率、信号波形转换、滤波激励信号矢量计算 3 个方面的处理, 明确了整个城镇生态景观仿真设计系统的层次框架和层次从属关系, 形成了该镇生态景观初步治理方案; 然后对三维景观规划治理的仿真结果进行误差分析, 分析不同类型物联网技术的应用效果, 从而实现对城镇整体生态景观规划和治理质量的闭环评价。

而另一些研究则发现物联网技术可以为智能优化算法提供数据支持, 帮助其优化, 使景观规划设计更加科学合理。Qin<sup>[23]</sup>从智能化技术入手, 采用粒子群优化算法, 对传统的农村景观设计模型进行改进, 在现代乡村景观规划设计中增加智能照明与灌溉系统, 结合传感器设备智能调节照明区域和强度以

及灌溉喷洒的面积和范围, 实现智能照明交互和灵活灌溉。结果表明, 物联网技术结合粒子群优化算法的景观空间规划模型能够达到数据的动态划分, 自动生成景观建设格局, 实现数量与空间的有机结合, 为景观规划设计提供更加全面和精准的支持。

总体而言, 将物联网技术与景观相关理论和方法结合, 提升了智慧景观规划设计的整体水平<sup>[24]</sup>。因此, 在当前智慧景观的背景下, 可利用智能化手段进行精准化规划<sup>[25]</sup>, 借助物联网、大数据、人工智能等技术, 为景观规划设计定量研究与科学评估提供理论基础和实践指导。

### 3.3 环境监测

景观项目往往涉及复杂的自然环境与人文社会背景, 对其进行监测和保护可以减少项目建成后对立地环境的影响, 防止景观水平指数的下降。相较于勘察与测绘阶段, 环境监测更强调动态变化, 也更需要结合物联网进行智能处理与反馈。物联网技术深度覆盖、海量连接的特点和实时处理、智能计算的能力为景观建设的环境监测提供了可行的途径<sup>[26-28]</sup>。因此, 如何实时监测场地中的自然生态学条件及其要素 (如气候、地形地貌、

水体、植被等), 对景观建设具有重要影响<sup>[29]</sup>。

基于物联网技术的环境监测通常以监测区域内具有特殊意义的动态变化为检测对象。已有研究多聚焦于特定区域中的森林、河道、山坡等场地, 并结合物联网技术进行处理和分析, 提取出环境中的有效数据。例如, Vidal-Espitia 等<sup>[30]</sup>基于云计算提出景观图像分割框架, 专注于生物与非生物成分的分类, 为监测和分析红树林地区的生态应用开发做出贡献。Wang 等<sup>[31]</sup>在城市河道景观中放置多参数水质分析仪, 收集相关水质数据, 构建了水质在线监测系统。Xu 等<sup>[32]</sup>在黑河流域建立多个观测站, 通过物联网技术结合卫星-机载-地面观测, 分析了河流蒸散量的时空变化。Delmonaco 等<sup>[33]</sup>提出了预防“Siq”峡谷滑坡风险的方法, 通过安装无线监测系统, 利用传感器技术实时登记和传输数据, 为确定和实施岩石失稳措施提供基础。除了探讨场地中的自然生态学条件及其要素对特定区域的动态变化影响之外, 还有学者更进一步借助物联网技术探究小尺度的生态环境质量监测指标, 包括气象<sup>[34-36]</sup>、土壤<sup>[28, 35-36]</sup>、水文<sup>[37]</sup>、植物<sup>[38]</sup>、动物<sup>[25]</sup>等; 并结合机器学习等智能算法, 优化了农业及园艺领域的灌溉系统。例如,

Goap 等<sup>[35]</sup> 基于物联网的智能灌溉管理系统对农业景观中的气温、紫外线辐射、土壤湿度、土壤温度和环境条件等地面参数进行监测, 从而实时预测灌溉需求, 实现水资源的最佳利用。Ali 等<sup>[36]</sup> 使用传感器对庭院环境中的温度、湿度、照度和降雨等进行监测, 并通过 WiFi 芯片无线传输数据, 采用模糊算法自动控制洒水、风扇等装置, 使家庭园艺智能化。也有学者探讨了古树名木的管理, 通过传感器获取的树木状态数据, 可以快速地掌握树木的实时状态信息。如 Yang 等<sup>[38]</sup> 关注在风荷载作用下树木摇摆、树木倾斜和板根运动的测量技术, 利用智能传感技术监测和可视化分析树木位移的程度, 可为城市地区潜在的树木危害提供预警。

在人群的监测方面, 已有研究主要通过物联网的传感器技术来感知周围人群的行为和动作特征。例如, Cai 等<sup>[19]</sup> 基于物联网技术探究了游客流动及其对文化遗产地环境的影响, 结合视频监控共同监测出行游客的流量, 为后续的游客管理提供数据。Kan 等<sup>[19]</sup> 在一定的通信范围内, 通过组合 GPS 技术、传感器技术、红外技术远程监控景观周边环境, 感知周围人群的行为和动作特征, 并将信息通过物联网传输、判断与处理, 防止景观被故意破坏。Gaddam 等<sup>[39]</sup> 提出了基于智能物联网的老年人户外健康监测系统, 在长凳、路径等服务设施中嵌入传感器, 用以收集和传输健康数据, 以期建立一个公共的户外康复空间。

### 3.4 信息管理

近年来景观项目明显呈现数字化趋势, 而服务于生态环保、节能减排、互动游憩等多重目标的智慧信息平台亦逐步涌现。物联网作为新兴的数字化平台, 拥有对景观建成项目运行进行信息化管理的巨大潜力<sup>[25, 40]</sup>, 其连接“人与物”和“物与物”的能力, 将项目管理过程中的公众现实诉求与决策人员的管理实践相联系。

在生态环保方面, 通过物联网技术收集、分析及管理环境信息, 建成城市生态风险管理平台, 对于生态环境管理以及生态风险预测做出了重要贡献。目前研究的讨论焦点为

基于物联网技术开发的城市生态风险管理平台, 以及集成在城市生态风险管理平台中的城市生态风险评估方法。Hua 等<sup>[41]</sup> 通过总结城市智能时代的进展, 提出了面向未来智能时代的识别、分析、表征、建模、预测、预警和管理城市生态风险的框架; 并分析了 6 种与城市环境影响评估相关的方法, 如证据权重、生态风险分级评估程序、相对风险模型等。部分学者认为城市生态系统服务是指维持城市生态系统提供物质或物质服务的能力, Tang 等<sup>[42]</sup> 构建了基于景观生态学和物联网技术的城市生态风险管理平台, 并采用生态系统服务的物理或物质评估作为城市生态风险评估的核心方法。在此基础上, 有学者关注基于物联网技术建立城市景观河的生态环境管理系统。如 Wang 等<sup>[31]</sup> 基于物联网技术建立了在线水质监测—数字数据传输—数据处理的在线水质管理系统, 对厦门杏林湾城市景观河进行管理, 并证明了该系统在保持景观河水水质稳定方面的有效性。

在节能减排方面, 由于一个项目从设计到建设需要多方协调, 为避免误解及低效运行, 物联网的数据库将发挥重要作用, 具体体现在以下三方面: 1) 材料数据和工程量等可以根据物联网模型自动生成<sup>[43]</sup>; 2) 给定工程量列表, 可以估计整个项目预算, 并用于模拟施工并最大限度地减少图纸错误<sup>[44]</sup>; 3) 优化生产方法, 提高设计效率(速度和精度), 减少施工过程中经常出现的返工等现象, 从而降低成本, 缩短施工周期, 实现节能减排。

在游憩与互动(既指游客与周边要素, 又指游客与管理者)方面, 物联网技术可辅助信息管理, 实现各类资源、环保信息系统的集成并提供信息咨询服务, 从而提升游憩体验并辅助景区管理者综合决策, 从而促进景区可持续发展。Cai 等<sup>[18]</sup> 通过集成物联网技术和分析模型, 构建了旅游流量子系统和环境子系统: 旅游流量子系统可以帮助管理者根据游客承载力阈值对旅游流量进行调节; 环境子系统提供的“压力-状态-响应”模型可以帮助管理者评估和管理环境健康; 管理者还能基于该系统概念开发为游客和管理人员服务的可视化综合平台。

也有学者针对集成和处理信息的物联网园林景观平台的技术方法进行了相关研究。Jia<sup>[24]</sup> 在理论分析的基础上结合实地调研与工程实践, 梳理了物联网园林景观平台接入和调用地理基础数据的流程。有学者关注物联网景观平台上不同数据传输协议的分析、存储和重新格式化问题。Chen<sup>[45]</sup> 基于高密度三维物联网景观感知层混合逻辑动态(mixed logic dynamic, MLD)模型与自动机调度模型的转换分析, 实现了高密度三维物联网景观的整个景观感知层 MLD 模型与自动机调度模型的转换; 基于分层自动机高密度三维物联网景观, 研究了任务中的全局任务调度、控制自动机模型和局部调度自动机模型, 以及独立调度策略的景观感知层快速调度机制, 可用于不同级别的系统, 以确保感知层系统有序、可靠、快速运转。物联网园林景观平台是构建智慧城市中的重要一环。Huang 等<sup>[46]</sup> 将能够客观地分析和评价城市绿地系统规划、选址和布局绿化建设项目的智慧园林管理系统融入智慧城市框架, 在其中根据地图或指定区域计算出范围内的绿化面积、绿地率、绿化覆盖率等绿化指标以及古树名木等相关信息。

## 4 结论与展望

笔者系统梳理了物联网技术在景观领域研究中的应用, 与景观项目周期中的四大方面结合, 分析了物联网技术具体的应用场景, 并提出了未来的研究趋势。综合来看, 物联网技术在景观领域的应用已经初具规模, 在景观项目周期中的各个环节整合不同技术, 并构建万物互联的网络, 使景观项目信息流高效传输, 具有广阔的发展前景, 可以为智慧景观的发展带来有力支撑, 物联网技术在智慧景观中的应用主要包括以下 3 个方面。

### 4.1 空间信息化

在智慧景观的背景下, 物联网技术需要进一步结合空间信息分析技术、计算机视觉技术等, 提升数据处理和分析的能力, 促进空间信息化。空间信息技术包括卫星定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)与遥感技术(RS), 可以对空间中进行探测、识别和数据采集, 从而利用空间环境数据对地区的



自然灾害和生态环境进行分析,提出科学可靠的优化策略<sup>[47]</sup>。计算机视觉技术涉及图像特征提取、图像分类、目标检测、语义分割、目标追踪、行为识别、图像生成等多个方面;通常需要借助图像处理、模式识别、机器学习、深度学习等相关技术,以及多种传感器(图像、LiDAR、红外线等)进行数据采集和处理,从而实现准确、有效的景观视觉感知与理解。近年来,双目立体视觉传感器可用于分析和评估人的景观偏好,以及感知和识别人的行为、群体的交互特征,为人群行为研究提供了工具。但是在实际数据收集过程中,景观视觉要素信息存在难以全面描述不同时空环境特征的缺陷,因此可利用物联网构建信息管理平台,解决当前景观数据实时性的关键问题。

#### 4.2 规划智能化

物联网技术在智能优化算法的协作下,将景观领域中复杂的定性描述数据进行高效、准确地计算,转化为可定量分析数据,推演出规划设计的初步方案,为规划决策提供指导。当前智能物联网在景观规划设计领域还需要强化人工智能算法在调查分析、预测和评估等方面的应用<sup>[48]</sup>,进行有效性及应用广度、深度的提升,并需要借助跨学科的专业知识筛选出影响规划设计方案的主要因素,为方案分析与生成匹配合适的算法,以此完善理想的智能物联景观模型。这将会是未来景观规划领域智能化发展的方向。

#### 4.3 治理智慧化

物联网技术的应用有利于景观治理的创新与变革<sup>[49]</sup>。基于物联网技术建立的信息管理平台能够确保客体信息广泛而精准地被主体感知,有助于增强公众对政府的信任,促进公众参与政府决策,提高决策质量;有助于提高公众的风险意识,通过风险预测减少损失。这是一种新的治理范式,与当前的社会需求相协调<sup>[50]</sup>。这种水平管理结构将基于“数据流”分析,确保各个服务/应用程序的互操作性、协调和优化<sup>[51]</sup>。从“人与物”的角度来看,将人的体征和轨迹、物体状态和位置、网络文本和影像等作为传感器采集的数据进行分析<sup>[52]</sup>,实时感知城市景观的运作机制、洞

悉城市的发展规律、修补城市的存在问题、识别公众的真实需求。从“人与人”的角度来看,可以降低景观治理成本,完善社会协同机制,实现公共资源配置,对于及早发现潜在的社会矛盾意义重大,也可充分激发空间与人在共同体关系上产生良性的互动。

#### 参考文献 (References):

- [1] 王保云. 物联网技术研究综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (12): 1-7.
- [2] 孙其博, 刘杰, 黎彝, 等. 物联网: 概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33 (3): 1-9.
- [3] Gartner. 2013年十大科技趋势[EB/OL]. (2012-10-28) [2023-04-29]. <https://www.ctocio.com/trend/9239.html>.
- [4] 刘佳琪, 郭斌, 任磊等. 群智融合的制造业智慧空间建模方法[J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28 (7): 2064-2074.
- [5] 郭斌, 刘思聪, 刘琰等. 智能物联网: 概念、体系架构与关键技术[J/OL]. 计算机学报: 1-20[2023-04-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1826.tp.20230413.1650.016.html>.
- [6] 成实, 张潇涵, 成玉宁. 数字景观技术在中国风景园林领域的运用前瞻[J]. 风景园林, 2021, 28 (1): 46-52.
- [7] 中国风景园林网. 智慧景观, 设计开启景观新体验[EB/OL]. (2019-06-17)[2023-04-29]. <http://chla.com.cn/html/2019/0617/272275.html>.
- [8] 刘颂, 章舒雯. 数字景观教育及数字景观未来发展: 国际数字景观大会的启示[J]. 中国园林, 2015, 31 (4): 71-73.
- [9] 陈军, 刘万增, 武昊, 等. 智能化测绘的基本问题与发

展方向[J]. 测绘学报, 2021, 50 (8): 995-1005.

CHEN J, LIU W Z, WU H, et al. Smart Surveying and Mapping: Fundamental Issues and Research Agenda[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2021, 50 (8): 995-1005.

[10] WU H Q, YAN J. The Mechanism of Digitized Landscape Architecture Design Under Edge Computing[J]. PloS One, 2021, 16 (9): e0252087.

[11] 邓先睿. 测绘新技术及设备在工程测绘中的应用[J]. 中国设备工程, 2023 (5): 228-230.

DENG X R. Application of New Surveying and Mapping Technology and Equipment in Engineering Surveying and Mapping[J]. China Plant Engineering, 2023 (5): 228-230.

[12] 肖勇, 王成, 刁晓环, 等. 机载激光雷达数据的建筑物三维模型重建[J]. 测绘科学, 2014, 39 (11): 27-41.

XIAO Y, WANG C, XI X H, et al. 3D Building Model Reconstruction from Airborne LiDAR Data[J]. Science of Surveying and Mapping, 2014, 39 (11): 27-41.

[13] 孙心雨, 田佳榕, 徐雁南, 等. 基于地基激光雷达的道路生态景观评价: 以黄海海滨国家森林公园为例[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36 (11): 1477-1484.

SUN X Y, TIAN J R, XU Y N, et al. Evaluation of Ecological Landscape of Road Based on Terrestrial Laser Scanning: A Case Study of Huanghai National Forest Park[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2020, 36 (11): 1477-1484.

[14] SEIFERLING I, NAIK N, RATTI C, et al. Green Streets Quantifying and Mapping Urban Trees With Street-Level Imagery and Computer Vision[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 165: 93-101.

[15] XUE F, LU W S, CHEN Z, et al. From LiDAR Point Cloud Towards Digital Twin City: Clustering City Objects Based on Gestalt Principles[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2020, 167: 418-431.

[16] LI Y, ZHANG Y D, CHEN J J. Research on Rural Landscape Spatial Information Recording and Protection Based on 3D Point Cloud Technology Under the Background of Internet of Things[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, 2022: 3772108.

[17] ZHANG X F, YAN S Q. Virtual Reality Design and Realization of Interactive Garden Landscape[J]. Complexity, 2021, 2021: 6083655.

[18] CAI Z R, FANG C Y, ZHANG Q, et al. Joint Development of Cultural Heritage Protection and Tourism: The Case of Mount Lushan Cultural Landscape Heritage Site[J]. Heritage Science, 2021, 9 (1): 1-16.

[19] KAN X, CAO D L. The Application of Visual Sensors in the Artistic Design of College Campus Landscape[J]. Journal of Sensors, 2021, 2021: 3803089.

[20] LIU T J. 3D Image Based on Visual Sensor in Public Space Landscape Model[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2022, 2022: 9928041.

[21] AN R. Optimal Design of Ecological Landscape Spatial Structure Based on Edge Computing of Internet of Things[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2022, 2022: 9303327.

[22] YING Y, JIANG K R, REN M Q. Research on Town Ecological Landscape Planning and Governance Based on Fuzzy Optimization Method of Internet of Things Technology[J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, 2022: 5159448.

[23] QIN F. Modern Intelligent Rural Landscape Design Based on Particle Swarm Optimization[J]. Wireless

- Communications and Mobile Computing, 2022, 2022: 8246368.
- [24] JIA A J. Intelligent Garden Planning and Design Based on Agricultural Internet of Things[J]. Complexity, 2021, 2021: 9970160.
- [25] 王伟杰.智慧康养旅游产业高质量发展的理论逻辑与实践探索:以贵州智慧康养旅游产业发展为例[J].理论月刊, 2022, 492 (12): 83-89.
- WANG W J. Theoretical Logic and Practical Exploration of High-Quality Development of Intelligent Health Care Tourism Industry: Take the Development of Intelligent Health Care Tourism Industry in Guizhou as an Example[J]. Theory Monthly, 2022, 492 (12): 83-89.
- [26] 郑渊茂, 王业宁, 周强, 等.基于景感生态学的生态环境物联网框架构建[J].生态学报, 2020, 40 (22): 8093-8102.
- ZHENG Y M, WANG Y N, ZHOU Q, et al. Construction on the Framework of Ecological Environment Internet of Things Based on Landsenses Ecology[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40 (22): 8093-8102.
- [27] 刘强, 崔莉, 陈海明.物联网关键技术与应用[J].计算机科学, 2010, 379 (6): 1-4.
- LIU Q, CUI L, CHEN H M. Key Technologies and Applications of Internet of Things[J]. Computer Science, 2010, 379 (6): 1-4.
- [28] ZHOU H Y, LIU H L. IoT-Based Operational Information Management for Built Landscape Projects: From Vacancy to Approaches[J]. Landscape Architecture Frontiers, 2021, 9 (2): 83-95.
- [29] 王建国.生态要素与城市整体空间特色的形成和塑造[J].建筑学报, 1999 (9): 20-23.
- WANG J G. Formation and Shaping of Ecological Elements and Urban Overall Spatial Characteristics[J]. Architectural Journal, 1999 (9): 20-23.
- [30] VIDAL-ESPITIA U, SERRANO-RUBIO J P, RUIZ M D M, et al. Cloud Landscape Images Segmentation Using Artificial Neural Networks and Amazon Web Services for Ecological Applications[C]//IEEE. 2021 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC). New York: Association for Computing Machinery, 2021: 2063-2068.
- [31] WANG S M, ZHANG Z J, YE Z L, et al. Application of Environmental Internet of Things on Water Quality Management of Urban Scenic River[J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2013, 20 (3): 216-222.
- [32] XU Z W, LIU S M, ZHU Z L, et al. Exploring Evapotranspiration Changes in a Typical Endorheic Basin Through the Integrated Observatory Network[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2020, 290 (1): 108010.
- [33] DELMONACO G, BRINI M, CESARO G. Advanced Monitoring Systems for Landslide Risk Reduction in the 'Siq' of PETRA (Jordan)[J]. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2017, 42: 163-169.
- [34] BOOBALAN J, JACINTHA V, NAGARAJAN J, et al. An IoT Based Agriculture Monitoring System[C]//IEEE. 2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCCSP). Chennai: IEEE, 2018: 0594-0598.
- [35] GOAP A, SHARMA D, SHUKLA A K, et al. An IoT Based Smart Irrigation Management System Using Machine Learning and Open Source Technologies[J]. Computers and electronics in agriculture, 2018, 155: 41-49.
- [36] ALI M, KANWAL N, HUSSAIN A, et al. IoT Based Smart Garden Monitoring System Using Nodemcu Microcontroller[J]. International Journal of Advances in Applied Sciences, 2020, 7 (8): 117-124.
- [37] 周怀宇, 刘海龙.绿色雨水设施的在线监测系统设计[J].风景园林, 2020, 27 (5): 88-97.
- ZHOU H Y, LIU H L. Designing Online Monitoring Systems for Green Stormwater Infrastructure[J]. Landscape Architecture, 2020, 27 (5): 88-97.
- [38] YANG Z, HUI K W, ABBAS S, et al. A Review of Dynamic Tree Behaviors: Measurement Methods on Tree Sway, Tree Tilt, and Root-Plate Movement[J]. Forests, 2021, 12 (3): 379.
- [39] GADDAM A, WILKIN T, ANGELOVA M, et al. Design and Development of IoT Based Rehabilitation Outdoor Landscape for Gait Phase Recognition[C]//IEEE. 2019 13th International Conference on Sensing Technology (ICST). Sydney: IEEE, 2019: 1-7.
- [40] 王金益, 郭湧, 李长霖, 等.公园无人化管理与智慧化运营实践: 龙湖 G-PARK 能量公园[J].风景园林, 2021, 28 (1): 71-75.
- WANG J Y, GUO Y, LI C L, et al. Practice of Park's Unmanned Management and Smart Operation: Lonfor G-PARK[J]. Landscape Architecture, 2021, 28 (1): 71-75.
- [41] HUA L Z, SHAO G F, ZHAO J Z. A Concise Review of Ecological Risk Assessment for Urban Ecosystem Application Associated with Rapid Urbanization Processes[J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2016, 24 (3): 248-261.
- [42] TANG L N, WANG L, LI Q Y, et al. A Framework Designation for the Assessment of Urban Ecological Risks[J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2018, 25 (5): 387-395.
- [43] SEHGAL A, PERELMAN V, KURYLA S, et al. Management of Resource Constrained Devices in the Internet of Things[J]. IEEE Communications Magazine, 2012, 50 (12): 144-149.
- [44] GATTIKER A, GEBARA F H, HOFSTEE H P, et al. Big Data Text-Oriented Benchmark Creation for Hadoop[J]. IBM Journal of Research and Development, 2013, 57 (3-4): 1-10.
- [45] CHEN J. Visual Design of Landscape Architecture Based on High-Density Three-Dimensional Internet of Things[J]. Complexity, 2021, 2021: 5534338.
- [46] HUANG Y F, PENG H T, SOFI M, et al. The City Management Based on Smart Information System Using Digital Technologies in China[J]. IET Smart Cities, 2022, 4 (3): 160-174.
- [47] 王艳霞, 王海燕.空间信息技术在中国乡村建筑规划中的应用[J].建筑结构, 2023, 53 (7): 152-153.
- WANG Y X, WANG H Y. Application of Spatial Information Technology in Rural Architectural Planning in China[J]. Building Structure, 2023, 53 (7): 152-153.
- [48] 汪晓菲.人工智能方法在风景园林中的运用进展[J].中国农学通报, 2021, 37 (32): 83-88.
- WANG X F. The Application of Artificial Intelligence in Landscape Architecture[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37 (32): 83-88.
- [49] XU Z G. Social Governance Structure Construction and Resource Allocation Methods Under the Management Mode of the Internet of Things[J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2021, 2021: 7963311.
- [50] BITTENCOURT L, IMMICH R, SAKELLARIOU R, et al. The Internet of Things, Fog and Cloud Continuum: Integration and Challenges[J]. Internet of Things, 2018, 3: 134-155.
- [51] BORGIA E. The Internet of Things Vision: Key Features, Applications and Open Issues[J]. Computer Communications, 2014, 54: 1-31.
- [52] 张成岗, 孙海琳.智能物联网与社会治理将走向全面深度融合[J].国家治理, 2020 (28): 3-6.
- ZHANG C G, SUN H L. Intelligent Internet of Things and Social Governance will Move Towards Comprehensive and Deep Integration[J]. Governance, 2020 (28): 3-6.

#### 图片来源(Sources of Figures):

图 5~6 分别引自参考文献 [17][19]; 其余图片均由作者绘制。

(编辑 / 李清清)

#### 作者简介:

邹尚恩 / 男 / 天津大学建筑学院在读博士研究生 / 研究方向为风景园林规划设计、城乡公共空间与人群行为

刘开鑫 / 女 / 天津大学建筑学院在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划设计、城乡公共空间与人群行为

孙晓辰 / 女 / 天津大学建筑学院在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划设计、城乡公共空间与人群行为

胡一可 / 男 / 博士 / 天津大学建筑学院教授、博士生导师 / 本刊特约编辑 / 研究方向为风景园林规划与设计、城乡公共空间与人群行为、风景旅游区规划设计  
通信作者邮箱: huyike11@tju.edu.cn

TSOU S, LIU K X, SUN X C, HU Y K. Research Progress and Prospect of Internet of Things Technology in the Context of Smart Landscape[J]. Landscape Architecture, 2023, 30(8): 64-71. DOI: 10.12409/j.fjyl.202301020002.

## Research Progress and Prospect of Internet of Things Technology in the Context of Smart Landscape

TSOU Shangen, LIU Kaixin, SUN Xiaochen, HU Yike\*

### Abstract:

**[Objective]** In recent years, the Internet of Things (IoT) has advanced greatly in such aspects as deep coverage, massive connectivity, real-time processing and intelligent computing, which can gather multiple data points, quickly perform intelligent analysis and feedback, and connect physical and virtual spaces, thus providing an effective implementation path for smart landscape. At present, the use of IoT technology mainly focuses on infrastructure, such as cities, buildings and transportation facilities; however, few studies have been conducted in the context of smart landscape to completely define and generalize the value of IoT technology in landscape engineering. This research investigates relevant frontier English literature on the issue of IoT technology published during the period from 2013 to 2022 to grasp the development state, research hotspots and future trends of IoT technology in the context of the smart landscape. This research may serve as a starting point for domestic researches in relevant fields.

**[Methods]** In the theme of "landscape" and "Internet of Things", this research searches the Web of Science (WoS) database for English literature published during the period from 2013 to 2022, and conducts visual knowledge graph analysis of the number of literature, authors, countries, journals and keywords by scientometrics method using COOC13.4 and VOSviewer1.6.13 metrics software. First, relevant researches of the aforesaid literature in the past 10 years are visualized and analyzed to clarify their research status; second, the authors, journals, countries and keywords of the literature are analyzed by coupling network analysis, co-occurrence analysis and cluster analysis to uncover their research hotspots; finally, the mutation detection algorithm is used to predict their development trends. The literature on cutting-edge research hotspots in the past 10 years is extracted, and the application of IoT technology in smart scenic areas is summarized using content analysis.

**[Results]** The analysis of the research results reveals that IoT technology plays a key role in the four major aspects of landscape project cycle: survey and mapping, planning and design, environmental monitoring, and information management. In the survey and mapping phase, the main task is to measure and visualize the distribution, distance and angle of various natural elements, human phenomena and artificial facilities, such as topography, plant growth and road traffic, and provide accurate data support for planning and design through various sensor technologies. Compared with traditional survey and mapping methods, intelligent survey and mapping by IoT technology can ensure the timeliness, accuracy and comprehensiveness of data obtained. In the planning and design stage, according to research data and crowd demand, intelligent algorithms can be applied to develop corresponding landscape plans, and real-

time data collected by IoT can be used for modeling and simulation to predict the effect and improve the practicality of such plans for further optimization. In the environmental monitoring stage, landscape projects often involve complex natural environment and human and social backgrounds, which can be monitored and protected to reduce the impact on the environment and prevent the decline of landscape level. Compared with the survey and mapping stage, environmental monitoring emphasizes more on dynamic changes and needs to be combined with IoT for intelligent processing and feedback. The deep coverage, massive connection, real-time processing, and intelligent computing capability of IoT technology can provide a feasible way for environmental monitoring of landscape construction. In the information management stage, IoT, as an emerging digital platform, has a huge potential for information management of landscape construction project operation, and its ability to connect "people and things" and "things and things" can connect the real demands of the public and the management practice of decision makers in project management.

**[Conclusion]** The analysis concludes that the specific application of IoT technology can effectively promote the three major aspects of spatial informatization, planning intelligence and governance wisdom, and thus provide a reference for the development of IoT applications in future landscape project cycles. In terms of spatial informatization, IoT technology needs to be combined with spatial information analysis technology, computer vision technology and other information technologies to enhance data processing and analysis capabilities and promote information intelligence. In terms of planning intelligence, IoT technology can cooperate with intelligent optimization algorithms to efficiently and accurately calculate complex qualitative description data in the landscape field, transform such data into quantitative analysis, and derive planning design. In terms of governance intelligence, the information management platform established based on IoT technology can ensure that the object information can be widely and accurately perceived by the subject, which can help enhance public trust in the government, promote public participation in government decision-making and improve the quality of decision-making, while improving the public's risk awareness and reducing losses through risk prediction, thus constituting a new governance model in harmony with the current needs of society.

**Keywords:** landscape architecture; smart landscape; Internet of Things (IoT); bibliometrics; visual analysis

### Authors:

TSOU Shang'en is a Ph.D. candidate in the School of Architecture, Tianjin University. His research focuses on landscape planning and design, and urban and rural public space and crowd behavior.

LIU Kaixin is a master student in the School of Architecture, Tianjin University. Her research focuses on landscape planning and design, and urban and rural public space and crowd behavior.

SUN Xiaochen is a master student in the School of Architecture, Tianjin University. Her research focuses on landscape planning and design, and urban and rural public space and crowd behavior.

HU Yike, Ph.D., is a professor and doctoral supervisor in the School of Architecture, Tianjin University, and a contributing editor of this journal. His research focuses on landscape planning and design, urban and rural public space and crowd behavior, and scenic area planning and design.

Corresponding author Email: huyike11@tju.edu.cn