

智能场景：全球246项案例的概念探讨与城市规划实践

吴志强 何睿 陈泽胤 朱予沫 滕雨薇 杨鑫宇 江立敏

iSpace: Conceptual Exploration and Urban Planning Practices from 246 Global Cases

WU Zhiqiang, HE Rui, CHEN Zeyin, ZHU Yumo, TENG Yuwei, YANG Xinyu, JIANG Limin

Abstract: As smart city development enters the implementation phase, the intelligence of urban spaces is emerging as a critical strategy and a key leverage point for realizing smart city visions. This paper analyses the development of iSpace over the past decade, including 246 projects worldwide in the sample. By integrating theoretical research from the literature, the paper defines the concept of iSpace, highlighting its two primary characteristics: "technology empowerment" and "spatial carrier." Furthermore, it identifies four key elements of iSpace: "comprehensive perception, precise judgment, appropriate response, and self-optimization", and discusses operational pathways for the intelligent transformation of urban spaces. The study seeks to provide new theoretical insights and practical guidance for the comprehensive implementation of iSpace initiatives.

Keywords: iSpace; smart city; concept; IoT; AI

提 要 随着智慧城市建设加速落地实施，城市各类空间场景的智能化将成为城市真正落实智慧愿景的重要趋势和关键抓手。以全球近10年246项城市场景智能化项目为样本，全面剖析当前各国智能场景实践探索的发展现状。结合文献理论研究，提出城市智能场景的概念定义，总结智能场景具有“技术赋能”与“空间载体”两大特征。详细解读智能场景规划设计四大关键要素“全面感知、精准判断、恰当反应、学习优化”，探讨具有可操作性的城市空间场景智能化路径，以期为全面推动智能场景的实践落地提供全新的理论视角和实践路径支撑。

关键词 智能场景；智慧城市；概念；物联网；人工智能

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202405002
文章编号 1000-3363(2024)05-0012-06

作者简介

吴志强，中国工程院院士，同济大学建筑与城市规划学院教授，wus@tongji.edu.cn

何睿，同济大学建筑与城市规划学院博士生

陈泽胤，同济大学建筑与城市规划学院博士生

朱予沫，同济大学建筑与城市规划学院硕士生

滕雨薇，未来城市（上海）设计咨询有限公司规划师

杨鑫宇，未来城市（上海）设计咨询有限公司规划师

江立敏，同济大学建筑与城市规划学院博士生，同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司总建筑师

随着技术变革发展，城市的物理空间和数字空间叠加产生出全新的城市意象，人的交流交往方式和空间使用模式也相应发生变化。近年来，智慧城市的研究实践，大多关注于城市的战略理念设计和平台系统架构^[1-2]或者着眼于智慧交通、智慧物流、智慧管廊等基础设施智能提升^[3-5]。

城市街道、广场、住区等空间承载城市生活，才是市民直接接触智慧城市的服务落点。从顶层战略和底层基建向城市生活空间层面进行智能化探索，成为智慧城市未来高质量发展的重中之重。在加拿大Sidewalk Toronto、日本Woven City、沙特The Line等智慧城市项目中都可以看到大量智能化的城市生活场景意象图，虽仍停留在设计阶段，但已经为未来城市生活空间的智能化发展提供了重要的参考和启示。

1 智能场景实践现状

本文广泛搜集最近10年全球城市空间智能化建成或在建实践项目，检索“智能空间”“智能场所”“智能楼宇”“智能住区”等关键词，共整理246项在建或已建成项目，按照分析框架和总结案例库作为研究底板。

空间场景智能化的建成项目规模从数平方米至数十万平方米不等。业主方包括企业公司、事业单位、政府机构等，实施团队既有常规的建筑规划设计团队，也有智能科技团队和电气化设备公司。项目针对安全性、低能耗、舒适性等问题，使用碳纤维、生物传感等新材料，应用物联网、数字孪生等新技术，建造出具有更低碳的能源使用、更新颖的感官体验、更具个性反馈特征的城市空间。

案例项目涉及的空间类型丰富，居住、文化、教育科研、医疗卫生、商业商务、工业、物流仓储、道路交通、基础设施、绿地广场等各类城市空间均有探索（图1）。尤其

在居住空间涌现了大量全屋智能应用，通过家用声、光、电设备的联动，创造个性化更舒适的居住体验，解决居家养老、幼儿看护等痛点问题。在标准研究、产业政策、方案设计、商业模式等方面也都形成相对完善的产业链。

商业办公楼宇空间的智能化以降低能耗为首要目标，自动控制供暖、通风、空调、电梯等设备，集成式管理整栋楼宇的电气化系统。在近年来灵活办公热潮下，结合工位占用感知，办公空间的设计与使用也产生了全新模式。医疗卫生及教育文化空间大多是针对特定功能（如智慧手术室、智慧教室、多媒体展厅）进行智能化系统平台的搭建。

在城市绿地街道广场等公共空间中，在传统空间形态和活动内容设计的基础上，或使用具有智慧科技含量的街道家具（座椅、遮阳篷、站台等），或使用裸眼3D、全息投影、AR、VR等技术，丰富城市公共空间的活动体验感。

在这些项目案例中，数字化系统的搭建与物理空间的设计建造分属不同领域，存在较高的行业壁垒，导致两者集成度低、整体协同性不足，甚至实际使用中还会存在相互冲突的情况。此外，新技术和新材料的运用均处于初步探索阶段，研发和建造成本相对较高，使得一部分项目以实验探索和创新示范为主要目的，这种技术导向和展示导向的智能化与真正痛点导向的智能化还存在一定的差距^[6]。

2 概念与特征

当前关于空间场景智能化的研究成果，大多来自制冷暖通、计算机、自动化、物联网等学科专业^[7-8]，围绕能源消耗、设备自控、空间占用、虚拟现实等方向进行具体技术的突破或展开模拟性的实验^[9-12]。在建成环境学科中，近期也开始出现有关空间智能化的研究成果。例如探讨城市作为人一技术一空间的整合^[13]，提出建筑载体与环境智能相结合的建筑智能终端^[14]，概括微观尺度空间中产生的新社会活动时空活动模块^[15]，

但智慧城市前端愿景设计与后端技术产品对接尚不充分^[16]，尤其是智能场景在不同语境中存在不同的含义，尚无明确界定和系统化梳理。

2.1 智能场景概念定义

基于对全球智能化空间建造案例以及学界已有研究成果的分析，笔者认为城市各类空间在各项前沿技术赋能下，实现感知人的行为需求和空间环境状态，作出判断决策，通过改变环境状态以使空间更加安全、节能、舒适，并能够不断进行学习优化的城市场景即智能场景。



图1 典型项目案例

Fig.1 Typical projects

表1 智能场景技术列表

Tab.1 List of technologies for iSpace

技术维度	技术	应用对象	技术维度	技术	应用对象
智能感知技术	AI道路测量传感器	用户	数据分析与AI技术	数据分析平台	用户
	无人机智能感知	环境		深度学习算法	用户
	毫米波雷达	用户		联邦学习算法	用户
	热成像	环境		GPT技术	用户
	深度传感器	用户		AI数据分析	用户
物联网与通信技术	IoT传感器	环境	自动化控制技术	自动化控制系统	环境
	智能灯光控制	环境		智能监控平台	环境
	NB-IoT	环境		SLAM算法	环境
智能建筑与环境管理技术	智能种植系统	环境	虚拟与增强现实技术	AI控制算法	环境
	能源管理系统	环境		自适应结构技术	环境
	智能建筑管理系统	环境		AR、VR、MR技术	用户
	环境监测系统	环境		全息投影技术	用户

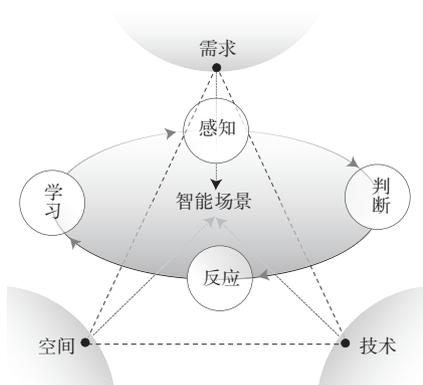


图2 智能场景结构图

Fig.2 iSpace structure diagram

见图3。

2.2 智能场景关键特征

智能场景 (iSpace) 即通过运用新兴技术 (i) 使城市空间 (space) 智能化, 是建筑、规划、景观等建成环境与前沿技术深度融合, 创造出的未来智慧城市的全新空间形态。智能技术与空间载体是智能场所的两大关键特征。

特征一: “i” 智能技术应用

当前智能场景的实现, 需要结合计算机、机械电子工程、心理学、人机工程等学科前沿, 通过智能感知、物联网与通信等六大类技术 (表1), 集成空间与设备、数据与网络, 形成物理空间与信息空间融合的万物互联。

特征二: “Space” 空间为载体

空间的本质是由面围合形成的体块系统, 城市空间场所承载各类活动的发生, 是智慧城市的服务落点, 是人民直接接触到的智慧化应用的触点, 直接决定城市居民的获得感、幸福感、安全感。

智能化所需要的传感、网络、算力等设备都需要空间作为载体进行落地部署。城市中的道路面^[17]、建筑立面^[18]以及

灯杆^[19]和垃圾桶^[20]等街道家具表面, 都可以作为空间载体。

基于案例底板总结, 将智能场景中各类空间载体, 按照其在空间系统中的作用, 总结归纳为两类五面 (表2)。两类即界定面和中间面, 五面即墙面、地面、顶面和家具面、管道面。见图4。

3 规划要素

智能城市通过“感知—判断—反应—学习”要素循环推动城市可持续智能化^[21], 城市空间场景的规划设计也同样通过这四大要素实现智能化 (图4)。基于全面感知建成环境中的六大类数据,

然后通过多种人工智能算法进行精准判断, 以交互或控制两类方式作出恰当反应, 并在规律学习中实现空间场景的自我优化。

3.1 全面感知

在智能场景的构建中, 全面感知是基础且关键的第一步。城市建成环境产生的数据类型多样^[22], 各类传感器和监控仪器被广泛应用于空间数据感知采集, 以实现对环境 and 人类活动的实时监控和全面管理。

根据数据的性质和用途, 将城市空间可感知信息归纳为六大类: 环境气候数据、设备使用数据、空间位置数据、

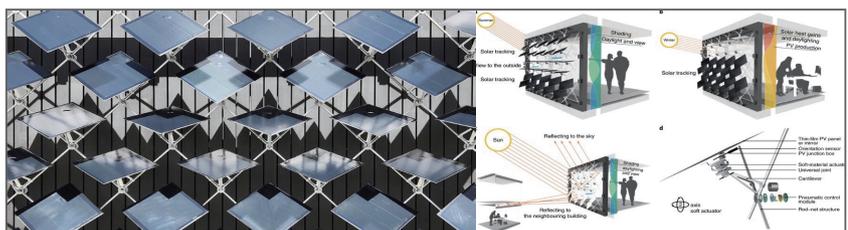
表2 空间面载体及代表案例

Tab.2 Types of space surfaces and cases

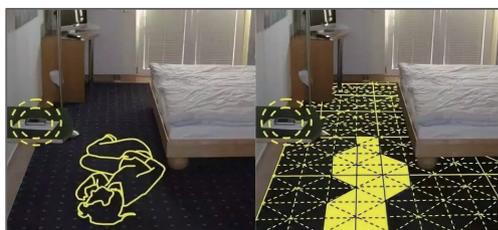
分类	载体	案例
界定面	墙面	卡布里尼医院 LUMES 互动墙 ^① 、苏黎世理工自适应光伏外墙 ^②
	地面	费舍护理之家 SensFloor 智能地板 ^③
	顶面	深圳平安财险大厦智能互动天花板 ^④
中间面	街道家具面	深圳市花路智能灯杆示范段 ^⑤ 、户外智能猫窝 ^⑥
	管道	北京通州地下管网系统 AR 应用 ^⑦



(a) 卡布里尼医院LUMES互动墙



(b) 苏黎世理工: 自适应光伏外墙



(c) SensFloor智能地板



(d) 深圳平安财险大厦智能互动天花板



(e) 深圳市花路智能灯杆示范段



(f) 户外智能猫窝



(g) 北京通州地下管网系统AR应用

图3 智能场景案例

Fig.3 The case for iSpace

影片图像数据、人群行为数据和生理心理数据，结合项目案例总结数据类型与感知设备（表3），用于更精确地分析数据的性质和用途，进而支撑空间智能化的后续环节。

3.2 精准判断

城市空间中的感知设备捕捉到的大多是即时、高频、海量数据，需要借助机器学习和深度学习算法^[23]，进行描述性、诊断性、预测性分析，以此对环境状态、设备状态、人员行为、用户需求进行精准判断（表4）。

机器学习算法如支持向量机（SVM）、随机森林（Random Forest）等，适合处理结构化数据，能够有效地进行分类和回归分析。随机森林算法可对空间设备状态数据进行预测，提前发现可能的故障；支持向量机可对用户的行为数据进行分类，识别不同用户的需求和偏好。

深度学习算法如卷积神经网络（CNN）、循环神经网络（RNN）等，则在处理非结构化数据如图像、音频、视频等方面表现优异，能够自动提取特征和识别复杂的模式。例如：循环神经网络适用于处理序列数据，预测人员流动和行为趋势；卷积神经网络可以用于图像识别，自动检测和分类空间环境中的物体。见图5。

3.3 恰当反应

根据判断结果，能否作出恰当反应是决定空间场景智能程度的关键要素。空间场景的反应可以归纳为交互和控制两大类。见表5。

交互类反应主要通过提供视觉信息的形式与用户互动。这些机制不仅增强了用户体验，还实现了实时数据的反馈与处理。例如：LED屏幕基于实时数据分析，动态更新显示交通状况、广告等信息；用户通过手势与投影内容互动，查看并操控虚拟物体；基于用户位置，展厅内导览系统自动播放相关介绍。

控制类反应则是智能控制电子设备与机械构件，技术要求较高，工程复杂性也更大。例如：根据环境光线和用户活动，灯光实时调节亮度和色温；监测用户的活动步态，检测到跌倒时自动发

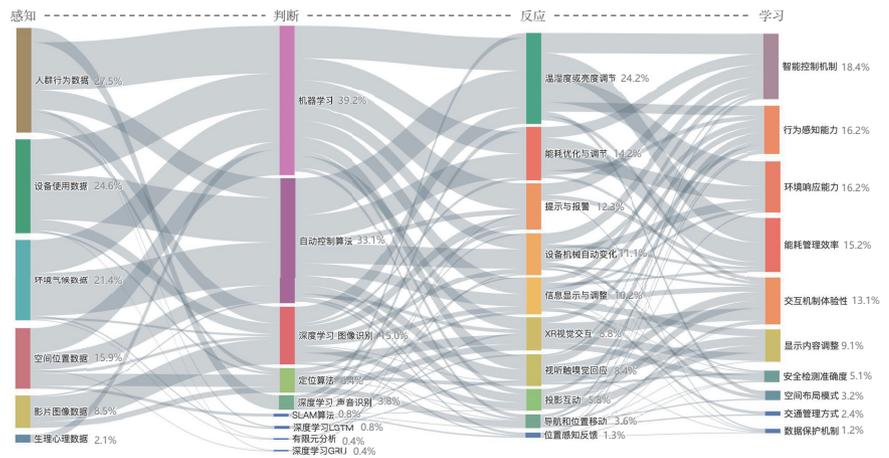


图4 智能场景四要素联动图

Fig.4 Sankey diagram of the four elements of iSpace

表3 数据类型与感知设备

Tab.3 Data types and sensing devices

数据类型		数据明细	感知设备
环境气候数据	环境数据	风速、光照、温度、湿度、空气质量、气压、噪声	气象站、温湿度传感器、风速计、噪声计、空气质量传感器
	光照数据	室内外光线强度、太阳位置、环境光线	光照传感器、太阳位置跟踪器
设备使用数据	设备状态数据	设备状态、设备运行、设备使用情况	RFID、NFC、设备监控系统、设备传感器
	能耗数据	能耗数据、负荷数据	能耗监测器、智能电表
	设备操作数据	用户控制数据、设备设置、操作记录	用户控制终端、操作记录器、日志记录系统
空间位置数据	用户位置数据	用户位置、人员坐标、访客位置	毫米波雷达、红外检测、Wi-Fi定位设备
	移动数据	移动轨迹、行进路线、步行路径	GPS设备、移动跟踪器、步态传感器
	车辆位置数据	车辆位置、停车位数据、交通流量	车载GPS、车辆跟踪系统、停车监控设备
	空间使用数据	空间占用、房间利用率、空间使用情况	室内监控摄像头、占用传感器、红外探测器
影片图像数据	视频数据	视频监控、照片、图像捕捉	监控摄像头、数码相机、行车记录仪
	热成像数据	热成像图、红外图像	热成像仪、红外摄像头
	面部识别数据	面部图像、身份识别、人物特征数据	面部识别摄像头、高分辨率摄像头
	虚拟现实数据	虚拟场景、VR数据、全息投影	VR头显、全景摄像头、动作捕捉设备
人群行为数据	用户行为数据	动作、行为轨迹、声音、触摸	毫米波雷达、麦克风、压敏传感器
	人群流动数据	人流量、流动情况、步行者数据	人流计数器、热感应摄像头、压力感应地板
	反馈互动数据	用户反馈、评价数据、社交互动	社交媒体数据收集、社交分析软件
生理心理数据	用户情绪数据	情绪识别、心理状态、情绪波动	面部表情分析摄像头、语音情绪识别设备
	健康数据	心电图、脑电波、肌电、健康状态、体征监测	心电图仪、健康监测设备(手环、手表)
	压力数据	压力水平、心理负担	压力传感器、心率监测器



(a) 实时图像

(b) 判断结果：包括物体检测、文本识别、姿势估计、面部检测

图5 空间判断实例

Fig.5 Examples of judgment

出警报并通知相关人员；根据用户的位置，调整升降机和建筑设施的状态，提供无障碍上下楼服务。

3.4 学习优化

目前绝大多数智能场景实践是在“感知—判断—反应”三要素层面实现了智能化提升，尚未进入到“感知—判断—反应—学习”的自我优化循环中，缺乏持续迭代的能力，限制了智能场景在复杂多变的城市环境中提供长期有效服务的能力。

智能场景的自我优化建立在规律分析的基础之上。从大量复杂异构数据中建模提取有价值的信息，发现规律并预测趋势（图7），空间自我优化，作出更有效的智能化的反馈（表6）。随着智能场景实践的应用拓展，未来空间之间的协同学习也将是提升智能化水平的重要手段。融合感知数据、共享学习经验，通过空间集体智慧实现更高效的城市管理和服务优化。

4 结语与展望

智慧城市建设在经历了十余年宏观战略与顶层设计的探索后，正加速步入更深入、更系统化的落地实施阶段。作为城市生活的载体和市民直接接触的实体，城市场景的智能化提升必然成为真正落实智慧城市愿景的重要趋势和关键抓手。科技创新融合城市更新，特别是信息通信技术（ICT）、人工智能（AI）和物联网技术（IoT）与城市空间改造工作的深度整合，正在将城市空间转变为新质生产力的重要应用领域。展望未来，具有“全面感知、精准判断、恰当反应、学习优化”四要素的智能场景不仅将推动技术革新，增强城市空间安全性，更将重塑人们的生活方式和城市的功能结构，促进可持续发展与人文关怀的深度融合。

注释

- ① <https://www.eness.com/permanent/cabrini>
- ② <https://systems.arch.ethz.ch/research/adaptive-solar-facade>
- ③ <https://future-shape.com/>
- ④ <https://www.archiposition.com/items/>

表4 空间判断算法及数据

Tab.4 Algorithms and data for iSpace

空间判断	数据	常用算法
环境监测算法	空气质量数据、噪声数据、温湿度数据	K均值聚类(决策树(Decision Tree))
能源管理算法	能耗数据、设备状态数据、环境数据	线性回归、梯度提升树(GBT)
设备状态监控算法	设备运行数据、能耗数据、维护日志	支持向量机(SVM)、随机森林(Random Forest)
行为识别算法	用户行为数据、传感器数据、视频数据	卷积神经网络(CNN)、隐马尔可夫模型(HMM)、OpenPose、目标检测Yolo
语音识别算法	语音数据、用户指令数据	自然语言处理(NLP)、BERT、长短期记忆网络(LSTM)
人脸识别算法	视频图像数据、用户身份数据	生成对抗网络(GANs)、卷积神经网络(CNN)
安全检测算法	视频监控数据、设备状态数据、入侵检测数据	深度残差网络(ResNet)、卷积神经网络(CNN)
路径规划算法	空间位置信息、障碍物数据、地图数据	同步定位与地图构建(SLAM)

表5 智能场景反应方式

Tab.5 Response modes for iSpace

类型	反应描述	案例描述
交互类	信息显示与调整	实时更新LED屏幕内容;墙体旋转显示互动图案
	体态与投影互动	3D影像手势互动;位置调整投影内容
	位置感知反馈	跟踪用户位置,提醒健康和社交;个性化展览内容
	全息投影互动	全息投影3D影像互动;旋转显示漂浮影像
控制类	温湿度或亮度调节	自动调节温度和湿度;调节灯光和空调
	能耗优化与调节	实时监控发电;优化能耗
	设备机械自动变化	调节折叠机制;优化板材角度;窗帘遮阳调节
	视听触嗅觉回应	检测跌倒发出警报;低音震动;电子刺激肌肉

表6 空间场景自我优化方向

Tab.6 Directions for space optimization

学习优化	实现方法	具体说明
行为感知能力	用户行为、步态数据分析、跌倒预测优化与健康数据分析	通过分析用户步态和活动数据及健康数据,优化异常检测和行为分析算法,提升响应能力
环境响应能力	机器学习模型训练与动态调整	分析历史环境数据,优化算法提高对环境变化的响应速度,动态调整空间配置
能耗管理效率	实时数据分析与能效监控	通过传感器持续监测能耗,应用数据分析技术优化能源使用策略,减少浪费
交互显示体验	用户行为数据分析与交互模式优化	分析用户与空间交互数据,优化显示内容,提升沉浸式体验,提升互动性和用户体验
智能控制机制	用户和环境数据分析与控制算法优化	利用用户和环境数据,优化控制系统算法,提高设备智能化水平,提高系统稳定性
空间布局模式	用户行为模式分析与动态内容优化	通过用户行为分析,调整显示和互动内容,提升空间的动态适应性
数据保护机制	数据加密技术与隐私保护算法	通过分析用户数据隐私需求,改进加密算法,提高数据保护和隐私安全性
安全检测准确	热成像数据与事件检测优化	应用热成像数据优化摄像头隐私保护和事件检测算法,减少误报,提高精度

- 20210118062458
- ⑤ <https://mp.weixin.qq.com/s/J871vUp2AzuPxoK1iCby2A>
- ⑥ <https://www.goood.cn/outdoor-intelligent-cat-nest-china-by-zaoshi-architecture.htm>
- ⑦ https://k.sina.cn/article_1893892941_70e2834d02000vnmn.html



图7 空间数据分析与学习优化

Fig.7 Data analysis and self-optimization of iSpace

参考文献

- [1] 张蔚文, 金晗, 冷嘉欣. 智慧城市建设如何助力社会治理现代化? 新冠疫情考验下的杭州“城市大脑”[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版), 2020, 50(4): 117-129.
- [2] 巫细波, 杨再高. 智慧城市理念与未来城市发展[J]. 城市发展研究, 2010, 17(11): 56-60.
- [3] 王梦恕, 王永红, 谭忠盛, 等. 我国智慧城市地下空间综合利用探索[J]. 北京交通大学学报, 2016, 40(4): 1-8.
- [4] 张晓春, 邵源, 孙超. 面向未来城市的智慧交通整体构思[J]. 城市交通, 2018, 16(5): 1-7.
- [5] 陈玉兰, 张灵. 长三角城市智慧产业发展比较研究[J]. 南通大学学报(社会科学版), 2017, 33(6): 6-11.
- [6] 吴志强, 王坚, 李德仁, 等. 智慧城市热潮下的“冷”思考学术笔谈[J]. 城市规划学刊, 2022(2): 1-11.
- [7] NIZETIC S, SOLIC P, LOPEZ-DE-IPINA D, et al. Internet of things (IoT): opportunities, issues and challenges towards a smart and sustainable future[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 274: 122877.
- [8] JAVED A R, SHAHZAD F, REHMAN S U, et al. Future smart cities requirements, emerging technologies, applications, challenges, and future aspects[J]. Cities, 2022, 129: 103794.
- [9] ZHU C, FONG L H N, GAN M. Rethinking the consequences of postmodern authenticity: the case of a world cultural heritage in augmented reality[J]. Current Issues in Tourism, 2023, 26(4): 617-631.
- [10] COPIACO A, HIMEUR Y, AMIRA A, et al. An innovative deep anomaly detection of building energy consumption using energy time-series images[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2023, 119: 105775.
- [11] PENG Y, RYSANEK A, NAGY Z, et al. Using machine learning techniques for occupancy-prediction-based cooling control in office buildings[J]. Applied Energy, 2018, 211: 1343-1358.
- [12] JEON Y, CHO C, SEO J, et al. IoT-based occupancy detection system in indoor residential environments[J]. Building and Environment, 2018, 132: 181-204.
- [13] 甄峰, 孔宇. “人—技术—空间”一体的智慧城市规划框架[J]. 城市规划学刊, 2021(6): 45-52.
- [14] 周迎, 徐亚寅, 丁烈云. 基于环境智能的建筑智能终端[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(8): 1-10.
- [15] 刘泉, 史懿亭, 赖亚妮. 智慧城市场景的概念解读与特征认知[J]. 国际城市规划, 2023.
- [16] 刘泉, 陈瑶瑶, 黄丁芳, 等. 智慧街道三元融合场景的模块化设计方法: 以华强北未来街道概念设计为例[J]. 城市规划学刊, 2023(2): 110-118.
- [17] HIJJI M, IQBAL R, PANDEY A K, et al. 6G connected vehicle framework to support intelligent road maintenance using deep learning data fusion[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2023, 24(7): 7726-7735.
- [18] 刘晓青, 何睿. 城市信息新基建规划: 雄安实践与探索[J]. 城市规划学刊, 2022(5): 112-118.
- [19] DE PAZ J F, BAJO J, RODRIGUEZ S, et al. Intelligent system for lighting control in smart cities[J]. Information Sciences, 2016, 372: 241-255.
- [20] ABUGA D, RAGHAVAN S. Real-time smart garbage bin mechanism for solid waste management in smart cities[J]. Sustainable Cities and Society, 2021, 75: 103347.
- [21] 吴志强, 潘云鹤, 叶启明, 等. 智能城市评价指标体系: 研制过程与应用[J]. Engineering, 2016, 2(2): 105-137.
- [22] PERERA C, ZASLAVSKY A, CHRISTEN P, et al. Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things[J]. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 2014, 25(1): 81-93.
- [23] ZHANG J, TAO D. Empowering things with intelligence: a survey of the progress, challenges, and opportunities in artificial intelligence of things[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2021, 8(10): 7789-7817.

修回: 2024-08