

基于动态数据汇聚与AIoT协同的智慧园区管理系统设计与实现

肖 雷¹, 肖家彬^{1*}, 彭仕宁²

¹中国电信股份有限公司云计算贵州分公司, 贵州 贵阳

²贵州省通信产业服务有限公司, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年3月22日; 录用日期: 2025年4月22日; 发布日期: 2025年4月29日

摘 要

在“双碳”战略与数字经济发展双重驱动下, 针对园区数字化转型面临的数据孤岛引致的决策效能衰减、系统刚性引致的响应迟滞、能效失衡推高的碳足迹膨胀等结构性矛盾, 本文提出一种基于动态数据驱动的智慧园区智能决策系统架构。通过构建多模态数据动态汇聚模型与AIoT协同优化体系两大核心引擎, 设计了包含基础设施层、数据底座层、能力中台层、应用服务层和场景创新层的五维垂直架构体系, 实现物理空间到数字空间的虚实映射与协同优化。在技术实现层面, 采用“云-边-端”三级分布式架构, 通过数字孪生底座实现全域要素数字化建模, 集成开发智慧能源管理、巡检运维、智能安防联动等核心功能模块, 并引入无人机协同巡检与AI场景自适应服务机制。研究成果应用于国家级数据中心园区, 有效验证架构设计的科学性与实践有效性, 为破解园区数字化转型的架构性困境提供了解决方案, 为新型智慧园区建设提供了可复制的理论范式和技术路径。

关键词

智慧园区智能决策系统, 动态数据驱动, AIoT协同优化

Design and Implementation of Smart Park Management System Based on Dynamic Data Aggregation and AIoT Collaboration

Lei Xiao¹, Jiabin Xiao^{1*}, Shining Peng²

¹China Telecom Cloud Computing Guizhou Branch, Guiyang Guizhou

²Guizhou Communication Industry Service Co., Ltd., Guiyang Guizhou

*通讯作者。

文章引用: 肖雷, 肖家彬, 彭仕宁. 基于动态数据汇聚与 AIoT 协同的智慧园区管理系统设计与实现[J]. 计算机科学与应用, 2025, 15(4): 345-358. DOI: 10.12677/csa.2025.154107

Abstract

Driven by the dual driving of the “dual carbon” strategy and the development of the digital economy, in response to structural contradictions such as the attenuation of decision-making efficiency caused by data silos, response hysteresis caused by system rigidity, and carbon footprint expansion driven by energy efficiency imbalance, this paper proposes a smart park intelligent decision-making system architecture based on dynamic data-driven. By building two core engines of multimodal data dynamic aggregation model and AIoT collaborative optimization system, a five-dimensional vertical architecture system including infrastructure layer, data base layer, capability middle platform layer, application service layer and scenario innovation layer is designed to realize virtual and real mapping and collaborative optimization from physical space to digital space. At the technical implementation level, a three-level distributed architecture of “cloud-edge-end” is adopted to realize digital modeling of all-area factors through digital twin bases, integrate and develop core functional modules such as smart energy management, inspection operation and maintenance, and intelligent security linkage, and introduce a UAV collaborative inspection and AI scenario adaptive service mechanism. The research results are applied to national data center parks, effectively verifying the scientificity and practical effectiveness of architectural design, providing solutions to solve the architectural dilemma of digital transformation of parks, and providing replicable theoretical paradigms and technical paths for the construction of new smart parks.

Keywords

Smart Park Intelligent Decision-Making System, Dynamic Data-Driven, AIoT Collaborative Optimization

Copyright © 2025 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. 绪论

1.1. 园区数字化转型趋势

国家“十四五”数字经济发展规划与“新基建”战略的双重驱动下，产业园区数字化转型已成为城市数字化转型的核心载体。国务院《“十四五”数字经济发展规划》明确提出：到2025年，数字经济核心产业增加值占GDP比重达到10%。而园区数字化转型作为产业数字化转型的重要场景，需要加快数字基础设施建设，利用数字技术提升园区管理和服务能力。在当前背景下，园区数字化转型呈现三个显著趋势：

基础设施智能化重构：2023年工信部《“5G+工业互联网”融合应用先导区试点建设指南》要求加快5G基站建设，推进5G专网在园区的深度覆盖，推动5G、边缘计算、算力网络等新型基础设施完善升级。根据中研普华产业院研究报告《2024~2029年中国智慧园区行业市场调研与发展前景预测报告》显示，2022年中国智慧园区市场规模已达到约1543亿元至2000亿元人民币，预计到2027年将达到4000亿元人民币。

数据要素价值化释放：《中共中央国务院关于构建数据基础制度更好发挥数据要素作用的意见》要求加快构建数据基础制度，激活数据要素潜能。园区数字化转型过程中积累了大量的运营数据，包括企

业经营数据、设施设备运行数据、人员流动数据、能源消耗数据等，可通过数据挖掘和分析，挖掘园区数据价值，赋能园区运营发展。

服务模式生态化演进：现代产业园区已从单纯提供标准化厂房或办公空间，演变成为复杂的生态系统。1979 年诞生第一代产业园区，至今已进化到第五代产业生态型园区[1]，其核心特征是以数字化手段深度整合资源，以产业互联网赋能平台服务、运营管理、技术升级等，实现精准服务，为园区个体、企业全面赋能。

1.2. 当前园区管理痛点

尽管智慧园区建设已取得阶段性进展，但其运营体系仍面临三大核心挑战：

数据孤岛制约决策效率：在数字化转型进程中，由于跨部门异构系统间的数据标准离散化、接口协议非标准化以及协同机制缺失，形成显著的数据碎片化现象。此结构性缺陷导致高价值数据资产滞留于离散系统，严重阻碍多源信息融合，进而制约管理层获取全景化、精准化、时效性的决策支持数据。

系统柔性适配能力不足：面对园区企业动态演进的业务需求和技术迭代，现有管理系统呈现出显著的刚性架构特征。早期建设阶段对系统扩展性和可重构性的前瞻性设计考量不足，导致系统响应时间与业务复杂度呈指数级增长关系，影响园区管理效率。

能效管理低效推高运营成本：当前能源管控体系存在双重缺陷，在监测维度，缺乏基于物联网的实时能耗监测平台，导致能源流数据颗粒度不足且空间分辨率有限；在优化维度，未能构建基于机器学习的多目标优化模型，致使节能方案同质化严重，缺乏科学的节能规划和优化措施[2]。

1.3. 主要研究目的

本文致力于建立面向智慧园区治理的智能决策支持系统，系统化破解园区数字化转型中的架构性困境。基于国家“双碳”战略与数字经济政策导向，本文针对传统园区存在的三重悖论：数据孤岛引致的决策效能衰减、系统刚性导致的响应迟滞效应、能效失衡引发的碳足迹膨胀，提出一种基于动态数据汇聚与 AIoT 协同的智慧园区管理系统设计理念，并将其进行实际应用于数据中心园区管理，推动园区管理模式从“经验驱动”向“数据驱动”转变，助力实现绿色低碳、高效协同的智慧园区发展目标。

2. 相关理论与技术综述

2.1. 数据汇聚技术发展脉络

随着信息技术的飞速发展，尤其是在智慧园区、智能城市等领域的应用，数据汇聚技术经历多次技术革新。数据汇聚是指通过多种手段与技术，将不同来源和格式的数据整合到一个统一的平台上进行处理和分析。

2.1.1. 传统数据采集局限性

在智慧园区初期的数据汇聚阶段，传统的数据采集技术主要依赖于单一的数据源和静态的数据获取方式。早期的数据采集多基于传感器和人工输入数据，技术手段相对简单，数据的采集主要依赖局部的、单一的设备与系统。传统的数据采集技术在小型应用场景下行之有效，但在面对海量数据和复杂环境时，传统技术存在诸多局限性，具体表现在以下几个方面：

数据孤岛现象：传统的数据采集系统往往是各自独立、相互割裂的，各系统之间没有有效的协同机制，导致数据难以共享和整合，无法为全局决策提供全面的数据支持。

数据格式不统一：由于不同设备、系统采集的数据格式差异较大，导致数据在汇聚后很难实现标准化处理，降低了数据的利用效率。

实时性差:传统的采集方式往往无法实现对实时数据的高效监控与更新,尤其是在高动态的环境中,数据的时效性较差,影响了决策的准确性和及时性。

扩展性差:随着数据量的增加和智能设备的不断加入,传统的数据采集方式缺乏灵活的扩展能力,难以应对不断变化的需求。

2.1.2. 动态自适应机制突破

为克服传统数据采集方式的局限,近年来,数据汇聚技术逐渐向动态自适应机制发展。动态自适应机制主要是指根据环境变化和数据来源的多样性,自动调整数据采集和处理方式,从而实现更加高效和灵活的数据汇聚。动态自适应机制特点包括:

实时数据流处理:通过引入流处理引擎,系统能够实时获取和处理来自不同传感器、设备的数据流,及时响应环境变化。智慧园区应用中,实时流处理技术能够确保数据在采集后立即进行分析,从而在动态环境中提供及时的反馈。

异构数据融合:为解决不同设备之间的数据格式不统一问题,数据汇聚系统采用更为智能的数据处理机制。通过引入数据标准化和格式转换模块,不同来源的数据可以在不丧失信息的前提下进行有效融合,为后续的数据分析与决策提供统一的基础。

自适应调度与优化:动态自适应机制,数据采集系统能够根据设备的运行状态、网络带宽、环境变化等因素,自主调节数据采集的频率、范围和质量。

引入边缘计算:为应对大规模数据处理的挑战,边缘计算被引入数据汇聚技术中。边缘设备可以在数据源端进行初步的数据处理和筛选,减轻中心服务器的压力,提高系统的响应速度和可靠性。

2.2. AIoT 技术集成趋势

随着人工智能(AI)和物联网(IoT)技术的快速发展,AIoT (Artificial Intelligence of Things)作为这两者的融合体,逐渐成为智慧园区技术发展的核心趋势。AIoT 技术集成趋势不仅改变了园区内设备与系统的互动方式,还极大提升了数据处理与决策的智能化水平。

2.2.1. 设备协同优化理论

设备协同优化是 AIoT 技术在智慧园区中的一个重要应用。随着物联网设备的普及,园区内的设备、系统、终端和传感器数量急剧增加,如何实现这些设备的高效协同与资源优化,是当前技术发展的关键。设备协同优化理论的理念是通过人工智能算法,使设备能够在复杂的环境中进行自主协调与调度,实现资源的最优配置。

协同决策机制:传统设备多依赖中心化的控制系统进行管理,而 AIoT 通过分布式计算与协同决策机制,使设备能够根据实时数据自主进行决策。

自适应控制与优化算法:在设备协同优化中,机器学习和深度学习算法被广泛应用于设备状态监测和预测。通过分析历史数据,系统能够预测设备的运行趋势,提前做出优化调整。

多设备多任务协同:随着园区内设备功能的多样化,如何实现多设备在多任务中的协调运作成为一个挑战。AIoT 通过设备间的协同通信与智能调度,实现了设备在不同任务中的动态调整与合作。

2.2.2. 边缘智能新范式

边缘计算作为 AIoT 发展的关键技术之一,为设备协同优化和智能决策提供了强有力的支持。边缘智能指的是在数据生成源端进行计算和分析,从而避免将大量数据传输到云端,减少延迟并提高系统的响应速度和稳定性[3]。

本地数据处理:在边缘智能的架构下,数据处理不再完全依赖中心化的云端计算,而是在本地的边缘设备上进行分析与处理,能够大幅度降低延迟,提高实时响应能力。

智能决策与执行：通过边缘智能，智慧园区中的设备不仅能够进行数据采集，还能够在本地进行智能决策。

边缘与云协同：边缘计算并不是完全取代云计算，而是两者的协同工作。在数据量巨大的情况下，边缘设备进行初步的数据处理与筛选，云端则负责大规模的数据存储与深度分析。边缘设备与云平台之间的数据协同能够使整个智慧园区系统具备更强的灵活性与智能化水平。

3. 系统设计与开发

3.1. 系统架构设计

系统架构采用分层解耦的设计理念，通过五层垂直架构实现从物理资源到业务价值的逐级赋能，形成“资源集约化、数据全域化、能力组件化、场景生态化”的完整技术体系[4]，具体分层架构如图1所示。

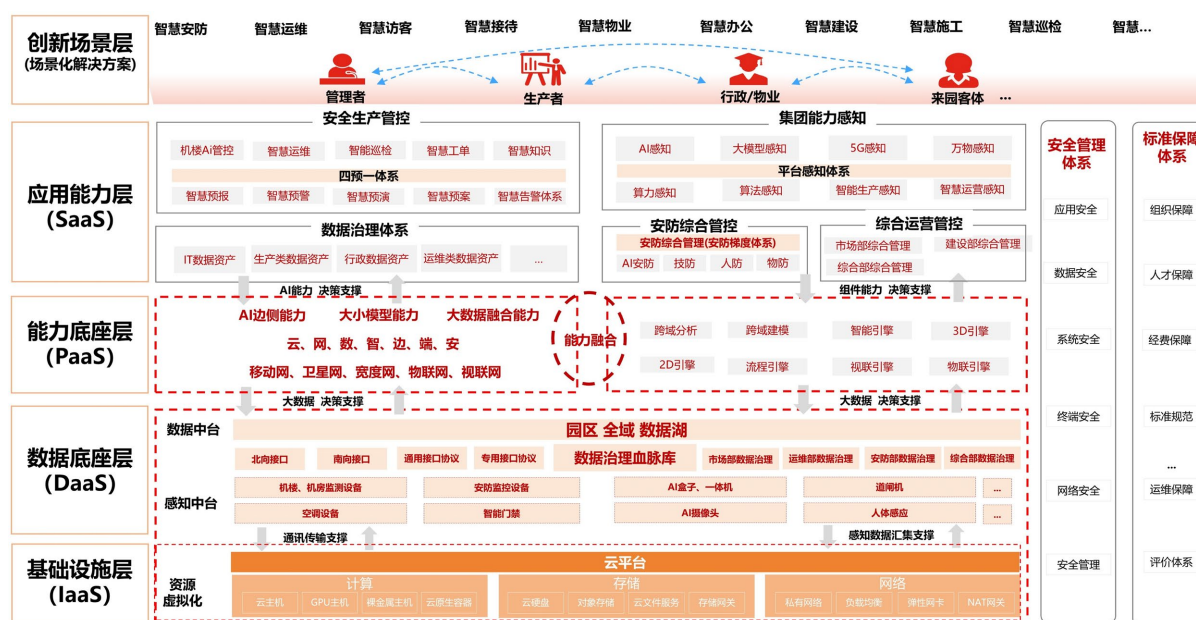


Figure 1. System architecture diagram

图 1. 系统架构图

基础设施层：数字化基座的核心支撑层，通过虚拟化技术将计算资源、分布式存储和网络资源进行池化管理，构建弹性可扩展的云平台[5]。采用超融合架构实现资源动态调度，通过跨可用区部署保障服务高可用性，为上层系统提供按需取用的基础设施服务。

数据底座层：建立全域物联感知体系，通过南向接口协议对接门禁、道闸、环境传感器等物联网设备，利用北向接口实现与业务系统的数据贯通。构建数据治理中台，打造园区级数据湖，通过流批一体处理引擎实现设备运行数据、业务系统数据、视频结构化数据的三维融合。

能力底座层：打造 AIoT 能力工厂，构建“云边协同”智能体系，在边缘侧部署轻量化 AI 推理引擎，实现视频周界防护等低延时场景；在云端搭建大模型训练平台，支撑能耗预测等复杂分析。通过统一能力网关开发大数据分析、跨域建模、智能决策等多项原子能力，支持按场景进行能力编排。

应用能力层：基于微服务架构构建安全生产管控、集团能力感知、数据治理体系、安防综合管控和综合运营管控等五大核心应用矩阵，实现能力服务业务发展。

创新场景层：面向园区管理者、生产者、物业、访客等不同服务群体构建智能服务生态，包括智慧安防、智慧运维、智慧访客、智慧办公、智慧物业、智慧施工等多场景。

3.2. 动态数据汇聚模型构建

在智慧园区建设过程中，数据来源多样且具有异构性，如何高效地处理、调度、清洗和增强数据质量，是提高系统性能和智能决策能力的关键。本文从多源异构数据处理框架、自适应调度机制设计和数据质量增强方法三个方面，构建高效的动态数据汇聚模型。

3.2.1. 多源异构数据处理框架

园区数据往往来源于多个异构的数据源，包括各类传感器、智能设备、监控系统、动环系统、消防系统、移动终端等。这些数据不仅格式多样，采集频率、精度、实时性等方面均存在差异。因此，如何高效地汇聚并处理多源异构数据，是构建动态数据汇聚模型的基础。多源异构数据处理框架如图 2 所示。

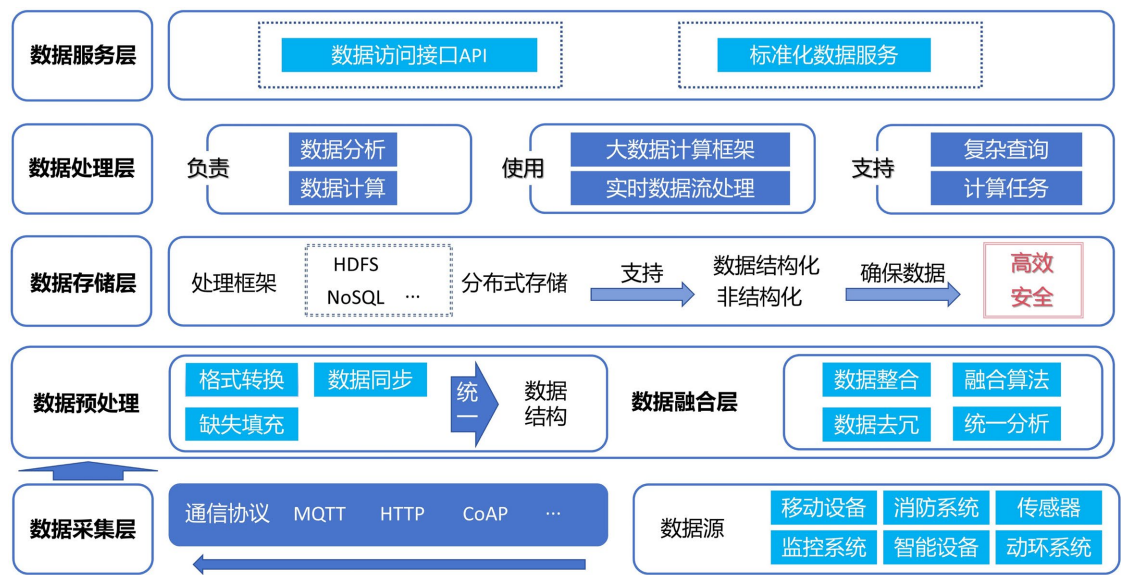


Figure 2. Multi-source heterogeneous data processing framework diagram
图 2. 多源异构数据处理框架图

数据采集层：负责从各种数据源获取数据，通常采用物联网传感器、摄像头、用户终端等设备。不同设备的数据格式和协议不尽相同，通常采用如 MQTT、CoAP、HTTP 等标准化的通信协议进行数据传输。

数据预处理层：完成数据采集后，进行数据预处理，主要包括数据格式转换、缺失值填充、数据同步等。主要任务是来自不同设备、不同格式的数据转化为统一的结构，便于后续分析与处理。

数据融合层：数据融合技术将来自不同来源的数据整合到一起，去除冗余数据并进行统一分析。应用数据融合算法将不同来源的同类数据合并，以获得更加准确和可靠的信息。

数据存储层：数据存储是大数据架构中的核心部分。在多源异构数据处理框架中，采用如 HDFS、NoSQL 数据库等分布式存储系统存储大规模的数据，处理结构化和非结构化的数据，确保数据高效、安全地存储。

数据处理层：主要负责对存储的数据进行分析和计算，使用大数据计算框架进行实时数据流处理，支持复杂的查询和计算任务。

数据服务层：提供数据访问接口和 API，向上层应用提供标准化的数据服务，确保不同应用能够方便地访问和利用处理后的数据。

3.2.2. 自适应调度机制设计

在动态数据汇聚过程中，资源调度的效率直接影响系统的响应速度和性能。自适应调度机制的设计旨在根据园区内资源的可用性、网络状况、设备状态等因素，自动调整数据采集、处理与传输的策略，从而提高系统的整体效率。

1) 资源感知模块

资源感知模块是自适应调度机制中的核心组成部分，其主要任务是实时监控并评估园区内的硬件资源、网络带宽、设备运行状态等，动态调整数据采集和处理策略。

硬件资源监控：监测 CPU、内存、存储等资源的使用情况。根据资源使用情况，系统可以选择是否启动某些数据采集任务或延迟数据的传输，以避免过载。

网络带宽监控：监测网络带宽的可用性，尤其是在高负载情况下，系统可以根据带宽的变化动态调整数据的上传频率或质量。

设备状态监控：实时监控园区内设备的运行状态，包括传感器、终端等。如果某些设备处于离线或故障状态，系统可以动态调整数据采集任务，避免数据丢失。

2) QoS 动态评估模型

QoS (Quality of Service) 是评估系统服务质量的重要指标，通常包括延迟、带宽、可靠性等方面。在动态数据汇聚中，QoS 动态评估模型用于实时评估网络资源、数据处理能力等，并根据实际情况调整数据传输与处理策略。

QoS 动态评估模型的基本原理如式(1)所示：

$$QoS = f(P, L, C, R) \quad (1)$$

其中：

P 表示处理能力，反映系统处理任务的速度；

L 表示延迟，反映数据从采集到处理的时延；

C 表示容量，反映系统可承载的最大数据量；

R 表示可靠性，反映系统在资源有限时的稳定性。

3.2.3. 数据质量增强方法

在动态数据汇聚过程中，数据质量的保证是一个不可忽视的环节。由于设备故障、传输问题等因素，数据在采集过程中容易出现缺失、异常等问题。为保证数据的准确性和可靠性，必须采取有效的数据质量增强方法。

(1) 异常数据清洗算法

异常数据清洗是数据质量增强的第一步，旨在识别并剔除采集过程中可能出现的错误数据。常见的异常数据类型包括：超出正常范围的数据、重复数据、缺失值等。

本文使用基于统计分析的异常检测方法，通过计算数据的均值和标准差，确定数据的正常范围，进而识别并删除异常值。

算法步骤：

1) 计算数据的均值和标准差：对于某一维度的数据，计算其均值 μ 和标准差 σ ；

2) 定义异常范围：通过设定阈值，标记出超出该范围的数据为异常值；

3) 异常值剔除：剔除异常数据或将其替换为合理的估计值。

(2) 时空数据对齐策略

在多元异构数据中, 数据往往存在时间和空间上的不一致。时空数据对齐是为了确保在进行数据融合与分析时, 不同来源的数据能够在相同的时间窗口和空间范围内进行统一处理。

时间对齐: 将不同时间戳的数据进行统一时序化, 确保不同设备采集的数据能够按时间顺序排列, 并在需要时进行插值处理。

空间对齐: 基于设备的地理位置, 进行空间坐标的统一转换, 使得不同位置采集的数据能够在同一坐标系下进行分析。

时空对齐策略能够有效消除数据源间的时空差异, 为后续的数据分析提供可靠的数据基础。

3.3. AIoT 协同优化体系

3.3.1. 云边端协同架构

云边端协同架构是 AIoT 系统中的核心, 负责计算资源的高效调度和任务的智能卸载[6]。云计算、边缘计算和端设备相互配合, 共同完成数据处理、分析和任务执行。

1) 计算任务卸载机制

计算任务卸载机制是根据任务类型和设备性能, 将计算任务动态地卸载到合适的计算层次。端设备可能存在计算能力限制, 部分任务卸载到边缘或云端进行处理。对于延迟敏感的应用, 优先考虑边缘计算, 因为边缘设备离终端设备较近, 能够更低延迟地处理任务。计算任务卸载的优化目标是尽量降低延迟并最大化资源利用率, 卸载机制采用以下策略:

静态卸载: 在系统部署前, 根据任务特征和设备能力进行静态规划, 确保任务合理分配。

动态卸载: 实时监控系统状态, 根据负载、延迟和带宽等动态因素调整任务卸载策略。

假设端设备、边缘设备和云端设备的处理能力分别为 P_a 、 P_b 、 P_c , 延迟分别为 L_a 、 L_b 、 L_c , 带宽分别为 W_a 、 W_b 、 W_c , 任务卸载的目标是最小化总延迟和带宽消耗, 如式(2)所示:

$$C = \alpha \cdot \left(\frac{T}{P_a} + \frac{L}{L_a} \right) + \beta \cdot \frac{W}{W_a} \quad (2)$$

其中, T 是任务的计算量, α 和 β 是权重系数, 控制延迟和带宽的相对重要性。

2) 动态资源编排策略

动态资源编排策略基于实时系统需求, 动态调度云、边缘和终端设备的计算资源。AIoT 系统中资源分配的目标是提高资源利用率并减少能耗, 尤其是在处理大量异构设备和任务时, 如何精确分配计算资源至关重要。

实时监控各计算节点的资源使用情况, 根据资源状况进行任务分配, 采用负载均衡策略, 避免部分设备过载或资源浪费, 再通过智能调度算法, 尽量利用低能耗设备和计算方式, 从而减少系统的整体能耗。

3.3.2. 智能体协作模型

在 AIoT 系统中, 如何构建高效的智能体协作模型, 使其完成系统目标是提高系统效率的关键。

1) 分布式决策框架

分布式决策框架通过多智能体之间的协作与协调, 可解决单一智能体无法高效处理的复杂问题。每个智能体都有独立的感知能力、决策机制和行为策略, 且智能体之间需要通过通信机制交换信息。

在 AIoT 系统中, 分布式决策框架利用局部决策和全局优化及协同策略来实现协作。每个智能体根据本地信息做出决策, 同时协调全局目标, 同时智能体之间通过协同策略互相补充资源或信息, 如式(3)所示:

$$J = \sum_{i=1}^N w_i \cdot R_i \quad (3)$$

其中, J 是总效益, w_i 是智能体 i 的权重, R_i 是智能体 i 的局部效益, N 是智能体数量。

2) 联邦学习优化算法

联邦学习(Federated Learning)是一种分布式机器学习方法,其允许多个智能体在保持数据隐私的前提下,共享模型参数,实现联合训练。在 AIoT 系统中,智能体通过联邦学习优化局部模型,然后将模型更新上传到边缘或云端,避免直接传输原始数据的隐私风险。其优化步骤包括:每个设备训练本地模型,设备将本地模型更新上传到中心服务器,中心服务器对接收到的模型进行聚合,生成全局模型,并将其广播回各个设备。全局模型参数更新如式(4)所示:

$$\omega = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N n_k \cdot \omega_k \quad (4)$$

其中, ω_k 是第 k 个设备的模型参数, n_k 为设备 k 上数据的样本数, N 为设备总数。

3.3.3. 安全可信保障

AIoT 系统需要面对多种安全威胁,如数据泄露、设备伪造、通信中断等,因此确保系统的安全性和可信性对于保护用户隐私和提高系统可靠性至关重要。

1) 轻量级认证协议

在资源受限的环境中,轻量级认证协议提供了一种低开销的安全认证方法,确保系统中的设备能够可靠地进行身份认证和数据交换。轻量级认证协议包括基于哈希的认证协议、对称加密认证等,其认证流程包括:设备 A 向设备 B 发送认证请求,设备 B 通过加密哈希函数计算设备 A 的身份,确保请求来自可信设备,双方使用共享密钥或密码进行验证,确保数据传输的保密性。

2) 隐私保护机制

隐私保护机制旨在保护 AIoT 系统中用户和设备的数据隐私。常见的隐私保护技术包括:

数据加密:对传输和存储的数据进行加密,确保数据在传输过程中的安全性。

匿名化技术:对敏感数据进行匿名化处理,防止身份信息泄露。

差分隐私:通过添加噪声等技术保护用户数据的隐私,同时保证数据分析结果的准确性。

本文构建差分隐私机制,通过引入噪声 ε 使得数据的处理结果无法推测出个体的信息,如式(5)所示:

$$Pr[f(D) \in S] \leq e^\varepsilon \cdot Pr[f(D') \in S] \quad (5)$$

其中, $f(D)$ 是数据集 D 上的查询函数, ε 是隐私预算, D' 是修改后的数据集。

3.4. 系统应用验证

为验证本文提出的智慧园区管理系统的实际效能,将其相关理论在某国家级数据中心园区开发部署,覆盖各类设备 10 万余套、数据采集点位超 100 万、业务流程 100 余个、人员超 500 人。系统通过“云-边-端”三级协同架构,集成数字孪生、智慧安防、智慧物业等核心功能模块,并引入无人机巡检与 AI 场景化服务,形成完整的园区智能化管理闭环。

1) 数字孪生驱动的全景可视化管理

基于动态数据汇聚技术,系统构建了高精度园区数字孪生体,实现物理空间与虚拟模型的实时同步[7]。通过融合 BIM 模型、GIS 地图与实时传感器数据,可在三维界面中动态监测园区运行状态。如图 3 所示。



Figure 3. Digital twins

图 3. 数字孪生

2) 智慧安防与 AI 事件响应

依托边缘节点部署的轻量化 AI 模型, 实现园区周界防护、人员行为分析、车辆管控等功能, 具体如图 4 所示。



Figure 4. Smart security

图 4. 智慧安防

3) 一站式服务的智慧物业服务

深度融合物联网技术与 AI 算法，构建覆盖园区基础设施的全生命周期管理体系。通过智能水表、压力传感器实现蓄水池水位精准调控与实时监测；依托数字孪生模型对空调、插座、路灯等设备进行状态感知与异常预警，自动生成维修工单智能派发；通过用电画像分析调节策略，提出各类节能优化建议[8]，实现园区级节能减排目标。系统形成“监测 - 诊断 - 处置 - 优化”闭环，显著提升物业服务的精准性与响应效率，如图 5 所示。



Figure 5. Smart property
图 5. 智慧物业



Figure 6. Smart operation and maintenance
图 6. 智慧运维

4) 集约管理数字化转型运维体系

依托物联网感知网络与大数据分析技术，覆盖机楼、IT 设施及运维流程的全景管理体系。通过智能电表、PDU 电源监测单元实时采集机楼能耗与 IT 设备负载数据，结合 AI 能效模型动态优化供电策略；集成多源运维平台告警信息，利用知识图谱技术实现告警根源定位与关联分析；构建统一数据治理平台，打通设备台账、工单记录、事务处理统计等异构数据源，通过标准化接口实现跨部门数据共享；依托低代码工单引擎，支持故障申报、任务派发、进度追踪的全流程数字化。系统以“数据驱动决策”为核心，显著提升运维资源利用率与业务连续性，如图 6 所示。

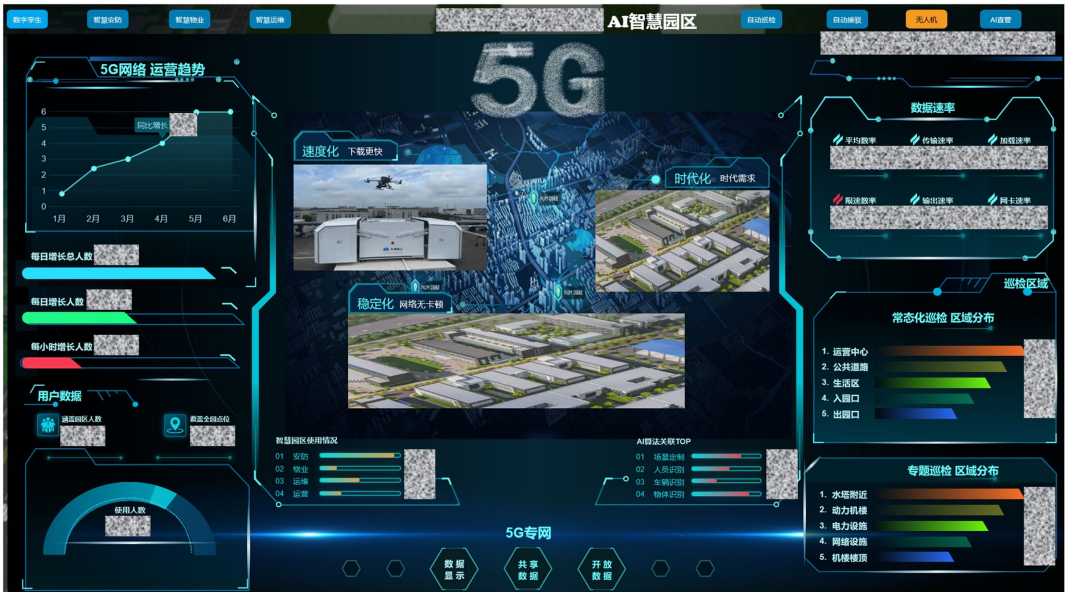


Figure 7. Drone inspection
图 7. 无人机巡检



Figure 8. AI collaboration
图 8. AI 协同

5) 无人机智能巡检体系

深度融合无人机技术与 AIoT 平台, 构建空地协同的立体化巡检体系。搭载光谱传感器与高清摄像头的无人机, 对运营中心、公共道路、生活区等常态化区域执行自动编队巡航; 针对水塔、动力机楼、电力设施等专题巡检区域, 无人机通过热成像检测输电线路异常温升、激光雷达扫描机楼楼顶违规堆放物, 结合边缘节点 AI 分析实现隐患实时识别。实现效果如图 7 所示。

6) 园区级 AI 协同赋能体系

基于星辰大模型的二次开发 AI 引擎, 构建覆盖园区核心场景的智能协同中枢。在数据中心机楼, 通过微调大模型的电力设备状态识别模块, 实现 UPS、精密空调等关键设备的 AI 算法监测; 物业中心部署多模态感知终端, 结合人脸采集联动, 实现员工无感通行与访客核验。以“大模型 + 轻量化推理”架构实现边缘 - 云端算力协同, 形成数据驱动、业务赋能的智能化闭环, 如图 8 所示。

4. 结论与展望

4.1. 研究总结

随着智慧城市建设的深入推进, 园区作为城市经济活动的核心载体, 其数字化转型需求日益迫切。本文以智慧园区管理为研究对象, 针对传统园区管理中存在的多源异构数据整合困难、设备协同效率低下、动态环境适应性不足等痛点, 提出了一种基于动态数据汇聚与 AIoT 协同优化的智慧园区管理系统。通过理论分析、技术融合与系统开发, 本研究取得以下主要成果:

1) 动态数据汇聚模型的融合应用

针对传统数据采集技术存在的静态化、孤立化问题, 本研究构建了基于多源异构数据处理框架的动态数据汇聚模型。通过引入自适应调度机制, 系统能够根据园区环境变化实时调整数据采集策略, 解决传统方法在实时性与资源利用率上的矛盾。结合数据质量增强方法, 实现对园区能源、安防、设备、环境等多维度数据的高效融合。

2) AIoT 协同优化体系的设计与实践

在 AIoT 技术集成方面, 本文提出“云 - 边 - 端”三级协同架构, 突破传统中心化计算的响应延迟瓶颈。通过边缘智能节点的部署, 将部分计算任务下沉至近场设备, 结合智能体协作模型, 能显著提升设备协同效率。

3) 系统落地验证与价值实现

基于某国家级数据中心园区的试点部署, 系统功能界面展示了数字孪生、智慧安防、智慧物业、智慧运维、无人机巡检和 AI 协同等核心模块的实际效果。

4.2. 研究不足

尽管本文在理论方法与工程实践上取得了一定成果, 但仍存在以下局限性:

1) 动态数据汇聚的实时性优化空间

当前自适应调度机制主要基于预设规则与历史数据分析, 对于突发性事件的即时响应能力仍需加强。当面临瞬时数据洪峰场景下, 系统可能面临边缘节点资源分配不均衡的问题。

2) AIoT 协同的跨平台兼容性挑战

由于园区设备厂商协议标准的碎片化, 系统在接入部分老旧设备时需依赖定制化网关, 增加了部署复杂度。另外, 异构 AI 模型的联邦学习效率仍有待提升。

4.3. 未来展望

基于当前研究成果与行业发展趋势, 今后研究方向可从以下方向展开:

1) 技术深化：动态感知与认知智能的融合

实时动态优化算法：结合数字孪生技术构建园区模型，通过在线学习实现调度策略的动态演化，增强系统对未知场景的适应能力。

多模态认知引擎：融合视觉、语音、文本等多模态数据，构建具有因果推理能力的 AI 模型，支持更复杂的决策场景。

2) 架构升级：5G 与算力网络赋能

算力 - 网络协同：依托 5G 网络切片与算力支撑，构建“云 - 边 - 端 - 网”一体化资源池，实现计算任务的最优分发与弹性扩展。

分布式智能演进：探索去中心化架构下的设备协作模式，通过智能合约实现设备间的自主协商与价值交换。

3) 可信增强：安全与隐私保护前沿探索

隐私计算技术应用：引入安全多方计算(MPC)与同态加密技术，实现在数据不可见条件下的多方联合分析。

AI 安全攻防体系：构建覆盖数据投毒、模型后门等新型威胁的检测与防御机制，提升系统对抗性环境下的鲁棒性。

参考文献

- [1] 顾佳樱, 夏振中. 基于 5G, AIOT, 数字孪生技术的新型智慧园区解决方案研究[J]. 中国新通信, 2023, 25(5): 31-33,40.
- [2] 张喆, 陈纯, 赵晓静. 基于数字孪生技术的零碳园区模拟与评估设计研究[C]//中国计算机用户协会网络应用分会 2024 年第二十八届网络新技术与应用年会论文集. 北京: 中国计算机用户协会网络应用分会, 2024: 99-102.
- [3] 张辉, 张博, 但扬溪, 王刚, 李翰夫, 朱晓庆. 基于物联网管理平台的云边端协同研究[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(2): 39-42.
- [4] 郑尤舟. 基于物联网的智慧园区信息平台设计[J]. 电子技术, 2023, 52(6): 58-60.
- [5] 林山驰, 蔡皇伯. 基于 AIoT 的智慧园区平台设计[J]. 智能建筑, 2022(10): 55-62.
- [6] 施建锋, 陈忻阳, 李宝龙. 面向物联网的云边端协同计算中任务卸载与资源分配算法研究[J]. 电子与信息学报, 2025, 47(2): 458-469.
- [7] 赵树成, 张建珂, 蒋雯, 等. 数字孪生园区场景下人员密度分析[J]. 中国科技信息, 2025(2): 94-96.
- [8] 吴正平. 基于智能物联网的智慧园区应用研究与实践[J]. 中国安防, 2024(3): 97-101.