

# 基于云雾边的智慧低碳建筑信息系统设计

张 栋<sup>1</sup>, 任会峰<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>无锡学院, 物联网工程学院, 江苏 无锡

<sup>2</sup>湖南中自工业智能研究院有限公司, 湖南 长沙

收稿日期: 2023年4月12日; 录用日期: 2023年6月14日; 发布日期: 2023年6月21日

## 摘 要

为加快大型建筑转型升级, 推动信息系统高效低碳设计, 分析了当前智慧建筑信息系统的设计现状, 提出基于边缘计算的智慧建筑信息系统架构设计策略, 通过IoT协议和Web协议连接“云层-雾层-边缘层”, 研究了边缘计算在智慧建筑信息系统“低碳”和“智慧”控制目标下的子系统应用技术及设计方案, 在下层的各个分散节点实现数据的分布式处理, 在上层结点实现数据融合与决策, 并给出一个智慧建筑信息系统的设计与运行实例。

## 关键词

智慧建筑, 低碳建筑, 信息系统设计, 能耗控制, 边缘计算

# Cloud-Fog-Edge Based Design of Intelligent Low-Carbon Building Information System

Dong Zhang<sup>1</sup>, Huifeng Ren<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>School of Internet of Things Engineering, Wuxi University, Wuxi Jiangsu

<sup>2</sup>Hunan Zhongzi Industrial Intelligence Research Institute Co., Ltd., Changsha Hunan

Received: Apr. 12<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jun. 14<sup>th</sup>, 2023; published: Jun. 21<sup>st</sup>, 2023

## Abstract

In order to speed up the transformation and upgrading of large-scale buildings and promote the efficient and low-carbon design of information systems, this paper analyzes the current design status of intelligent building information systems, proposes the design strategy of intelligent building information system architecture based on edge computing, and studies the application technology of edge computing in the “low-carbon” and “smart” control goals of intelligent building information

\*通讯作者。

systems through the IoT protocol and Web protocol connection “cloud-fog-edge”. Distributed data processing is implemented at various decentralized nodes in the lower layer, data fusion and decision-making are implemented at upper nodes, and a design example of a smart building information subsystem is proposed.

## Keywords

Smart Buildings, Low-Carbon Buildings, Information System Design, Energy Consumption Control, Edge Computing

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

让城市更聪明一些、更智慧一些,是推动城市治理体系和治理能力现代化的必由之路。建筑行业在增加了各建筑企业经济利润的同时,人们已经不满足建筑简单的居住功能需求,开始向复杂的使用功能需求发展,以提高建筑内部设计的便捷度和舒适度为主,智慧建筑蓬勃发展。

智慧建筑将电气技术、通信技术、互联网技术、监控技术、报警技术等各方面技术进行集成化,构建一个完整的、健全的综合现代化信息交互网络,使之成为可以快速适应并满足新时期发展的现代化建筑,具有工程投资合理、设备高度自动化、信息管理科学、服务高效优质、使用灵活方便和环境安全舒适等特点,是能够适应信息化社会发展需要的现代化新型建筑。在“互联网技术”、“大数据技术”等国家重大战略的带动下,智慧建筑已经全面融入人们的工作和生活中,全面覆盖了我国的金融行业、房地产行业、建筑行业、消防行业、制造业等,正在向着智慧化和低碳化方向发展。

当前众多所谓“智慧建筑”建设水平参差不齐,设备盲目投入以及更新换代频繁导致能源消耗严重,与当前“低碳”目标不符,只能提供系统及设备实时运行数据的展示功能,积累的大量数据处于休眠状态,没有发挥其应有的价值,还称不上“智慧”。现场设备源源不断地生产数据,通过配置物联网和人工智能算法的边缘服务发送至云端,数据消费者向云中心发送数据使用请求,云端将数据集中处理的结果发送到终端用户、智能手机、个人电脑等数据消费者。

如果说建筑是智慧建筑的躯体,那么信息系统就是智慧建筑的灵魂,通过物联网技术,建立智慧建筑信息管理分析系统,实现信息共享,实现对建筑机电设备的精准管理、动态监控和高效维护,是提升建筑智慧性和实现建筑低碳目标的主要渠道和重要途径[1]。

建筑信息系统积累的数据包括视频、语音、文本、图像以及数值等多模态数据,目前广泛采用云架构模式将所有数据的计算中心化,海量数据传输对网络带宽要求高、数据传输时延大、计算中心负载压力大[2]。随着物联网技术的飞速发展及广泛应用,智慧建筑中的数据消费者的终端已经变为具有可生产数据的生产者终端,线性增长的集中式云计算能力难以匹配爆炸式增长的海量边缘数据,从边缘设备传输到云数据中心的海量数据增加了传输带宽的负载量,造成网络延迟时间较长,边缘设备数据涉及个人隐私和安全的问题变得尤为突出,数据传输造成终端设备有限电能消耗较大,信息孤立严重,缺乏系统和设备生命周期预测,信息系统运行和维护成本较高,与低碳导向存在偏差,在“人-物-事件”智慧互联上也存在不足,为此,本文提出一种基于边缘计算的智慧建筑信息系统设计策略,以增强建筑内各个子系统之间的关系和能耗控制等智能服务的创建。

## 2. 信息系统架构设计

信息系统作为智慧建筑的管理中枢, 承载了从传感器执行器的现场物理数据的采集到建筑管理层的数据决策等一系列功能。图 1 是所设计的基于边缘计算的智慧建筑信息系统架构图, 包括四个组成部分: 物理数据层——负责现场传感器执行器等数据获取、感知和动作, 该层位于现场执行设备层, 主要部署建筑内机电设备终端, 诸如温湿度传感器、阀门等执行器等; 逻辑数据层——负责局部边缘节点的本地数据汇集、预处理和上传, 该层位于边缘层, 主要部署边缘智能节点, 诸如智能摄像机等嵌入式设备; 数据融合层位于雾层——负责接收逻辑数据层上传的数据, 完成各功能子系统的智慧和低碳控制算法设计、数据融合处理及结果下传; 数据决策层——负责接收数据融合层通过 Web 服务器或其它接口上传的需要高性能云端处理的数据、通过卫星、微波、5G、WiFi、蓝牙、Zigbee 等多种通信手段接收的数据并存储以及实现现场设备运行状态可视化、建筑群间信息交换共享及向上级云汇报与建筑运营决策, 该层按照云节点的功能大小可进一步划分为建筑云、城市云和国家云(数字中国), 体现智慧建筑-智慧城市-智慧中国的层次设计理念。所设计的“云-雾-边缘”三层架构中, 雾节点是云节点的边缘, 边节点是雾节点的边缘, 一个云节点关联多个雾节点, 一个雾节点服务于多个(成千上万个)边节点, 而且一个云节点又作为更大的云计算系统的一个雾节点。信息数据的实时性、隐私保护以及边缘节点的能耗优化与计算资源分配等关键任务以“云-雾-边缘”的通信结构为载体呈现, 两个通信层采用基于 MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) 的 IoT 协议和基于 REST (Representational State Transfer) 的 Web 协议[3]。

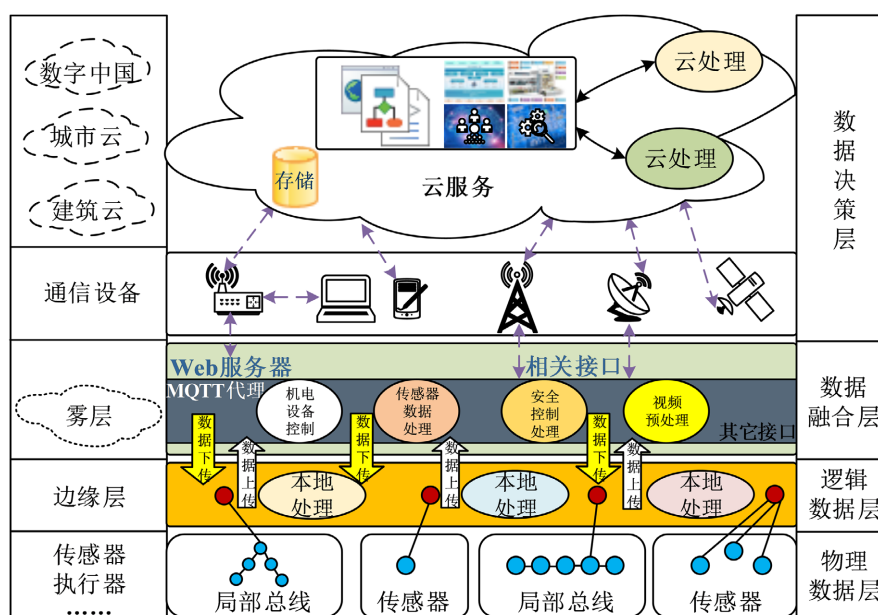


Figure 1. Three layer architecture of cloud-fog-edge

图 1. “云-雾-边缘”三层架构<sup>①</sup>

边缘层在连接传感器/执行器的嵌入式设备上开发控制软件, 相关人工智能算法部署在边缘节点上, 其中央处理器和计算资源有限, 通过通信接口集成到本地网络中。“边缘节点”位于距离传感器和设备最近的位置, 服务于物联网的传感器层和信息汇聚层, 负责小数据量和低延时的应用、存储和计算等服务; 雾层实现通信、人工智能范例、存储、配置文件和监控局域网级别的活动。雾节点处理物联网网关、服务器设备或其他具有处理、通信和存储功能的设备中的数据。“雾节点”是分布式的本地云节点, 服务于物联网的信息分析层和数据传输层, 用户、应用或物联网终端可在任何时候在任何地点基于任何物

联网设备访问自己的本地云(雾节点), 负责解决时延相对敏感应用的计算问题; “云节点”服务于物联网的应用服务层, 实现的是广泛智能化, 负责非实时和长周期数据的大数据分析, 在定期维护和业务决策支持等需要大量数据分析的场景发挥作用。

MQTT 协议作为传感器、执行器、控制器、通信设备和子系统之间的通信范例, 为集成和互操作性提供资源的异构通信场景中工作, 带宽要求很低, 非常节能, 编程资源非常简单, 特别适合嵌入式智能节点设备, 提供可靠和安全的通信。IoT 协议传递所有子系统数据, 每个子系统由对象/事物(虚拟层)组成, 包括可连接的传感器/执行器/控制器设备(硬件层)等。物联网通信对建筑场景的要求是: 标准协议、低功耗、易于访问和维护、支持集成新模块、非专有硬件或软件以及低成本设备。泛在传感器网络中的节点可以处理本地数据, 如果使用网关, 将进一步增加全局可访问性, 提供延伸服务。

### 3. 信息子系统及关键技术

智慧建筑信息系统是泛在物联感知与复杂自动控制系统的深度融合, 在提升建筑人文关怀的同时, 降低能耗, 减少碳排放。本设计通过深度学习等机器学习方法, 充分发挥历史数据与仿真数据价值, 优化配置系统架构, 预测设备寿命, 提高设备全生命周期维护效率, 降低人力与物力成本, 同时提供优质入住体验, 包括负载均衡、能耗优化、设备维护和智慧安保等子系统, 如图 2 所示。智慧建筑信息系统建立在建筑大数据湖基础之上, 通过若干子系统实现信息模型仿真优化、设备寿命评估、负载均衡分配决策以及安保系统的视频检索和报警。

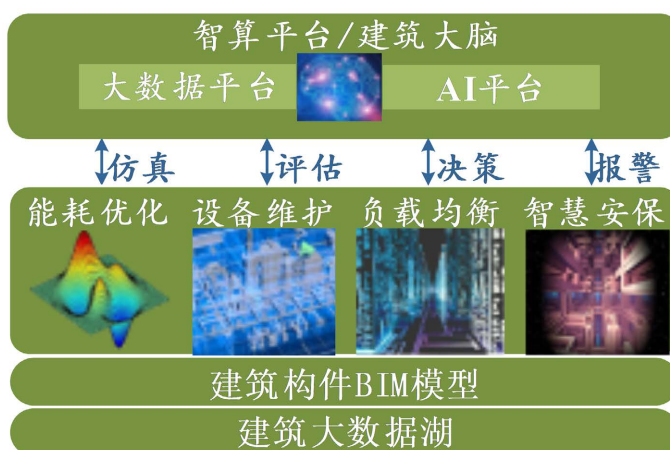


Figure 2. Information subsystem

图 2. 信息子系统<sup>②</sup>

#### 3.1. 负载均衡

传统云计算模型网络带宽负载压力大和计算资源浪费, 在“云-雾-边缘”三层架构中基于非阻塞 I/O 使边缘节点能够在多个并发用户中复用少量线程, 确保较高的及时性和可伸缩性。在处理大流量数据和消息传递需要大量使用 I/O 和网络时, 边缘节点通过批量数据传输技术将多个相同类型的请求封装在一个数据包中, 从而舒缓网络拥塞, 同时减少多个请求通过其它逻辑层所需的时间, 可同时优化迁移决策、计算资源分配和负载均衡策略[4]。

#### 3.2. 能耗优化

智慧建筑中的成千上万智能终端电能有限、计算资源受限和多终端依赖关系复杂, 利用多维度李亚

普诺夫理论, 研究分布式多维边缘端设备能耗优化模型, 将基于多边缘端依赖关系的计算迁移问题建模为以最小化边缘节点和雾节点能耗为目标的混合整数非线性规划问题, 实现分布式计算迁移方案, 可同时优化设备的关联决策、计算资源分配、能耗分配和计算迁移决策, 优化边缘端设备能耗, 提高有限能量资源的利用率[5]。

### 3.3. 设备维护

建筑的附属机电设备能耗较高, 联网设备寿命终止的时间具有不确定性。基于区块链技术搭建可信的数字化能耗监控平台, 在保证数据安全的同时增加开放性, 通过分项计量将建筑各个区域耗电量、耗水量、耗气量等数据直观展示给运营管理人员, 基于不可篡改、真实可信的能耗数据提出低碳方案[6], 控制运行成本。基于区块链去中心化的优点, 联网设备实现信息的自我验证、传递和管理, 每个节点都记录了设备的历史运行信息, 方便维护人员定期监督查验设备的运行状态、及时处理故障和低能效工况, 延长设备有效运行寿命, 降低设备更新频率, 契合智慧建筑低碳的发展愿景。

### 3.4. 智慧安防

智慧建筑运行期间存储了海量监控视频数据, 云计算中心服务器计算压力大, 可将部分或者全部视频图像预处理任务分散到边缘节点, 去除视频图像冗余信息, 由此降低对云中心的计算、存储和网络带宽需求, 提高视频分析的速度; 为了降低上传的视频数据量, 基于边缘预处理功能, 构建基于行为感知的视频监控数据弹性存储机制, 实时提取和分析视频中的行为特征, 在兼容现有智能处理的功能基础上, 增加“事中”事件监测和“事中”事件报告的功能, 既减少无效视频的存储, 降低存储空间, 又增强证据信息的可信性, 提高视频数据存储空间利用率。

## 4. 子系统设计与施工示例

### 4.1. 信息系统局部连接示例

某建筑局部区域雾层和边缘层连接的示例如图3所示。

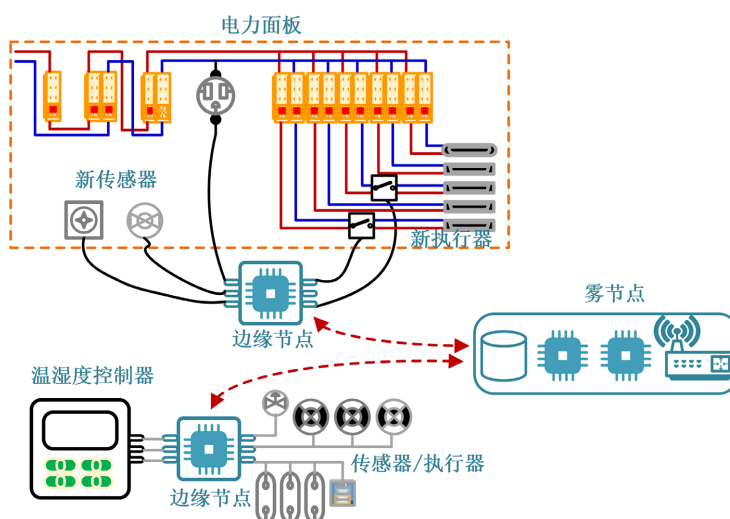


Figure 3. Example of local building information systems

图3. 建筑信息系统局部的“雾-边缘”示例<sup>®</sup>

图3中, 传感器采集建筑内局部区域的温度和湿度数据, 边缘节点在较低的级别, 执行与已安装传

传感器和执行器的连接, 并对传感器采集的数据进行预处理, 处理结果按照温湿度控制器的控制策略下发到执行器, 从而边缘节点即可单独实现局部区域的环境气候控制[7], 无需云计算中心的参与。位于电力数据处理的边缘节点将预处理后的电力数据上传到雾节点, 通过雾节点子系统中集成的能耗优化算法, 识别电力设备类型及机电设备启停与用电控制。同时, 所有子系统互连的雾节点连接到边缘节点的新设备, 边缘和雾节点可以部署在所有子系统中。

#### 4.2. 某建筑信息系统设计运行实例

在建筑基本结构和质量改进不大的背景下, 建筑节能与安全要求越来越高, 低碳智慧品质已经成为建筑新的亮点和更高身价的体现。结合前述建筑信息系统设计, 以某校园建筑群为例, 图 4 是信息系统主界面, 将多个子系统集成到一起, 对一些紧急信息, 如安保系统报警、设备寿命提醒等, 优先显示。

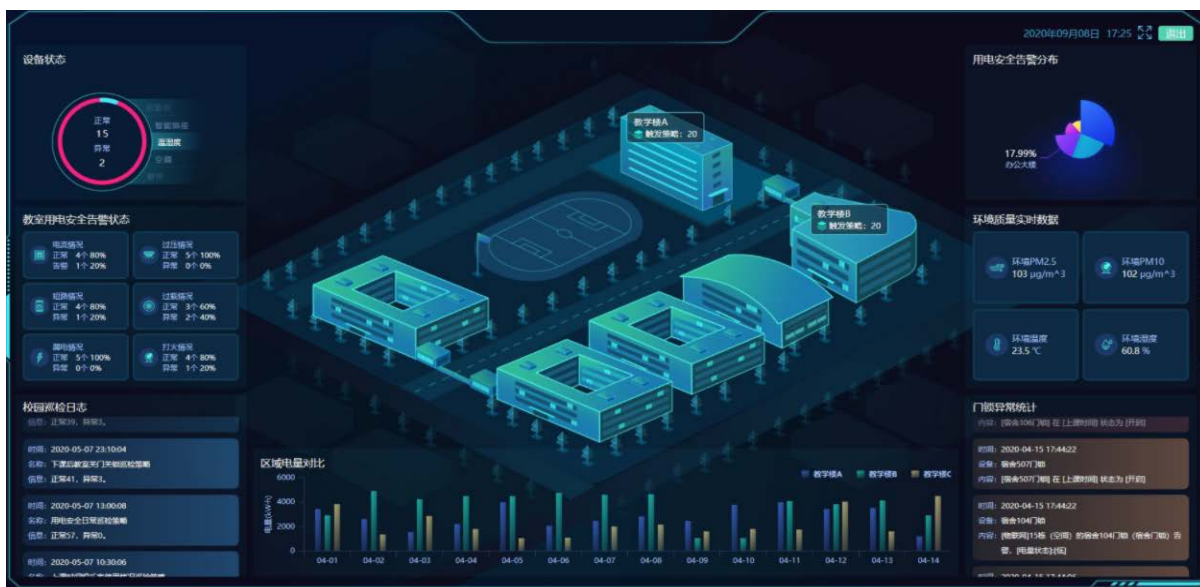


Figure 4. Main interface of information system  
图 4. 信息系统主界面<sup>④</sup>

图 5 是建筑内环境参数采集与展示界面, 集中显示建筑不同区域的温度和湿度信息, 红色为温度, 绿色为湿度, 其中显示的主要参数还有光照强度、PM2.5 浓度、甲醛浓度和今日新增报警次数, 记录了温湿度等参数超标报警以及其它子系统的联动报警。



Figure 5. Environmental parameter collection and display interface  
图 5. 环境参数采集与展示界面<sup>⑤</sup>

图 6 是负载均衡控制与能耗优化界面, 主要包括边缘策略和平台策略两大部分, 其中边缘策略包含终端边缘策略和网关边缘策略, “终端边缘策略” 基于能耗优化模型实现终端机电设备的能耗分配, “网关边缘策略” 实现了大流量数据的封装与分发以优化计算迁移和负载均衡; 平台策略包含一键情景、定时策略、联动策略、巡检任务和告警策略等, 实现了与安保监控、能耗优化等子系统的数据交换。



Figure 6. Load balancing control and energy consumption optimization interface

图 6. 负载均衡控制与能耗优化界面<sup>⑥</sup>

图 7 是电量统计与用电报警界面, 实现了历史用电数据统计, 统计的参数有最高/低电压、最高/低电流、最高/低温度、短路报警、浪涌报警、过载报警、温度报警、漏电报警等, 以及各种电量参数报警占比, 这些参数用于负载均衡、电量优化和设备寿命预测。



Figure 7. Electricity statistics and electricity alarm interface

图 7. 电量统计与用电报警界面<sup>⑦</sup>

图 8 是主建筑 7 楼基于事件的安保系统监控界面, 建筑内各个重要位置, 如研发室、高管办公室等都要安装摄像头, 有条件的做到无死角监控。摄像头具备数据处理能力, 能够对获取的视频进行压缩去

冗余等预处理以及目标实时检测、事件即时报警等,并将检测与报警消息及时发送到信息系统监控界面,视频数据经压缩弹性存储,雾节点和云节点负责建筑局部和整栋建筑不同监控点位报警信息的事件关联分析,视频以事件为锚点存储在硬盘中便于后续检索。

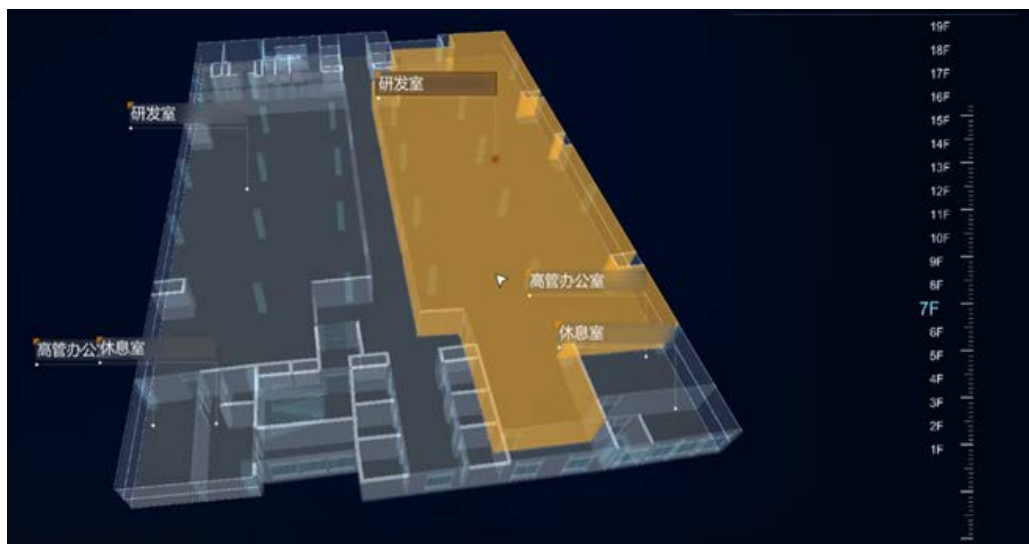


Figure 8. Event based video surveillance interface (7th floor of the main building)  
图 8. 基于事件的视频监控界面(主楼第 7 楼)<sup>®</sup>

图 9 是机电设备分类识别与能耗统计界面,该界面展示了信息系统中各类型节电设备,如照明、空调、办公等的能耗的历史数据与统计,设备的能耗数据反映了设备的运行时间与运行强度,与设备的寿命直接相关,各类型设备通过 MQTT 或者 IoT 连接,将各自的历史数据以去中心化的方式存储,实现能耗数据和设备识别的不可篡改,管理人员根据不同区域上班和下班的能耗对比,改进低碳方案、预测设备寿命[8]。



Figure 9. Mechanical and electrical equipment identification and energy consumption statistics interface  
图 9. 机电设备识别与能耗统计界面<sup>®</sup>

## 5. 结束语

信息系统的云-雾-边缘的三层架构降低了云计算中心的压力,提高了数据分布式处理能力,云服



务监控通过雾节点访问数据, 物联网协议从联网设备推送数据, 其他服务(如事件检测、存储或统计分析)完成相应的功能, 实现了计算资源及存储资源“云端化”, 物联网设备接入“无限化”, 软件平台及应用“开放化”。

## 基金项目

无锡市科协软科学研究课题“智慧楼宇大数据平台产业化关键技术研究”(KX-21-C104), 无锡学院优秀论文支持计划(BSZC2023002)。

## 注 释

- ①图 1 来源: 作者自绘
- ②图 2 来源: 作者自绘
- ③图 3 来源: 作者自绘
- ④图 4 来源: 作者自摄
- ⑤图 5 来源: 作者自摄
- ⑥图 6 来源: 作者自摄
- ⑦图 7 来源: 作者自摄
- ⑧图 8 来源: 作者自摄
- ⑨图 9 来源: 作者自摄

## 参考文献

- [1] 张超. 基于 BIM 网络技术的建筑工程项目管理信息系统设计[J]. 大陆桥视野, 2023(3): 124-126.
- [2] 管菁, 管清宝. 融合物联网及边缘计算技术在智慧城市智能建筑中的应用和发展[J]. 智能建筑与智慧城市, 2022(11): 168-172.
- [3] Francisco, J.F.P., Higinio, M., Antonio, J.M. and Bruno, V. (2018) Deployment of IoT Edge and Fog Computing Technologies to Develop Smart Building Services. *Sustainability*, **10**, 3832. <https://doi.org/10.3390/su10113832>
- [4] 李莹, 刘忻, 邱洋, 武扬. 云环境下基于 AI 知识分析的负载均衡方法[J]. 计算机科学与应用, 2022, 12(8): 2050-2061.
- [5] 李继成, 段宝仓, 陈琦, 孟威, 刘源涛, 田丰, 张海波, 闫佳佳. 基于区块链的水电设备故障风险动态计算模型[J]. 可再生能源, 2023, 41(2): 254-260.
- [6] 欧二胜. 基于公共建筑分项计量能耗监测系统模块功能的优化措施[J]. 上海节能, 2023(2): 201-206.
- [7] 张高腾. 幼儿园电气设计注意要点与探讨[J]. 设计, 2023, 8(1): 41-47.
- [8] 唐政磊, 刘百慧. 基于机器学习的办公建筑暖通空调系统能耗预测及优化调度[J]. 中国新技术新产品, 2023(2): 62-64.