



Information Science and Engineering Research

信息科学与工程研究

Volume 6 Issue 8 August 2025 ISSN 2737-4815(Print) 2737-4823(Online)



Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
Tel.: +65 65881289

E-mail: contact@nassg.org
Add.: 12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819



中文刊名：信息科学与工程研究

ISSN：2737-4815 （纸质） 2737-4823 （网络）

出版语言：华文

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/iser

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Information Science and Engineering Research

ISSN: 2737-4815 (Print) 2737-4823(Online)

Language: Chinese

URL: http://journals.nassg.org/index.php/iser

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《信息科学与工程研究》征稿函

期刊概况：

中文刊名：信息科学与工程研究

ISSN：2737－4815 (Print) 2737－4823(Online)

出版语言：华文刊

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/iser

出版社名称：新加坡南洋科学院

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名－非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819
Email: info@nassg.org
Tel: +65-65881289
Website: http://www.nassg.org



出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word
- 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符
- 测量单位：国际单位
- 论文出版格式：Adobe PDF
- 参考文献：温哥华体例

出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 中国知网（CNKI）、谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；
- 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；
- 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

评审过程：

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

信息科学与工程研究

Information Science and Engineering Research

主 编

陈惠芳

浙江大学，中国

编 委

彭照阳 Zhaoyang Peng

李 砚 Yan Li

朱朝阳 Chaoyang Zhu

房锐波 Ruibo Fang

张 力 Li Zhang

- 1 基于容器化监控系统构建实践
/ 朱烨
- 4 一种多通道北斗/GPS 射频前端模块设计
/ 刘相志
- 7 金融行业数据中心云环境下的网络安全防护体系构建研究
/ 庄夏唯
- 10 一体化电力模块在数据中心中的应用分析
/ 陈力
- 13 轨道信号产品多品种小批量流水化生产研究
/ 刘晨
- 16 关于智能化建筑的电气保护接地技术
/ 姚海峰
- 19 基于物联网技术的供水管网漏损定位矩阵算法的研究
/ 杨霞松
- 22 物联网环境下通信技术融合方案及智能园区构建研究
/ 刘海涛
- 25 现代信号处理技术课程混合教学模式改革
/ 张培玲 张延良
- 28 基于深度学习的高校计算机实验室资源智能调度算法设计
/ 侯沁哺
- 31 通信电源中的电池储能技术及其应用分析
/ 毕文波
- 34 基于物联网平台的智慧充电桩控制系统设计
/ 饶高钢
- 38 DCS 控制系统智能化升级路径与发展趋势
/ 易凤仙
- 41 铁路信号电源系统的 PLC-HMI 一体化监控平台智能化诊断与预测研究
/ 高培畅
- 44 面向智慧教育的课程知识图谱构建与应用——以《计算机系统结构》课程为例
/ 刘峻
- 47 基于计算机视觉技术的福祉养老智能辅助系统设计与研究
/ 侯刚
- 50 基于低功耗优化的异步数字电路设计方法研究
/ 刘明忠
- 53 互联网安全背景下云计算平台数据存储的等级保护与加固策略
/ 高志修 李佳蔚
- 56 AoIP 技术在无线发射台(站)智能监控系统中的应用
/ 王念东
- 59 新一代智能调度自动化机房设计方案
/ 马鸿娟 王瑞 顾艳莉 徐晶 郭家兴
- 62 多媒体数字信息技术在广电工程项目中的应用路径
/ 吴越
- 65 信创平台下数据脱敏与重识别风险防范机制
/ 陈兰波
- 68 人工智能下终身教育数字化平台的可持续发展路径
/ 魏勇钢
- 71 基于元启发式算法的全覆盖路径规划算法综述
/ 何佳濠 杨婷
- 75 数字孪生驱动的智慧城市智能化信息化规划体系构建与路径优化研究
/ 林鑫
- 78 基于全过程工程咨询模式的招标采购管理策略研究
/ 陆文劼 诸思彤
- 82 企业数字化转型中科技创新与信息管理的协同机制研究
/ 晋子洋
- 85 基于 MBSE 的电子电气架构开发与应用研究
/ 杨双义
- 88 基于 ESP32 的智能仓储腐败预警系统研究
/ 何鑫
- 92 以数据流图赋能数字化企业标准体系建设实践
/ 邓赞 付娟 肖咏阳 邹春花
- 96 高速公路收费系统无感支付技术优化与安全防护研究
/ 王俊会
- 99 一种新型二线制现场总线(BSKY 总线)的物理层设计与实现
/ 吕卫斌
- 102 数字孪生视角下智慧城市老旧小区更新的智慧化改造路径
/ 陈沙沙 罗峻豪
- 105 海上风电结构健康监测系统关键技术研究综述
/ 徐狄 陈大江 张强 范肖峰 苏纪贤
- 109 卫星互联网传输路径攻击及防御机制探讨
/ 熊雄
- 112 数字化转型背景下,职业院校数据治理建设的探究与实践——以北京市商业学校为例
/ 王秋燕 尚锋影

- 1 Research and Implementation of PXE Network Booting Technology Based on OpenEuler Operating System / Ye Zhu
- 4 Design of a multi-channel Beidou/GPS RF front-end module / Xiangzhi Liu
- 7 Research on Building a Cybersecurity Protection System for Data Center Cloud Environments in the Financial Industry / Xiawei Zhuang
- 10 Analysis on the application of integrated power module in data center / Li Chen
- 13 Research on Multi-Product Small-Batch Assembly Line Production for Railway Signal Products / Chen Liu
- 16 Electrical protection grounding technology for intelligent buildings / Haifeng Yao
- 19 Research on the Matrix Algorithm for Leakage Localization in Water Supply Pipe Networks Based on IoT Technology / Yang Xiason
- 22 Research on the Integration Scheme of Communication Technologies and the Construction of Smart Parks in the Internet of Things Environment / Haitao Liu
- 25 Reform and Practice of Blended Teaching Model in Modern Signal Processing Technology Course under Smart Teaching Environment / Peiling Zhang Yanliang Zhang
- 28 Design of intelligent resource scheduling algorithm for university computer laboratory based on deep learning / Qinbu Hou
- 31 Analysis of Battery Energy Storage Technology and Its Application in Communication Power Supplies / Wenbo Bi
- 34 Design of Urban Smart Charging Station Control System Based on IoT Platform / Gaogang Rao
- 38 Intelligent upgrading path and development trend of DCS control system / Fengxian Yi
- 41 Research on Intelligent Diagnosis and Prediction of PLC-HMI Integrated Monitoring Platform for Railway Signal Power Supply System / Peichang Gao
- 44 Construction and Application of Knowledge Graph for Smart Education—Taking Computer System Architecture as an example / Jun Liu
- 47 Design and research of intelligent assistance system for welfare and elderly care based on computer vision technology / Gang Hou
- 50 Application of refined management methods in R&D expense management of construction enterprises Research on asynchronous digital circuit design method based on low-power optimization / Mingzhong Liu
- 53 Level protection and reinforcement strategy of cloud computing platform data storage in the context of Internet security / Zhixiu Gao Jiawei Li
- 56 Application of AoIP technology in intelligent monitoring system of wireless transmitting station / Wangniandong
- 59 A new generation of intelligent dispatching automation computer room design scheme / Hongjuan Ma Rui Wang Yanli Gu Jing Xu Jiaying Guo
- 62 The application path of multimedia digital information technology in radio and television engineering projects / Yue Wu
- 65 Data desensitization and re-identification risk prevention mechanism under the information innovation platform / Lanbo Chen
- 68 Sustainable Development Pathway of Lifelong Education Digital Platform under Artificial Intelligence / Wei Yonggang
- 71 A Review of Full Coverage Path Planning Algorithms Based on Metaheuristic Algorithm / Jiahao He Ting Yang
- 75 Digital twin-driven research on the construction and path optimization of the intelligent information planning system for smart cities / Xin Lin
- 78 Research on Bidding and Procurement Management Strategies Based on the Whole Process Engineering Consulting Model / Wenjie Lu Sitong Zhu
- 82 Research on the Synergistic Mechanism of Technological Innovation and Information Management in the Digital

- Transformation of Enterprises
/ Ziyang Jin
- 85 Research and Development of Electronic and Electrical Architecture Based on MBSE
/ Shuangyi Yang
- 88 Research on Intelligent Warehouse Corruption Early Warning System Based on ESP32
/ Xin He
- 92 Empowering the practice of digital enterprise standard system construction with data flow diagram
/ Yun Deng Juan Fu Yongyang Xiao Chunhua Zou
- 96 Research on the optimization and security protection of non-inductive payment technology of highway toll collection system
/ Wang Junhui
- 99 The physical layer design and implementation of a new two-line fieldbus (BSKY bus)
/ Weibin Lv
- 102 The intelligent transformation path of old residential area renewal in smart city from the perspective of digital twin
/ Shasha Chen Junhao Luo
- 105 A Review of the Research on Key Technologies for Structural Health Monitoring Systems in Offshore Wind
/ Di Xu Dajiang Chen Qiang Zhang Xiaofeng Fan Jixian Su
- 109 Discussion on satellite Internet transmission path attack and defense mechanism
/ Xiong Xiong
- 112 Under the background of digital transformation, the exploration and practice of data governance construction in vocational colleges--taking Beijing Commercial School as an example
/ Qiuyan Wang Fengying Shang

Research and Implementation of PXE Network Booting Technology Based on OpenEuler Operating System

Ye Zhu

Yunnan Post and Telecommunications Engineering Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650233, China

Abstract

This study utilizes Docker containerization technology to develop an intelligent monitoring system integrating Zabbix and Grafana, exploring the construction path of modern operation and maintenance monitoring platforms. The research validates the value of containerization technology in enhancing system deployment efficiency, improving visualization capabilities, and optimizing resource utilization, achieving standardization and automation transformation of O&M processes. By deeply integrating traditional monitoring tools with containerization technology, a complete "data collection-analysis-processing-visualization" technical chain is established, providing a reference implementation framework for enterprises' digital transformation in O&M.

Keywords

Docker containerization; Zabbix; Grafana; Intelligent O&M; Automated O&M; Monitoring Visualization;

基于容器化监控系统构建实践

朱烨

云南邮电工程有限公司, 中国 · 云南 昆明 650233

摘 要

本研究基于Docker容器化技术, 构建了Zabbix与Grafana集成的智能监控系统, 探索了现代化运维监控平台的建设路径。研究验证了容器化技术在提升系统部署效率、增强可视化能力以及优化资源利用等方面的价值, 实现了运维流程的标准化和自动化转型。通过将传统监控工具与容器化技术深度融合, 构建了完整的"数据采集-分析处理-可视化展示"技术链条, 为企业的运维数字化转型提供了可参考的实施框架。

关键词

Docker容器化; Zabbix; Grafana; 智能运维; 自动化运维; 监控可视化

1 研究背景

在数字化转型浪潮下, 云计算、大数据、微服务等新兴技术得到了广泛应用, 与之相关的设备数量也在迅速增加, 其中存在大量的不同厂家的服务器设备、安全设备、网络设备, 不同设备对应的巡检命令也存在差异。传统依赖人工的对系统进行巡检的监控体系面临前所未有的挑战。随着信息系统复杂度飙升, 需要进行监控的指标从单一物理设备, 扩展到应用进程、虚拟化资源、服务组件等多维度层次。这对监控系统可监控类型、扩展性提出了更高的要求。在这种情况下, Zabbix作为目前较为主流的开源监控系统解决方案, 在监控领域得到了较为广泛的应用。在此背景下, 研究如何将传统监控工具与容器化技术深度融合, 实现监控系统的现代化转型, 具有重要的理论意义和实践价值。

【作者简介】朱烨(1997-), 男, 中国云南曲靖人, 本科, 从事信息通信工程技术研究。

2 研究现状

2.1 人力资源配置与运维效率问题

传统运维模式高度依赖人工操作, 运维人员需要远程登录管理界面对数以千计的设备, 执行指令检查当前设备状态, 来完成日常巡检和故障排查。这种人工密集型运维方式不仅需要投入大量专业技术人员, 还存在操作效率低下、人工疏漏风险等问题, 难以保证运维质量的稳定性和可靠性。

2.2 系统健康状态的可观测性缺陷

现有运维体系缺乏有效的预警机制和主动监测手段, 对系统健康状况的掌握往往具有滞后性。运维人员只能在故障发生后进行被动处置, 无法实现事前预警和事中快速响应, 这种"事后救火"式的运维模式严重制约了系统可靠性的提升。

2.3 异构环境下的管理碎片化

数据中心基础设施由多厂商、多类型设备构成, 各厂商设备采用不同的管理接口和工具, 形成了"烟囱式"的管理架构。运维人员需要同时操作多个独立的管理系统, 导致运维工作碎片化, 增加了管理复杂度和操作负担。

2.4 运维数据治理能力不足

传统监控系统缺乏完善的日志收集和分析机制，关键设备的运行状态、报错信息等历史数据未能有效留存，不仅影响故障诊断效率，也不利于进行系统性的事后分析和持续优化。

现有对于现有监控系统讨论较多的探讨的角度，在系统指标方面，主要考虑系统运行指标、日志记录两方面来进行监控体系的理论框架构建；在可扩展性方面，主要涉及兼容设备类型、是否支持二次开发和自定义模块；在设备监控难易程度，主要衡量是否能够使用模块化、批量化对设备进行管控；在数据可视化方面，监控数据的是否能够多维呈现也是关键因素，此外，出于维护成本考虑，还需要对监控系统是否开源进行筛选。目前市场上比较主流的监控软件，Zabbix 和 Prometheus 能够满足部分的条件，但是部署过程繁琐，存在一定技术壁垒，急需一个可移植、便携式、具备出色的数据可视化能力的监控手段。

3 Docker 容器化技术

3.1 容器化技术概述

在现代软件开发与自动化测试领域中，Docker 容器化技术通过提供一种轻量级、可移植的解决方案，使得软件应用可以在几乎无需修改的情况下在不同的环境中运行，从而优化了开发流程，极大增强了测试工作的效率与一致性。^[1]与传统的虚拟机技术相比，容器化技术具有更轻量、更快速、更便携的特点。Docker 利用 Linux 内核的 cgroups 和 namespace 等特性，实现了进程级的资源隔离，使得应用程序及其依赖可以被打包成一个标准化的单元，即容器镜像。

3.2 Docker 的核心优势

在应用交付领域，在保障 Docker 容器保障了环境的一致性的前提下，还具有实现快速启动的功能，通常可以在秒级完成部署和扩展，这对于需要弹性伸缩的监控系统尤为重要；容器镜像的版本控制机制使得系统升级和回滚变得更加可控和可靠。此外，容器化还支持微服务架构，可以将复杂的监控系统拆分为多个独立的服务单元，提高系统的可维护性。

3.3 容器化在监控平台中的使用

本方案采用 Docker 容器化技术对 Zabbix 和 Grafana 等核心组件进行封装部署。具体实现包括：为每个服务组件构建专用的 Docker 镜像，通过 Dockerfile 定义构建过程和环境配置；使用 Docker Compose 定义和管理多容器应用的服务编排；利用 Docker Volume 实现配置文件和监控数据的持久化存储；通过 Docker 网络实现容器间的安全通信。这种容器化的部署方式不仅简化了环境配置的复杂度，还提高了系统的可移植性和可扩展性。

容器化技术的引入为监控平台部署带来了显著变革：部署效率提升方面，新节点的部署时间从小时级缩短至分钟级；资源利用率方面，容器共享主机操作系统内核，较虚拟机节省了大量系统资源；系统可靠性方面，容器提供了进程隔离机制，避免了应用间的相互干扰；运维标准化方面，容器镜像成为交付的标准单元，实现了开发、测试、生产环境的一致性。这些优势使得容器化技术成为构建现代化智能运

维平台的理想选择。

4 Zabbix 容器化部署实践

运维监控系统的实现过程是，将基础平台和业务系统中所涉及的硬件资源信息、基础组件信息、应用软件信息等统一纳入运维监控平台，并进行指标的规范、收集及统一集中存储。以可用性指标为基础，逐步增加服务质量相关指标。实现系统运维监控的规范化和故障告警处理的智能化。^[2]

4.1 Zabbix 监控

4.1.1 系统架构概述

Zabbix 作为开源监控领域的代表性解决方案，采用分布式架构设计，具有良好的扩展性和灵活性。该系统基于客户端 - 服务器模型构建，核心组件包括管理端的 Zabbix Server 和被监控端的 Zabbix Agent。Zabbix Server 可以通过 SNMP、Zabbix agent、ping、IPMI 等方法对远程服务器和网络设备进行状态监控和数据采集。通过 B/S 模式在 Web 端进行信息呈现和系统配置。^[3]这种模块化架构设计使得系统可以根据监控规模进行横向扩展，同时支持通过 API 接口与第三方系统集成，为二次开发提供了便利条件。

4.1.2 数据采集机制

Zabbix 提供两种基本的数据采集模式：在主动模式下，Agent 端定期向 Server 推送监控数据，这种模式适用于需要实时性较高的监控场景；被动模式则由 Server 端主动发起数据请求，更适合网络环境受限的情况。本方案选择主动模式，主要考虑到其具有更好的实时性和网络适应性。除 Agent 采集方式外，系统还支持通过 SNMP、IPMI 等标准协议获取设备数据，实现对网络设备、服务器硬件等基础设施的全面监控。

4.1.3 数据处理流程

Zabbix 的数据处理流程遵循典型的监控系统架构：首先由各采集端获取原始监控数据，然后传输至 Server 端进行预处理和阈值分析。系统内置的告警引擎会对异常数据进行实时判断，触发相应的告警规则。所有监控数据最终持久化存储到后端数据库，为历史数据查询和分析提供支持。这种分层处理架构既保证了实时监控的响应速度，又确保了历史数据的完整性和可靠性。

4.1.4 跨平台支持能力

Zabbix 具有出色的跨平台兼容性，可以无缝监控 Linux、Windows 等主流操作系统环境。通过标准协议支持和丰富的插件机制，系统能够对接各类网络设备、安全设备以及中间件、数据库等应用系统。这种全方位的监控能力使其成为构建统一运维平台的理想选择，有效解决了异构环境下的监控碎片化问题。

4.2 Zabbix 容器编排架构设计

4.2.1 容器服务定义

本研究采用 Docker Compose 3.5 版本规范定义 Zabbix Server 服务。容器基于官方 zabbix/zabbix-server-mysql:centos-6.0-latest 镜像构建，通过 container_name 参数明确指定服务实例名称。为确保服务的高可用性，设置 restart 策略为

always, 使容器在异常退出时能够自动重启。服务暴露 10051 端口作为主要通信接口, 实现与 Zabbix Agent 等组件的监控数据传输。

4.2.2 存储卷配置

通过 volumes 配置实现了多层次的数据持久化方案: 首先, 将主机时区文件挂载至容器, 确保日志时间戳的准确性; 其次, 对关键目录进行细粒度挂载, 包括 alertscripts (告警脚本目录)、externalscripts (外部检查脚本目录) 等运维核心目录设置为只读模式, 保障配置安全性; 最后, 为 snmptraps 等需要频繁写入的目录配置读写 (rw) 权限, 并使用命名卷 snmptraps 实现数据持久化。这种分层存储设计既保证了配置文件的版本控制, 又满足了运行时的数据持久化需求。

4.2.3 资源限制与安全配置

在资源控制方面, 通过 deploy.resources 设置 CPU 和内存的使用限额和预留值, 确保服务的稳定运行。同时配置 ulimits 参数调整进程数和文件描述符限制, 提升服务在高负载情况下的稳定性。安全方面采用 env_file 引入外部环境变量文件, 并通过 secrets 机制管理 MySQL 等敏感信息的访问凭证, 避免密码硬编码带来的安全风险。

4.2.4 服务依赖与网络架构

服务启动顺序通过 depends_on 参数控制, 确保 MySQL 服务就绪后再启动 Zabbix Server。网络配置方面, 将服务接入 zbx_net_backend 和 zbx_net_frontend 两个自定义网络, 并设置多个网络别名 (如 zabbix-server、zabbix-server-mysql 等), 既实现了前后端流量的隔离, 又提供了灵活的服务发现机制。这种网络设计支持后续服务扩展时的无缝集成, 为构建分布式监控系统奠定了基础。

5 Grafana 容器化集成

5.1 Grafana 介绍

Grafana 是一种使用 Go 开源监控平台, 可以实时监控信息系统使用情况, 具有查看历史数据、数据分析等功能。其核心功能是将时间序列数据库 (TSDB) 中的监控数据转化为直观的可视化图表。该平台采用模块化架构设计, 主要由三大组件构成: 数据源模块支持包括 Zabbix、Prometheus 等在内的多种数据存储系统的接入; 仪表盘模块提供灵活的面板布局管理功能; 可视化面板模块则负责具体的数据呈现。这些组件的协同工作使得 Grafana 能够实现多维度的监控数据展示与分析。

在功能特性方面, Grafana 具备以下核心能力: 快速和灵活的客户端图形具有多种选项。面板插件为许多不同的方式可视化指标和日志^[4]; 智能告警系统能够在监控指标异常时触发多通道通知; 动态仪表盘功能通过模板变量实现监控视图的灵活配置; 此外, 平台还支持多数据源的混合展示以及基于注释的事件标记功能。这些特性共同构成了 Grafana 作为业界领先监控可视化解决方案的技术基础。

本研究中的 Grafana 通过容器化集成构建, 在便携安装和移植的同时与 Zabbix 数据源的深度集成, 平台实现了从底层硬件到上层应用的立体化监控体系, 为运维决策提供了全面的数据支撑。这种实现方式既保留了 Zabbix 在数据采集方

面的优势, 又充分发挥了 Grafana 在数据可视化领域的特长。

5.2 Zabbix 可视化功能局限性分析

Zabbix 原生可视化模块存在三个主要技术瓶颈: 首先, 在数据渲染效率方面, 其图表生成机制采用传统的服务端渲染方式, 导致响应延迟显著; 其次, 数据源适配能力有限, 仅支持单一监控系统的数据接入, 难以实现多源数据的关联分析; 最后, 告警管理功能相对基础, 缺乏灵活的可视化配置选项。这些架构层面的限制在混合云环境下的综合监控场景中表现得尤为明显。

5.3 Zabbix+Grafana 运维平台容器化部署方案设计与特点分析

本研究采用声明式部署方法实现 Grafana 的容器化集成。通过预置配置目录和标准化环境变量, 构建了可复用的部署模板。关键技术实现包括: 配置文件的持久化存储方案确保系统参数可维护性; 插件预装机制实现功能扩展; 基于容器网络的内部通信架构保障数据传输安全性。这种部署方式有效解决了传统安装模式的环境依赖问题, 大幅提升了部署效率。

Grafana 平台通过三大技术特性显著提升了监控可视化能力: 其多数据源融合架构支持同时接入 Zabbix 指标数据和日志系统的业务数据; 智能告警引擎实现了基于可视化阈值的动态告警规则生成; 丰富的模板库为不同业务场景提供了开箱即用的监控方案。性能测试表明, 该方案使数据查询效率得到显著提升。

6 结语

本研究基于 Docker 容器化技术构建了 Zabbix 与 Grafana 集成的智能监控系统, 探索了现代化运维监控平台的建设路径。在理论层面, 验证了容器化技术在提升系统部署效率、增强可视化能力以及优化资源利用等方面的价值。通过将传统监控工具与容器化技术深度融合, 实现了运维流程的标准化和自动化转型。在实践层面, 构建了完整的 "数据采集 - 分析处理 - 可视化展示" 技术链条, 为企业的运维数字化转型提供了可参考的实施框架。

7 未来展望

面向智能运维的发展趋势, 未来研究可从结合 Ansible 等自动化工具构建完整的 "监控 - 诊断 - 修复" 闭环体系, 实现从故障检测到自动修复的智能化运维流程; 对于告警内容、时间、频率等数据, 引入 AI 手段, 对信息系统中的故障进行预测和预防工作。

参考文献

- [1] 钟盈炯.基于Prometheus+Grafana实现新华全媒新闻服务平台统一运维监控[J].中国传媒科技,2023,(01):154-158.
- [2] 王曦璿.基于Docker容器化技术的软件工程自动化测试研究[J].网络安全和信息化,2025,(04):110-112.
- [3] 谷胜元.铁路信号模拟试验中采用计算机软件+采驱板替代模拟盘的研制[J].科技创新与应用,2020,(18):86-87.
- [4] 黄静,陈秋燕.基于Prometheus + Grafana实现企业园区信息化PaaS平台监控[J].数字通信世界,2020,(09):70-72.

Design of a multi-channel Beidou/GPS RF front-end module

Xiangzhi Liu

Nanjing Panda Handa Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

At present, Beidou/GPS navigation has become increasingly popular among the general public. With the continuous development of the national economy, Beidou/GPS applications will become more and more popular, and the RF front-end is an essential part of the Beidou/GPS system. Introduced the design of a multi-channel Beidou RF front-end module. Its main functions include receiving, amplifying, and filtering signals from multiple frequency points such as S, B3, B1/L1. It also has a 10W power amplifier amplification and automatic power amplifier activation function for the Beidou transmission L frequency point.

Keywords

Beidou/GPS Navigation; Low noise amplifier; Signal frequency selective filtering; Power amplifier PA

一种多通道北斗 /GPS 射频前端模块设计

刘相志

南京熊猫汉达科技有限公司, 中国 · 江苏 南京 210000

摘 要

目前北斗/GPS导航已经越来越平民化,随着国民经济水平进一步的不断发展,北斗/GPS应用会越来越普及,在北斗/GPS系统中射频前端是必不可少的一环。介绍了一种多通道北斗射频前端模块的设计。其主要功能包含有S、B3、B1/L1多个频点信号的接收、放大及滤波,同时还具备北斗发射L频点的10W功放放大及自动开启功放功能。

关键词

北斗/GPS导航; 低噪放信号放大; 信号选频滤波; 功放PA

1 引言

在北斗 /GPS 导航通信系统中,射频前端是对整体性能起到决定性的影响因素之一。良好的接收射频前端可以把需要的信号频率选择出来,有效地滤除非相干频率;同时也实现完美的小信号放大,拥有极小的噪声系数和高增益。而发射链路的功放主要实现把信号按指标要求放大。当接收与发射同时工作时主要的问题除了各自的技术外还需要重视收发干扰而影响的通道阻塞。该模块系统应用简单、集成度高、体积小、功耗低等特点。可以广泛地应用于各类北斗通信终端,包括车载型、手持型、数传型等^[1]。

2 总体技术方案

总体设计方案如图 1 所示。系统单元板集成了 S2c 接收 LNA 电路、上下变频芯片电路、5W 功放芯片电路、10MHz 时钟参考电路、数字基带处理电路、复位电路等。

2.1 接收低噪放 LNA 设计方案

由于低噪放 LNA 对增益的要求都需要达到 25dB 以上,

可以采用两级放大结构。第一级放大主要体现在低噪声系数,噪声系数小于 0.7dB;增益可以控制在 13dB。第二级主要采用高增益放大,增益可以控制在 15dB,噪声系数可以放宽到 1.5dB 以内。第一级的滤波器对信号选频起到关键作用,它可以把非相干频率信号过滤掉,降低通道信号阻塞的可能性;同时此滤波器对整体的接收性能有影响,需要插入损耗非常小,否则会增大整个接收 LNA 的噪声系数。根据噪声系数计算公式:

$$NF = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1 \times G_2} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \times G_2 \times G_3} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 \times G_2 \times G_3 \times \dots \times G_n} \quad (2-1)$$

上式可以看出,越是前级的元件的噪声系数性能对整个接收通道的性能影响越大;所以第一级的滤波器和第一级放大器的噪声系数性能是影响整个接收通道噪声系数的关键。第一级的滤波器一般为无源介质滤波器,其噪声系数直接由传输插损起决定性影响,故要求对应相关带宽的插损非常小,同时非相关带宽插损越大对带外抑制越好。接收低噪放 LNA 设计原理框图如图 2 所示。

【作者简介】刘相志(1991-),男,硕士,工程师,从事嵌入式系统、射频信号处理研究。

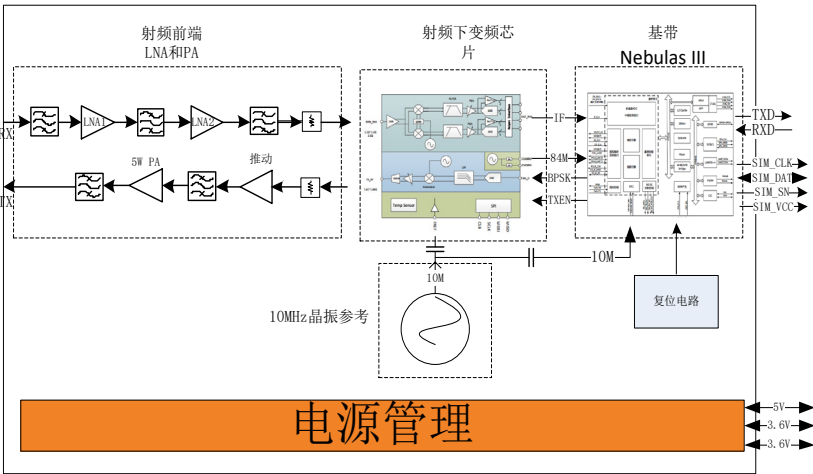


图 1 总体设计图

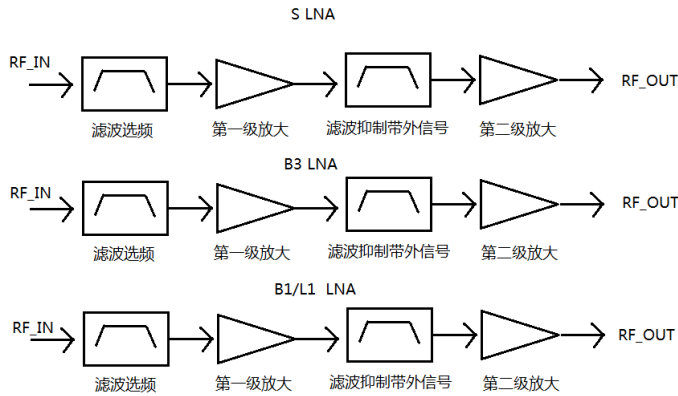


图 2 接收低噪声 LNA 设计原理框图

第一级低噪声放芯片为一款高性能 LNA 芯片，其工作频段为 2GHz~6GHz，噪声系数典型值为 0.56dB，增益为 18dB，输入 P1dB 为 0dBm，体积为 2.0mmmm×2.0mm×0.8mm，非常合适小型化设备使用。

第二级采用声表滤波器带内插损最大为 2.5dB。在有特殊要求应用场情中可以使用“FBAR”高抑制滤波器，但高抑制滤波器插损要比普通声表滤波器大约 1dB 并且成本

也要比普通声表滤波器贵。“FBAR”滤皮器对 4G 通信、WIFI 信号等靠近北斗 S2c 频点的相邻信号有非常好的抑制作用。

第二级低噪声放芯片工作频段为 5MHz~4GHz，在 2.5GHz 处的增益达到 25dB 噪声系数为 2dB，合适小型化设备使用。

第三级滤波器采用普通声表滤波器插损约在 2.5dB。

整个 LNA 仿真性能如图 3 所示。

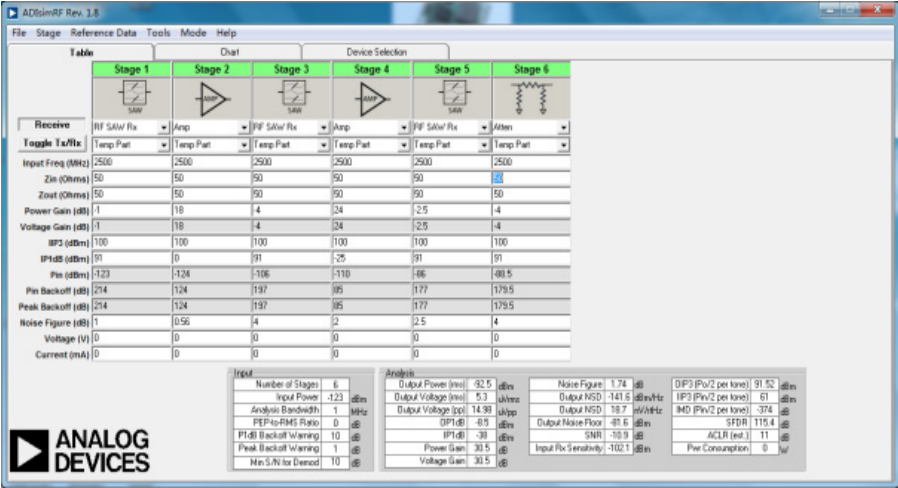


图 3 S2C LNA 性能仿真结果图

图3仿真结果表明,理论上NF为1.74dB,因为实际上板卡为邮票孔安装方式,邮票孔还会有一定的插损,经以往类似产品的实际测试,整个LNA的实际噪声系数可以控制在2.2dB以内。

2.2 5W PA 设计

发射前端采用5W PA功放发射方案,末级采用5W功放芯片,整个PA前端结构框如图4所示。

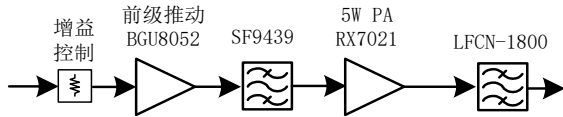


图4 5W PA 设计框图

射频芯片发射通道输出的小功率射频信号经增益衰减控制电路后进入前级推动,前级推动把小信号放大到末级功放所需的功率后再送给声表滤波器进行滤波,经声表滤波器后输出末级功放进行放大,经末级放大后的信号经低通滤波器最后输出给外部天线发射出去。末级滤波器采用LFCN-1800低通滤波器,其截止频率为1800MHz,带内插损最大为1dB, S21性能曲线图如图5所示。

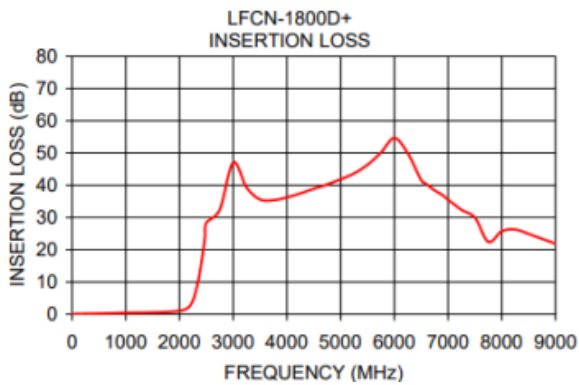


图5 LFCN-1800 低通滤波器性能曲线图

滤波器性能测试如图6所示。

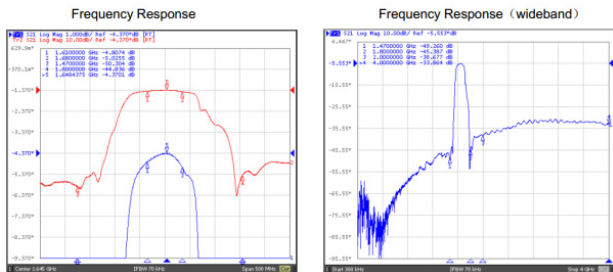


图6 发射声表滤波器性能图

前级推动输入P1dB为0dBm,增益为18dB,输出P1dB为18dBm,由于末级功放在5W输出时要求输入信号功率约为10dBm,上变频发射输出功率为0dBm,经衰减网络4dB,声表插损4dB,可以满足发射增益要求。

3 抗 WIFI 及抗 5G 通信分析

3.1 抗 WIFI 分析

目前WIFI有部分通信频段与S2c接收频段非常接近,存在影响S2c频点接收性能。在2.4GHz频段使用的WIFI频率范围为2.4GHz~2.472GHz,有13个信道(第14通道不用),每个信道带宽为20MHz,从而得知其最高频率为2472MHz+10MHz=2482MHz。而北斗RDSS的S2c接收频段为:2491.75MHz±8.16MHz。它们之间的频率非常接近,可以计算出其低频段的频点为:2491.75MHz-8.16MHz=2483.59MHz,而普通的滤波器带宽无法起到抑制作用。

从性能曲线图中可以看出在频率2480MHz处有约10dB的抑制,在2470MHz有49dB的抑制,所以对低信道的WIFI信号有良好的抑制作用。从FBF滤波器性能曲线图中可以看出此时抑制超过了30dB,所以对一般的WIFI具备一定的抗干扰特性。

3.2 抗 5G 通信分析

目前,5G通信的频率有部分已经和S2c接收频率重叠,在目前的射频技术下无法把5G信号滤除。

根据电磁波空间传播损耗公式:空间损耗(P_i)= $20 \times 1g(F) + 20 \times 1g(D) + 32.4$;其中F为频率,单位为MHz;D为传播距离,单位为Km。从中可以看出距离对信号的损耗影响非常大,距离越远损耗越大。假设移动基站的发射出来的信号功率为P1(包含天线增益,一般基站发射功放为20W,天线增益约为17dB),模块终端接收天线增益为G1(视具体终端天线而定,一般手持类产品增益法线增益在3~5dB左右)。当模块终端与移动基站100m时,模块终端接收到的信号大约为-15dBm,接近模块输入信号最大功率值;此范围以外模块终端较为安全。如果基站发射功率为43dBm+7dBm=50dBm时,模块终端只要在离基站天线30m以上距离较为安全^[4]。

4 结论

卫星导航系统在移动通信、智能交通、国家基础设施建设等领域应用越来越广泛。设计模块系统应用简单、集成度高、体积小、功耗低等特点;北斗导航接收射频前端有效地滤除非相干频率,同时也实现完美的小信号放大,拥有极小的噪声系数和高增益。

参考文献

- [1]陈强.北斗二号抗干扰接收机关键部件的设计与实现[D].西安:西安电子科技大学,2012.
- [2]肖磊.并行高速通信解调系统中同步技术的研究与实现[D].电子科技大学.2017.
- [3]虞玲.北斗二号导航信号软件模拟源的研究与实现[D].西安电子科技大学.2014.
- [4]朱启.北斗导航系统接收机中自动增益控制的设计与实现[D].西安电子科技大学,2011.

Research on Building a Cybersecurity Protection System for Data Center Cloud Environments in the Financial Industry

Xiawei Zhuang

People's Bank of China Clearing Center, Beijing, 100080, China

Abstract

With the widespread adoption of cloud computing technology in the financial sector, cybersecurity challenges in data center cloud environments have become increasingly prominent. This study systematically analyzes major security risks in cloud environments based on practical financial industry needs, proposing a comprehensive cybersecurity protection framework. The system comprises four core components: infrastructure security, data security, access control, and security management. Through multi-layered and multi-dimensional protective measures, it effectively addresses various security threats in cloud environments. Research demonstrates that this protection system significantly enhances the cybersecurity capabilities of financial industry data center cloud environments, providing reliable safeguards for financial institutions' digital transformation.

Keywords

Financial Industry; Data Center; Cloud Computing; Cybersecurity; Protection System

金融行业数据中心云环境下的网络安全防护体系构建研究

庄夏唯

中国人民银行清算总中心, 中国 · 北京 100080

摘要

随着云计算技术在金融行业的广泛应用, 数据中心云环境下的网络安全问题日益突出。本文从金融行业实际需求出发, 系统分析了云环境下面临的主要安全风险, 提出了一套完整的网络安全防护体系构建方案。该体系包含基础设施安全、数据安全、访问控制 and 安全管理四个核心组成部分, 通过多层次、多维度的防护措施, 有效应对云环境中的各类安全威胁。研究表明, 该防护体系能够显著提升金融行业数据中心云环境的安全防护能力, 为金融机构的数字化转型提供可靠保障。

关键词

金融行业; 数据中心; 云计算; 网络安全; 防护体系

1 引言

近年来, 金融行业数字化转型步伐不断加快, 云计算技术凭借其弹性扩展、成本优化等优势, 在金融行业得到广泛应用。据统计, 超过 80% 的金融机构已经或正在将业务系统迁移至云平台。然而, 云环境的开放性和共享特性也给金融数据安全带来了新的挑战。金融行业作为国民经济的重要支柱, 其数据中心的安全直接关系到金融稳定和社会经济安全。

传统的数据中心安全防护措施难以完全适应云环境的特点。云环境中的资源共享、动态调度等特性, 使得安全边界变得模糊, 传统的基于边界防护的安全模型面临严峻挑战。同时, 金融行业对数据安全、业务连续性等方面有着极高的要求, 这进一步加大了云环境安全防护的难度。

【作者简介】庄夏唯(1994-), 男, 中国江苏邳州人, 中级, 从事网络安全研究。

2 金融云环境面临的主要安全风险

2.1 基础设施安全风险

云环境的基础设施安全是整体安全的基础。在虚拟化环境下, 物理服务器的安全直接影响所有租户的安全。常见的风险包括虚拟化软件漏洞、资源隔离失效、虚拟机逃逸等。有些虚拟化平台曾曝出严重的漏洞, 攻击者可以利用这些漏洞突破虚拟机的隔离机制, 访问同一物理服务器上的其他虚拟机, 从而窃取敏感数据或破坏系统运行。

此外, 云平台的网络架构与传统网络存在显著差异, 软件定义网络虽然提供了灵活的配置能力, 但也带来了新的攻击面。SDN 控制器作为网络的核心管理节点, 一旦被攻击, 可能导致整个网络的控制权被窃取, 攻击者可以随意修改网络配置, 甚至发起大规模的网络攻击。

2.2 数据安全风险

数据是金融机构的核心资产, 云环境下的数据安全面临诸多挑战。首先, 数据在传输、存储和使用过程中都可能

面临泄露风险。例如，在数据传输过程中，如果未采用强加密协议，攻击者可能通过中间人攻击窃取敏感数据；在数据存储环节，如果加密措施不到位，存储设备丢失或被非法访问可能导致数据泄露^[1]。

多租户环境下数据隔离问题突出，云平台共享硬件资源，若数据隔离机制设计不当或云存储配置出错，不同租户数据可能被其他租户访问，造成泄露。同时，数据备份和恢复机制也影响数据安全，若备份数据未加密、策略不合理，或存储于未受保护的第三方云服务，就可能导致数据丢失、篡改，备份数据也有泄露风险。

2.3 身份认证与访问控制风险

云环境中的用户身份复杂多样，包括内部员工、合作伙伴、客户等，如何确保正确的用户以适当的方式访问特定资源是重要挑战。传统的基于 IP 的访问控制策略在动态变化的云环境中难以有效实施^[2]。例如，云环境中的虚拟机可能随时迁移，IP 地址也会随之变化，基于固定 IP 的访问控制策略将失效。

同时，权限管理不善可能导致权限滥用或特权提升等问题。员工如果被授予过高的权限，一旦其账户被攻击，攻击者可以利用这些权限进行非法操作。此外，特权账户的管理也是一个难点。特权账户通常拥有系统的最高权限，如果管理不善，可能导致系统被完全控制。

2.4 安全管理风险

云环境的安全管理面临诸多新问题。首先，责任共担模型使得安全责任划分变得复杂。在云计算环境中，安全责任通常由云服务提供商和金融机构共同承担，但具体的责任划分可能不明确，导致安全漏洞无法及时修复^[3]。

云服务快速弹性特性要求安全管理动态适配，云环境资源可随时增减，安全策略若不能及时调整，便会引发新安全漏洞。另外，多云或混合云环境下的统一安全管理也是难题，金融机构常同时采用多个云服务提供商服务，或公有云与私有云并用，怎样达成不同云环境间安全策略统一，成为亟待攻克的关键问题。

3 网络安全防护体系构建

3.1 基础设施安全防护

基础设施安全是整体防护体系的基础。在物理安全层面，需要确保云数据中心符合相关安全标准。数据中心应具备完善的物理访问控制措施，如门禁系统、视频监控等，防止未经授权的人员进入。同时，数据中心应具备冗余的电力、网络和冷却系统，确保在发生故障时能够快速恢复^[4]。

虚拟化安全上，要采用安全技术，定期更新虚拟化平台补丁，严格隔离资源，用硬件辅助虚拟化技术防虚拟机逃逸攻击，还需定期评估以修复漏洞。网络层面，部署新一代防火墙、入侵检测系统等设备，实施网络微分段，限制非必要访问。还可采用软件定义边界技术，将网络划分成多个安

全区域，限定特定流量通过，降低攻击风险。

3.2 数据安全防护

数据安全防护需贯穿全生命周期。数据传输时，采用强加密协议，如 TLS 1.3 加密传输，防中间人攻击，还要定期更新加密算法与密钥。数据存储要加密，用 AES-256 算法，配合硬件安全模块严格管理密钥，即便设备丢失或被非法访问，数据也难被窃取。数据使用中，运用数据脱敏技术，如替换数据库敏感字段，降低敏感信息泄露风险。此外，要建立完善的数据备份与灾难恢复机制，采用 3-2-1 备份策略，即 3 份副本、2 种介质、1 份异地存储，且定期开展灾难恢复演练，保障数据可用性与完整性，确保灾难时能快速恢复业务。

3.3 访问控制体系

建立完善访问控制体系是保障云安全的关键。采用多因素认证机制，融合密码、短信验证码、指纹识别等，增强身份验证安全性。实施基于角色的访问控制，遵循最小权限原则，为每个用户分配特定角色，赋予完成工作所需最低权限，降低权限滥用风险。对特权账户加强管理，建立严格审批和审计机制，实时监控操作、记录日志并定期审计。此外，建立持续身份验证机制，利用行为分析技术实时分析用户操作，发现异常立即要求重新验证，确保云环境安全。

3.4 安全管理体系

完善的安全管理体系是技术措施有效实施的保障。应建立专门的云安全管理组织，明确各岗位的安全职责。设立首席信息安全官 (CISO)，负责统筹整个机构的信息安全工作；设立安全运营中心 (SOC)，负责日常的安全监控和事件响应。

制定覆盖云服务全生命周期的安全管理制度和流程，包括风险评估、安全运维、应急响应等方面。在云服务采购阶段进行安全评估，确保云服务提供商的安全能力符合要求；在云服务使用阶段，定期进行安全检查和漏洞扫描，及时发现和修复安全漏洞^[6]。

同时，建立安全审计机制，定期检查安全措施的执行情况。聘请第三方安全审计机构，对云环境的安全状况进行全面评估，发现潜在的安全风险。

此外，还应加强安全意识培训，提升全员的安全防护能力。定期组织安全培训，提高员工的安全意识，防止因人为疏忽导致的安全事件。

4 实施建议与展望

4.1 分阶段实施策略

建议金融机构在构建数据中心云环境下的网络安全防护体系时，采用分阶段推进的实施路径，以契合金融行业对安全性、稳定性与合规性的高要求。第一阶段应聚焦基础设施安全与基础防护能力建设，重点部署虚拟化安全防护、网络隔离与边界防护机制，完成云平台底层架构的安全加固，

为后续防护体系搭建奠定基础；

第二阶段需围绕数据全生命周期安全与精细化访问控制展开，通过数据分类分级保护、加密传输存储、多因素认证等技术手段，构建覆盖数据采集、传输、存储、使用、共享及销毁的全链路防护网，同时建立最小化授权访问模型，防范数据泄露风险；

第三阶段则需构建涵盖安全策略管理、风险监测预警及应急响应机制的全面安全管理体系，通过制定统一的安全标准与操作规范，结合实时安全态势感知与自动化响应技术，形成“预防-检测-响应-恢复”的闭环管理能力。每个阶段均需设定可量化的目标与评估指标（如安全漏洞修复时效、访问控制覆盖率、风险事件处置效率等），确保各阶段防护措施有效落地，最终形成层次化、协同化的云环境网络安全防护体系，为金融行业数字化转型提供持续可靠的安全支撑。

4.2 技术与管理并重

云环境的安全防护需要技术和管理的有机结合。从技术层面来看，要综合运用多种先进的安全技术手段。比如在基础设施安全方面，采用虚拟化安全防护技术，防止虚拟机逃逸等安全风险；在数据安全领域，运用加密算法对敏感数据进行加密处理，保障数据的保密性和完整性；访问控制上，实施多因素认证和细粒度授权策略，严格限制用户对资源的访问权限。

而管理制度则是保障技术措施有效执行的关键。需制定完善的安全策略和操作规范，明确人员在网络安全中的职责和权限。同时，建立严格的监督和审计机制，对技术措施的执行情况进行定期检查和评估。

只有技术与管理制度相辅相成，才能构建起一个全方位、多层次的网络安全防护体系，有效应对金融行业数据中心云环境下的各种安全威胁，为金融机构的稳定运营和数字化转型提供坚实保障。

4.3 持续改进机制

在金融行业数据中心云环境下，网络安全威胁正呈现出动态演变、复杂多样的特征，这对防护体系的适应性和前瞻性提出了更高要求。为确保防护体系的有效性和先进性，建议金融机构建立三维度持续优化机制：首先，构建常态化的风险评估框架，采用定性与定量相结合的评估方法，每季度对防护体系进行全面体检，重点关注新型攻击手段的防御能力；其次，设立专门的技术跟踪团队，密切关注零信任架构、机密计算等新兴安全技术的发展趋势，定期将经过验证的最佳实践纳入防护体系^[5]；最后，建立安全事件智能分析平台，通过机器学习技术对历史安全事件进行归因分析，形

成可复用的防御策略知识库。特别需要强调的是，这种持续优化机制应当与金融行业的监管要求保持同步演进，确保技术措施与管理规范的有机统一。

4.4 未来发展趋势

在金融云安全领域，技术发展正推动着防护体系的深刻变革。未来金融云安全将呈现四大显著趋势：其一，人工智能技术将深度融入安全防护，通过机器学习算法实现威胁的智能识别与实时响应，大幅提升检测效率；其二，零信任架构将成为主流安全范式，打破传统边界防护思维，实现“永不信任，持续验证”的安全模式；其三，安全运营自动化水平将持续提升，实现安全事件的自动响应与处置；其四，监管合规要求将日趋严格，特别是针对数据跨境流动和隐私保护的规定将更加细化。面对这些趋势，金融机构应当未雨绸缪，一方面加强AI安全、零信任等前沿技术的研究与应用，另一方面注重培养复合型安全人才，为数字化转型筑牢安全根基。

5 结论

本文针对金融行业数据中心云环境的特点，构建了一套完整的网络安全防护体系。该体系从基础设施安全、数据安全、访问控制 and 安全管理四个维度出发，通过多层次、多维度的防护措施，有效应对云环境中的各类安全威胁。研究表明，该防护体系能够显著提升金融行业数据中心云环境的安全防护能力，为金融机构的数字化转型提供可靠保障。

金融云安全是一个持续演进的过程，需要金融机构、云服务提供商和安全厂商的共同努力。建议金融机构根据自身实际情况，参考本文提出的防护体系框架，制定适合自身的安全建设方案。同时，应保持对新技术、新威胁的关注，持续优化安全防护措施，确保金融业务在云环境下的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 高奇幻,冯梓洋,张春晖.网络安全运营体系在金融业的应用研究[J].金融科技时代,2024,32(09):16-20+24.
- [2] 陈妍,常媛媛,周家晶,等.网络安全态势感知标准在金融行业云场景下的应用实践[J].信息技术与标准化,2024,(S1):56-60+66.
- [3] 乔梦梦,李彦彪,王嘉源.数字化转型背景下金融数据安全面临的风险及对策建议[J].金融科技时代,2023,31(12):76-80.
- [4] 袁靖,詹丹丹.加强金融行业关键信息基础设施安全保护,有效防范网络安全风险[J].中国信息安全,2023,(09):58-61.
- [5] 刘晨亮,卢宏旺,吴斌.零信任安全防护体系落地实践[J].中国金融电脑,2022,(07):63-66.
- [6] 熊建宇.网络金融的特点及安全体系构建[J].科技信息,2010,(31):799-800.

Analysis on the application of integrated power module in data center

Li Chen

Work unit: Shanghai Branch of China Telecom Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

Abstract

With the expansion of data centers and increasing energy efficiency requirements, traditional power distribution systems face challenges including complex designs, low efficiency, and operational complexities. This paper examines the application of integrated power modules (such as prefabricated AC power supply modules and APT2.0 prefabricated power modules) in data centers. By analyzing differences between conventional systems and integrated modules in architecture, efficiency, space utilization, and operational costs, it demonstrates the significant advantages of integrated modules in enhancing energy efficiency, reducing operational expenses, and accelerating deployment. Results indicate that integrated power modules effectively address pain points in traditional systems while optimizing overall operational efficiency and reliability. The study concludes that integrated power modules represent a critical development direction for future data center power distribution systems.

Keywords

integrated power module; data center; power supply and distribution system; energy efficiency improvement

一体化电力模块在数据中心中的应用分析

陈力

中国电信股份有限公司上海分公司，中国·上海 200120

摘 要

随着数据中心规模扩大以及能效要求的提高，传统供配电系统遇到设计繁杂、效能低下、运维棘手等一系列问题。本文聚焦于剖析一体化电力模块（如预制式交流供电模组与APT2.0预制式电力模组）在数据中心中的应用情况，通过分析传统系统与一体化模块在架构、效率、空间利用水平及运维成本上的差异，阐释一体化模块在提升数据中心能效、降低运营成本、加快部署速度上的显著优越性。结果表明，一体化电力模块能切实解决传统系统存在的痛点，优化数据中心整体运行的效率与提升可靠性。本文认为一体化电力模块是数据中心供配电系统未来的关键发展走向。

关键词

一体化电力模块；数据中心；供配电系统；能效提升

1 引言

伴随云计算、大数据、人工智能等技术的迅猛进步，数据中心作为对信息处理及存储起关键作用的设施，其建设规模急剧扩大，数量呈爆发式增长。但是，传统数据中心供配电系统存在设计错综、能效低下还有运维的问题，对数据中心朝着高效能、高可靠性及快速部署方向的革新造成阻碍。处于这一背景下，一种革新性的供配电方案——一体化电力模块应运而生，其采用高度集成与预制化的设计思路，把包括变压器、低压配电柜、UPS 输入输出柜等在内的核心组件归整到一个预制模块中，实现供配电架构的优化精简，推动部署速度上扬。按照集成程度与应用场景呈现的区别，一体化电力模块衍生出如预制式交流供电模组、APT2.0 预

制式电力模组类的多种类别，体现出数据中心针对高效稳定供配电解决手段的持续探索，已经成为数据中心供配电系统发展的主流走向。

2 一体化电力模块在数据中心中的应用优势

2.1 精简架构，提升空间利用率

一体化电力模块将供配电系统关键组件，像变压器、低压配电柜、UPS 输入输出柜等，高度集成到一个预制模块当中，打破传统供配电系统组件分散布局旧模式。此集成化设计极大降低了设备占地规模，实现数据中心内部空间利用的高效化，面对数据中心场地资源有限局面，可给服务器等核心设备预留出更充裕的空间，便于后续对设备展开扩容及升级活动，满足数据中心业务持续拓展对空间的渴求，提升数据中心整体空间的价值及运用效率。

2.2 高效供电，降低能源损耗

一体化电力模块采用前沿电力电子技术以及优化的电

【作者简介】陈力（1986-），男，中国上海人，本科，工程师，从事通信工程领域研究。

路设计方案,切实增强了电能转换成效。在实施供电流程里,使电能在不同设备传输及转换时的能量损耗降低,对无功功率损失予以降低,该智能监控与调节系统能按照数据中心实际的负载情形,即时调节供电参数,保证电力供应始终高效输送,再进一步增进能源利用成效,大幅削减数据中心电力开支,符合绿色数据中心搭建理念。

2.3 快速部署,缩短建设周期

基于一体化电力模块采用预制化的设计理念,所有组件在工厂里已经完成组装、调试及测试,现场只需做简易的安装及连接操作便可投入运转^[1]。跟传统供配电系统麻烦的现场施工、设备调试操作相比,大幅度缩短了数据中心搭建的时长,快速部署能力助力数据中心更快步入运营阶段,占得市场先机,使投资收益回报比例上扬,尤其适合时间紧迫程度高的紧急项目与业务快速膨胀情形。

2.4 智能运维,降低运维成本

一体化电力模块集成的智能运维系统,有着高效的实时监控与预警本质,此系统可针对模块内各关键组件的运行参数与状态信息,实施全面且不间断的监测,可及时发现潜在的故障迹象并快速发出预警信号。和传统模式的供配电系统相比,其降低了人工巡检的次数与操作难度,降低了对运维人员专业技能的过度依存,利用智能分析赋予的能力,可精确找出故障所在点,减少维修时长,切实杜绝故障扩大造成的损害,进而有力降低数据中心的运维成本,加大运维效率与可靠系数。

3 一体化电力模块在数据中心中的应用问题

3.1 标准不统一与集成适配性挑战

现阶段预制化电力模块未形成统一国家标准,仅以团体标准《数据中心电力模块预制化技术规范》作为参考,引发各厂商在设备配置、接口协议、测试标准等方面呈现出差异。例如,部分厂商在进行2.5MVA容量配置时,采用4000A或者5000A的断路器,其他厂商说不定会选用别样规格;UPS输出柜配置、总进线柜与母联柜合并设计等关键之处均无强制约束,标准碎片化的情形,让不同厂商设备彼此间兼容性风险大幅攀升,用户在集成环节需额外投入资源开展适配性验证,说不定会因设备不相符而引发系统故障^[2]。

3.2 高密度部署下的散热与结构稳定性风险

一体化电力模块凭借高度集成设计,把变压器、低压配电柜、UPS等设备紧凑安置,然而实现了空间节省,但高功率密度(以单柜功率12-15kW来说)对散热系统提出了苛刻的要求,要是采用传统风冷模式,或因气流分布不均引发局部高温点,减少设备实际寿命;倘若采用液冷技术的话,要搞定管道密封性、维护便捷性这类难题,高密度部署增加了对机柜结构强度的要求,要戒备振动、沉降等因素引发的设备移位以及连接松动问题。

3.3 初期投资成本与长期收益的平衡难题

即便一体化电力模块在全生命周期成本(TCO)上呈现出优势,但该一体化电力模块初期采购成本依然高于传统分散式供配电系统。以2000kW数据中心为例,采用一体化方案大约能节省300㎡配电房面积,可初期设备采购所产生的费用可能增加350万元,针对预算存在局限的中小规模数据中心,必须权衡空间释放带来的潜在获利(如机柜租赁收益)与前期资本开支压力,有部分项目会因投资回报的周期太过漫长,而舍弃采用。

3.4 运维人员技能转型与知识更新滞后

一体化电力模块聚合了智能监控、AI预测性维护等功能,需运维人员从常规“被动反馈”模式转变到“主动预防”模式。但是,数据中心运维团队普遍在对集中化监控系统、传感器网络以及数据分析工具的熟练应用上存在能力短板。例如,华为FusionPower6000电力模块可实现故障点的快速定位,若运维人员不具备解读电气单线图、温升模型等数据的能力,实现高效运维仍存在阻碍。

4 一体化电力模块在数据中心中的应用策略

4.1 建立标准化协同机制,破解集成适配难题

在数据中心应用一体化电力模块,集成适配方面的难题迫切需要攻克。为合理应对,应推动行业联盟扮演关键角色,制订统一又全面的技术规章,此规范需精准划定设备接口规格参数,实现不同厂商设备物理连接无缝畅通;确定通信协议的标准范畴,保证数据传输精确性及稳定性,实现各设备高效且顺畅地信息交互;将测试方法进行规范,令评估设备性能与兼容性的准则达成一致。例如,要求厂商在电力模块预先设置标准化对接接口,实现与各品牌UPS、配电柜的顺畅连接;规定采用SNMP协议以达成兼容,实现监控系统的全面兼容,构建第三方认证体系显得尤为关键。对于符合标准的设备,赋予其权威认证标志,为用户开展选型工作提供可靠的依据支撑,减少选型的潜在风险,就已落成项目而言,可凭借“模块化升级包”之力,按阶段逐步地把传统配电柜转变为预制化单元,实现安定升级与契合。

4.2 优化热管理设计,保障高密度运行稳定性

数据中心一体化电力模块实施高密度分布时,散热状况直接关乎运行的稳定性,应采取针对性措施优化热管理设计。一方面,选用“冷热通道隔离与行级空调”结合的制冷混合方案,封闭冷通道可显著降低冷量散失,阻止冷热气流相混合,增进制冷功效,行级空调能贴近机柜作布置,做到精准的空气配送,直接把冷量传递至设备进风口。例如,在先控电气某大型数据中心项目中,当完成20kW/柜行级空调的部署后,PUE从1.8急剧降低到1.3,极大缩减能源消耗规模。另一方面,就单机柜功率大于20kW的高密集区域而言,可优先推进液冷方案的试点实施,选取“冷板式液冷辅以风冷”的混合样式,冷板与发热元件直接贴合,迅速抽

走热量,风冷协同处理剩下热量,兼顾散热效率及维护成本。除此之外,在数据中心大量部署 150 余个温度传感器,构建起温度上升的模型,该模型能实时探查各区域温度的变化情形,精确预估热点的实际位置,依照预测成果实时调整风量大小,让一体化电力模块一直处于恰当温度范围,维持高密度运转时的稳定性及可靠性。

4.3 构建全生命周期成本模型,量化投资回报

在数据中心采用一体化电力模块的时候,可去开发“数据中心投资速评”工具,用户仅需输入如项目容量、功率密度、UPS 架构这类关键参数,工具会自动制作出涵盖资本性支出(CAPEX)及运营性支出(OPEX)的对比报告。以中电电气的工具方面举例,就 2000kW 数据中心项目而言,一体化方案虽令初期采购成本增添 350 万元,但借助腾出 300 m³空间开展机柜配置,每年可创造出 837 万元的租赁收入款项,1.5 年便可完成投资回收。采用“电力损耗模拟器”,量化分析一体化电力模块全链路效率提升所实现的电费节省,就像华为 FusionPower6000 在 2.5MVA 系统取得 97.8% 的链路效率值,跟传统方案对比,每年节省的电费为 200 万元,直观彰显一体化方案的经济利好。

4.4 打造智能化运维平台,推动人员技能升级

实施集中化监测架构,整合电力模块内诸如变压器、UPS、配电柜等设备的运转数据,采用 3D 可视化界面呈现电气链路运行状态。例如,华为 ECC 控制器可实时显现母线电容寿命、断路器健康度等核心数据,若剩余寿命降至阈值以下,触发告警。搭建“AI 运维辅助载体”,凭借机器学习对历史故障数据做分析,自行产出维护提案。就运维团队而言,实施“理论与实操结合”培训,关键提升智能监控系统、传感器网络、数据分析工具方面的应用本领,且借助模拟故障情形开展压力测试。

5 案例分析:一体化电力模块在数据中心的成功应用

5.1 浙江联通云基地项目

浙江联通云基地定义为 A 级标准云基地,就供配电系统这方面,对能效、可靠性以及建设的周期时长,设定了苛刻的标准^[1]。传统供配电方案不易同时满足此类要求,基于这一情形,项目采用 APT2.0 预制式电力模组解决途径。该方案借其高度预制化的相关特性,在工厂中完成所有关键组件集成与调试,现场仅需实施简易安装连接的相关事宜,极大减少了建设所耗周期,助力项目快速实现供配电系统建

设及调试,切实推动云基地快速建成并开启运营。运行工作推进阶段,APT2.0 模块透露着高效供电的显著长处。依靠优化电力输送途径与缩减能量损耗流程,大幅削减了能源开支,其内置的智能运维系统达成供配电设备实时的监测与故障预先告警,运维人员可预先介入处置,降低了非预期停机时间,减少了运维花销,全面强化云基地整体运行的效率与可靠程度。

5.2 天津朝亚数据中心项目

天津朝亚数据中心按照 A 级数据中心建设的相关标准打造。就供配电系统而言,关键要考量的是冗余备份能力与快速建设速度,传统供配电模式在达成这两点目标上显现出较大局限,APT2.0 预制式电力模组解决方案堪称理想的抉择。在项目实施阶段,APT2.0 模块借助其预制化长处,把诸多关键组件集于一处,极大减少了现场施工的工作量与安装调试的时间,实现供配电系统的敏捷式部署,为数据中心提早投入运营赢得了宝贵时机。从运行保障这一维度,APT2.0 模块呈现出系统整机冗余备份的特质,倘若供配电系统出现单一故障,冗余部分可迅速实现无停顿切换,维持数据中心业务连贯稳定开展,切实杜绝供电中断引发的数据丢失及业务中断隐患,极大提高了数据中心的整体可靠水平,为天津朝亚数据中心高质量运营筑牢根基。

6 结语

综上所述,数据中心采用一体化电力模块具有显著优越性,包含架构的简化改进、空间利用率的提高改善、高效供电的实现、能源损耗的有效降低、快速部署的达成及智能运维的开展等。但在应用过程当中,也会面临集成度上升导致的兼容性困境、初始投资花费较高及运维人员技能要求变动等挑战。未来,伴随技术持续进步与标准渐趋完备,一体化电力模块于数据中心供配电系统的作用将愈发关键,驱动数据中心往高效、可靠、绿色的路径发展,数据中心需积极发掘一体化电力模块创新应用的模式路径,促进与厂商、金融企业及教育机构的联合协作,一起促进数据中心供配电系统升级优化与永续发展。

参考文献

- [1] 胡晓.电力模块技术融合至贵州某数据中心配电系统的应用分析[J].建筑电气,2025,44(01):56-60.
- [2] 解广州.数据中心智能融合电力模块技术探析[J].电力设备管理,2024,(18):211-213.
- [3] 郑匡庆,张恒新,吕飞扬,等.金融业大型数据中心预制化电力模块应用研究[J].中国金融电脑,2024,(05):66-69.

Research on Multi-Product Small-Batch Assembly Line Production for Railway Signal Products

Chen Liu

Beijing Railway Signal Co., Ltd., Beijing, 100037, China

Abstract

In the railway signal product sector, rapidly evolving market demands and the need for mass customization pose significant challenges to enterprises' responsiveness and cost control capabilities. To address these issues, this study proposes a tripartite development framework of "process standardization, equipment intelligence, and lean management" from a full value chain optimization perspective. By establishing core principles such as data-driven production line design and modular layout with flexible space reservation, this research explores the construction ideas for track signal board-level assembly line production systems. The aim is to help enterprises effectively respond to market changes, achieve efficient production, ensure consistent product quality, reduce production costs, thereby better meet market demands and enhance competitiveness within the industry.

Keywords

Railway signal products; multi-product small-batch; board-level assembly line; full value chain optimization

轨道信号产品多品种小批量流水化生产研究

刘晨

北京铁路信号有限公司，中国·北京 100037

摘 要

在轨道铁路信号产品领域，快速变化的市场需求和大量定制产品对企业的响应能力与成本控制提出了严峻挑战。为解决这一问题，本研究从全价值链优化的视角出发，提出构建“工艺标准化、设备智能化、管理精益化”三位一体的发展框架。通过确立以数据流驱动产线设计、模块化布局预留柔性空间等核心原则，深入探讨轨道信号产品板卡流水化生产线的建设思路，旨在帮助企业有效应对市场变化，实现高效生产，保证产品质量的一致性、降低生产成本，从而更好地满足市场需求，增强自身在行业内的竞争力。

关键词

轨道信号产品；多品种小批量；板卡流水化生产线；全价值链优化

1 引言

轨道铁路信号产品作为保障铁路安全、高效运行的关键设备，其市场需求呈现出节奏快、定制产品多的特点。企业若要在这样的市场环境中立足，必须能够及时响应客户需求，同时降低运营成本。传统的生产模式在面对多品种小批量的生产任务时，往往暴露出生产效率低下、生产成本低、质量控制难度大等诸多问题。因此，建设适应轨道信号产品特点的板卡流水化生产线具有重要的现实意义。通过构建高效的产线，企业能够提高生产效率，提升综合竞争力。

2 轨道信号产品生产现状分析

2.1 产品特性带来的生产挑战

轨道信号产品种类繁多，涵盖信号控制板卡、通信接

口板卡等多种类型，不同产品在功能、性能要求上差异显著。这使得企业在生产过程中需要频繁切换生产工艺和设备参数，导致生产准备时间大幅增加。同时，小批量的生产模式难以实现规模经济，无法有效分摊固定成本，进一步提高了生产成本。例如，生产不同规格的信号控制板卡，其电路设计、元器件选型以及焊接工艺等都可能存在较大差异，企业需要投入更多的人力和时间进行工艺调整和设备调试。

2.2 传统生产模式的局限性

传统的生产模式多采用离散式生产方式，各生产环节相对独立，缺乏有效的协同与衔接。这不仅导致生产效率低下，而且容易出现信息传递不畅、生产计划执行偏差等问题。在生产过程中，由于缺乏实时的信息共享，各工序之间难以准确把握生产进度，容易造成在制品积压或短缺，影响整个生产流程的顺畅进行。此外，传统生产模式对人工经验的依赖程度较高，产品质量的稳定性难以得到有效保障。不同操作人员的技能水平和工作习惯存在差异，可能导致同一产品

【作者简介】刘晨（1991-），男，回族，中国宁夏银川人，本科，工程师，从事铁路信号研究。

在不同批次生产中的质量出现波动。

3 轨道信号产品板卡流水化生产线建设的核心原则

3.1 以数据流驱动产线设计

在轨道信号产品板卡流水化生产线的建设中,数据流是实现高效生产的关键。从产品设计阶段开始,就应确保产品信息能够以数字化的形式准确传递到生产的各个环节。产品的设计图纸、工艺文件、物料清单等都应转化为可被生产设备和管理系统识别和处理的数据。在生产过程中,通过建立完善的信息管理系统,实现生产数据的实时采集、传输和分析。生产设备的运行状态、产品的加工进度、质量检测数据等都应及时反馈到管理系统中,以便管理人员能够根据这些数据及时调整生产计划和工艺参数。以数据流驱动产线设计,能够实现生产过程的精准控制,提高生产效率和产品质量。

3.2 模块化布局预留柔性空间

考虑到轨道信号产品多品种小批量的特点,生产线应采用模块化布局。将生产线划分为多个功能相对独立的模块,如元器件贴装模块、焊接模块、检测模块等。每个模块可以根据产品的不同需求进行灵活配置和组合。当生产不同类型的板卡时,只需对相应的模块进行调整或更换,而无需对整个生产线进行大规模改造。这种模块化布局方式不仅能够提高生产线的灵活性和适应性,还便于设备的维护和升级。为了应对未来市场需求的变化,生产线在布局时应预留一定的柔性空间。可以预留一些备用的设备安装位置和物流通道,以便在需要时能够快速增加新的生产模块或调整生产布局。

3.3 工艺标准化与持续优化相结合

工艺标准化是保证产品质量一致性和提高生产效率的基础。在生产线建设过程中,应制定统一的工艺标准和操作规程,对每个生产环节的工艺参数、操作流程等进行明确规定。在元器件贴装环节,规定贴装的位置精度、压力等参数;在焊接环节,明确焊接温度、时间等工艺要求。通过严格执行工艺标准,能够减少因人为因素导致的质量问题,提高产品的合格率。同时,企业应建立工艺持续优化的机制。随着技术的不断进步和生产经验的积累,及时对工艺标准进行修订和完善。通过对生产过程中的数据进行分析,找出工艺中存在的不足之处,采取针对性的改进措施,不断提高生产工艺的水平。

4 “三位一体”发展框架构建

4.1 工艺标准化

4.1.1 工艺流程梳理与优化

对轨道信号产品板卡的生产工艺流程进行全面梳理,从原材料采购、元器件检验、板卡组装、焊接、检测到成品包装,逐一分析每个环节的操作流程和工艺要求。通过流程

梳理,找出其中存在的冗余环节和不合理的操作步骤,并进行优化。在传统的生产流程中,元器件检验环节可能存在重复检验的情况,通过优化可以将检验流程进行整合,减少不必要的时间和资源浪费。对工艺流程进行优化还可以提高生产的连续性和流畅性,减少在制品的积压。

4.1.2 工艺参数确定与固化

在工艺流程优化的基础上,确定每个生产环节的最佳工艺参数。这些参数包括但不限于温度、压力、时间、速度等。通过大量的实验和生产实践,结合产品的质量要求和设备的性能特点,确定出最适合的工艺参数值。在焊接环节,通过实验确定不同类型元器件的最佳焊接温度和时间,以保证焊接质量。一旦确定了工艺参数,就应将其固化下来,形成标准化的工艺文件。生产人员必须严格按照工艺文件中的参数要求进行操作,确保产品质量的一致性。

4.1.3 工艺文件编制与管理

编制详细、规范的工艺文件是工艺标准化的重要环节。工艺文件应包括产品的工艺流程图、操作指导书、质量控制标准等内容。工艺流程图应清晰地展示生产过程的各个环节及其先后顺序;操作指导书应详细描述每个操作步骤的具体要求和注意事项;质量控制标准应明确规定产品在各个生产环节的质量检验指标和方法。对工艺文件进行有效的管理,建立完善的文件管理制度。工艺文件应进行编号、归档,便于查询和更新。当工艺参数或生产流程发生变化时,应及时对工艺文件进行修订,并确保生产人员能够及时获取最新的工艺文件。

4.2 设备智能化

4.2.1 智能化设备选型与配置

根据轨道信号产品板卡的生产工艺需求,选择合适的智能化设备。在元器件贴装环节,应选择具有高精度、高速度和自动识别功能的贴装机;在焊接环节,可选用智能化的回流焊炉和波峰焊设备,具备温度精确控制和实时监测功能。在设备选型过程中,要综合考虑设备的性能、价格、可靠性、维护便利性等因素。除了选择单个的智能化设备外,还应注重设备之间的配置和协同工作能力。确保贴装机、焊接设备、检测设备 etc 能够在生产流程中无缝衔接,实现高效的生产作业。

4.2.2 设备自动化升级改造

对于企业现有的生产设备,应根据智能化生产的要求进行自动化升级改造。对于一些传统的手动操作设备,可以通过加装传感器、控制器等装置,实现设备的自动化控制。对一些简单的手动焊接设备,可以进行改造,使其能够实现自动送锡、自动调节焊接温度等功能。通过设备自动化升级改造,不仅可以提高设备的生产效率和精度,还能够减少人工操作带来的误差和劳动强度。同时,升级改造后的设备能够更好地与新购置的智能化设备进行集成,实现整个生产线的智能化运行。

4.2.3 设备智能监控与维护系统建设

建立设备智能监控与维护系统是实现设备智能化管理的重要手段。该系统通过在设备上安装各种传感器,实时采集设备的运行状态数据,如温度、压力、振动、电流等。通过对这些数据的分析和处理,能够及时发现设备的潜在故障和异常情况,并进行预警。系统还应具备设备维护管理功能,能够根据设备的运行时间、维护周期等信息,自动生成维护计划,并提醒维护人员进行设备维护。通过设备智能监控与维护系统的建设,能够提高设备的可靠性和使用寿命,减少设备停机时间,保障生产线的正常运行。

4.3 管理精益化

4.3.1 生产计划与排程优化

采用先进的生产计划与排程方法,提高生产计划的准确性和合理性。根据市场需求预测、订单情况、设备产能等因素,运用优化算法制定科学的生产计划。采用线性规划、启发式算法等方法,合理安排产品的生产顺序和生产时间,充分利用设备的产能,减少设备的闲置时间。在生产排程过程中,要考虑到产品的生产周期、工艺特点以及物料供应情况等因素,确保生产计划的可行性和可执行性。同时,要建立生产计划的动态调整机制,当市场需求发生变化或生产过程中出现意外情况时,能够及时对生产计划进行调整,保证生产的连续性和稳定性。

4.3.2 质量管理体系完善

建立完善的质量管理体系是保证产品质量的关键。企业应遵循相关的质量管理标准,如 ISO 9001 等,建立从原材料采购到成品交付的全过程质量管理体系。在原材料采购环节,加强对供应商的管理和原材料的检验,确保原材料的质量符合要求;在生产过程中,加强对各生产环节的质量控制,严格执行工艺标准和操作规范,通过首件检验、巡检、成品检验等方式,及时发现和解决质量问题;在成品交付环节,对产品进行严格的最终检验和测试,确保产品质量符合客户的要求。要建立质量追溯体系,能够对产品质量问题进行追溯和分析,找出问题的根源,采取有效的改进措施,不断提高产品质量。

5 轨道信号产品板卡流水化生产线建设实施步骤

5.1 前期规划与设计

在生产线建设的前期规划阶段,企业应成立专门的项目团队,由生产、技术、设备、管理等多方面的专业人员组成。项目团队首先要对企业的生产现状进行全面调研,包括现有设备状况、生产工艺水平、人员技能情况等。同时,要

深入了解市场需求和行业发展趋势,明确生产线建设的目标和定位。根据调研结果和目标定位,进行生产线的初步设计。确定生产线的布局方案、工艺流程、设备选型等关键要素。在设计过程中,要充分考虑到轨道信号产品多品种小批量的特点,确保生产线具有足够的灵活性和适应性。

5.2 设备采购与安装调试

根据生产线设计方案,进行设备的采购工作。在采购过程中,要严格按照设备选型的要求,选择质量可靠、性能优良的设备。与设备供应商签订详细的采购合同,明确设备的技术参数、交货时间、售后服务等条款。设备到货后,组织专业人员进行设备的安装调试工作。按照设备的安装说明书和相关标准,进行设备的安装和连接。在安装过程中,要确保设备的安装位置准确、牢固,各种管道、线路连接正确。安装完成后,进行设备的调试工作。通过调试,使设备的各项性能指标达到设计要求,确保设备能够正常运行。

5.3 人员培训与工艺验证

在生产线投入正式生产之前,要对生产人员进行全面的培训。培训内容包括设备操作技能、工艺标准、质量控制要求等方面。通过理论培训和实际操作培训相结合的方式,使生产人员熟练掌握设备的操作方法和生产工艺要求。培训结束后,要对生产人员进行考核,考核合格后方可上岗操作。进行工艺验证工作。按照制定的工艺标准和操作规范,进行试生产。通过试生产,验证工艺的可行性和稳定性,检查产品质量是否符合要求。在工艺验证过程中,要对生产过程中的各项数据进行记录和分析,及时发现工艺中存在的问题,并进行调整和优化。

6 结论

通过确立以数据流驱动产线设计、模块化布局预留柔性空间等核心原则,构建“工艺标准化、设备智能化、管理精益化”三位一体的发展框架,并按照前期规划与设计、设备采购与安装调试、人员培训与工艺验证、生产线试运行与优化等实施步骤进行建设,企业能够有效提高生产效率、保证产品质量、降低生产成本。在未来的发展中,随着技术的不断进步和 market 需求的持续变化,轨道信号产品板卡流水化生产线还需要不断进行创新和完善,以适应新的挑战 and 机遇,为轨道铁路事业的发展提供坚实的保障。

参考文献

- [1] 轨道交通运行仿真的应用与发展. 方惠惠;王春.价值工程,2018(31)
- [2] 创建轨道交通运行与安全实验教学示范中心. 华容;安子良;沙泉;陆斌.实验技术与管理,2016(12)
- [3] 南京地面轨道交通运行引起的大地环境振动预测研究. 郑军;王明洋;肖军华;施烨辉;杨旭.岩土力学,2022(S2)

Electrical protection grounding technology for intelligent buildings

Haifeng Yao

Henan Huahui Nonferrous Engineering Design Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450041, China

Abstract

Under the process of intelligent development, the complexity of building electrical systems has shown a significant increase, among which microelectronic devices are extremely sensitive to ground potential fluctuations. As for the traditional grounding scheme, it is difficult to meet the common mode interference suppression requirements of high-frequency digital devices. In this case, electromagnetic compatibility issues have become a potential cause of system paralysis. In the field of modern architecture, special loads such as medical equipment and data centers have extremely strict requirements for the stability of grounding resistance, specifically the standard of $\pm 0.5 \Omega$. This situation forces grounding technology to develop towards dynamic compensation and multi-point coordination. Correspondingly, the safety protection system is also undergoing a paradigm shift from passive defense mode in the past to active regulation mode today.

Keywords

intelligent building; Electrical protection; Grounding technology; Security protection; electromagnetic compatibility

关于智能化建筑的电气保护接地技术

姚海峰

河南华慧有色工程设计有限公司, 中国 · 河南 郑州 450041

摘 要

建筑电气系统在智能化发展进程下, 其复杂性呈现出显著提升的态势, 其中微电子设备对于地电位波动表现得异常敏感。就传统接地方案而言, 它难以满足高频数字设备在共模干扰抑制方面的需求, 在此情形下, 电磁兼容性问题已然成为致使系统瘫痪的潜在诱因。在现代建筑范畴内, 像医疗设备、数据中心等这类特殊负荷, 对接地电阻稳定性提出了极为严苛的要求, 具体为 $\pm 0.5 \Omega$ 的标准, 这种情况迫使接地技术朝着动态补偿以及多点位协同的方向去发展, 相应地, 安全防护体系也正经历着从以往被动防御模式到如今主动调控模式的范式转变过程。

关键词

智能化建筑; 电气保护; 接地技术; 安全防护; 电磁兼容

1 引言

电气保护接地系统如同建筑的隐形神经系统, 其智能化设备的生存阈值直接受其性能影响。当外科设备因接地环路干扰出现误动作, 又或者数据中心服务器由于雷击感应过电压而批量损毁时, 接地失效所涉及的已不单单是技术层面的问题, 更是关乎安全责任事故。在新型建筑里, 变频器、LED 驱动电源所产生的高次谐波让接地网络呈现出频变特性, 单纯基于 50Hz 工频的接地理论面临着重构的局面。这些情况的出现, 要求工程师对接地系统的暂态响应特性以及电磁拓扑结构展开重新的审视。

【作者简介】姚海峰 (1971-), 男, 中国河南长葛人, 本科, 高级工程师, 从事电气自动化研究。

2 智能化建筑电气系统的特点与接地需求

2.1 智能化建筑的电气系统特征

智能化建筑的电子设备密度呈现几何级增长, 这些精密仪器如同持续运行的神经单元始终处于活跃状态, 它们的呼吸节律依赖稳定电压环境却普遍携带高频谐波基因。电气系统架构因此不得不采用枝状与环状混合的网络拓扑以适应设备集群的动态重组, 金属管线纵横交错的物理布局客观上为电磁干扰铺设了天然的传导路径。地网阻抗参数在设备启停瞬间产生的毫伏级波动会触发连锁反应, 这种扰动传导至医疗影像设备等敏感负载区域足以扭曲原始数据波形, 传统建筑中可忽略的接地回路此时成为沉默的威胁源。系统设计人员被迫在结构允许范围内压缩强弱电的物理间隔, 这种空间的妥协直接改变了设备间的电磁耦合强度。

2.2 接地技术的功能需求

智能化建筑的保护接地体系必须驯服高频谐波在金属

构件表层滋生的趋肤效应，这些看不见的能量涟漪会沿着管线表皮悄然扩散。设备安全底线要求接地网络构建可靠的低阻抗泄放通道，把故障电流导向大地深处而非人体接触区域。系统稳定性管理维度需解决强弱电系统共地时的电位浮动难题，楼宇自控模块与电力监控终端的信号基准点漂移将引发逻辑紊乱。设备更新节奏的加快倒逼接地配置预留可扩展接口，三年后新增的量子通信设备接地端子必须融入现有网络而不引发电磁冲突。故障电流分流路径的确定性设计要隔绝消防控制系统与电梯群控装置之间的地线耦合，不同生命支持系统的接地回路必须维持物理隔离的纯净状态^[1]。

3 智能化建筑接地技术分类与原理

3.1 保护接地（PE）

保护接地导体网络承受着变频设备高频泄漏电流的持续啃咬，这些隐形能量在设备外壳表层积聚成危险的浮动电压。导线截面积的选择不能仅考虑工频短路电流的热稳定要求，更要预见电力电子开关器件瞬间崩溃产生的纳秒级浪涌冲击。接地极材料与土壤界面的电化学反应进程在潮湿环境中悄然加速，镁阳极的自我牺牲速度可能赶不上结构钢筋的腐蚀需求。运维人员面临的真正挑战在于如何验证隐蔽工程中 PE 线连接的完整性，某个被混凝土包裹的螺栓松动可能导致十年后手术室隔离变压器失效。当楼宇自控系统升级为全直流供电架构时，原有交流保护接地网络必须重构直流故障电流的释放通道，这个转换过程暗藏金属管路电解腐蚀的风险。

3.2 功能接地（FE）

功能接地网络肩负着为微伏级生物电信号提供纯净基准平台的使命，医疗影像设备的探测电极与大地间必须维持低于 0.1 欧姆的阻抗通路。数据中心服务器群供电架构里的高频纹波会沿着信号接地线反向侵入精密电路，这些杂散能量如同微型砂轮持续磨损着模数转换精度。土壤中自然存在的直流电位梯度在某些地质区域可达 3 伏特每米，这种缓慢漂移的地电场将诱导形成寄生电流，最终造成实验室质谱仪采样数据出现基线扭曲。建筑钢构件的热胀冷缩变形量在冬夏温差下累积，毫米级的金属位移可能撕裂隐蔽的接地连接点，核磁共振设备的匀场线圈会因此感应到异常的磁场纹波。5G 基站阵列引入的时分复用电磁脉冲会耦合至功能接地母线，这类纳秒级脉冲串能轻易突破示波器输入级的电磁屏蔽，让神经外科手术导航设备产生微米级位移偏差^[2]。

3.3 防雷接地（LE）

防雷导体网必须耐受千万安培雷电流的纳秒级冲击，这些短暂却狂暴的能量将在建筑金属骨架内部引发瞬时涡流共振，迫使接地引下线承受超越常规短路的热机械应力。浪涌泄放路径设计受限于土壤层中离子浓度分布的不均匀性，地下水位季节性变化可导致接地电阻值在 10 欧姆至 1000 欧姆之间波动，这种不可控的物理变量削弱了雷电流

的快速消散能力。地质介质阻尼特性决定了冲击电流的扩散深度，智能化建筑密集的钢筋混凝土基础结构在雷击瞬间形成反向感应环路，干扰楼宇自动化控制系统里的通信协议传输。铜质接地棒材料在土壤酸性环境下的缓慢溶解速度可能滞后于建筑生命周期，这埋下高架避雷针失效时数据机房关键设备遭二次闪络损毁的隐患。雷击电磁脉冲耦合进智能楼宇的弱电系统缝隙，传感器网络的基准电平偏移会误触消防联动装置或安防报警机制，这种连锁反应需要在地网拓扑中预置物理隔离层。多栋建筑集群的地下接地网互连配置必须考虑局部雷击能量分配的不平衡，相邻数据中心服务器群的接地母线需设置动态去耦单元，防止电能质量监控系统的误读造成区域性断电事故。

3.4 联合接地与独立接地

联合接地方案迫使建筑本体金属结构承担故障电流分流与信号基准的双重职责，这种妥协将医疗设备的微伏级电信号与电梯马达的千安冲击波约束在同个导体网络中，埋下电磁兼容冲突的伏笔。接地策略选择必须屈服于建筑本体金属结构的延伸尺度限制，百米高层建筑地下桩基构成的天然等电位体往往超过独立接地网的经济覆盖范围，混凝土里埋设的钢筋网络被迫接纳强弱电系统全部接地需求。土壤电阻率在 10 至 300 欧姆·米区间的剧烈变化阻碍着独立接地网的纯净度追求，地表下二十米深处不同岩层导电性能的悬殊差异致使分割接地网难以维持设计中的电位平衡。电流冲突的隐患潜伏于智能楼宇设备扩容改造过程，新增的量子通信装置接地端子接入联合接地母排时，高速脉冲信号将与既有的 BMS 系统电流在接地导体表皮产生趋肤效应耦合。防雷引下线与光纤进线管道在地下层交汇处的电位差需要控制在 0.5 伏特阈值内，这个看似微不足道的电压值在雷暴天气时足以击穿光纤加强芯的绝缘涂层形成逆向闪络通道。接地导体截面积的计算公式需同时承载工频短路电流与纳秒级雷电流的双重热效应叠加效应，常规的电缆选型规则难以应对强弱电联合接地场景中的瞬态能量耗散需求。

4 智能化建筑电气保护接地技术存在的问题及解决措施

4.1 接地系统设计缺陷与优化策略

接地设计人员初始计算参数时习惯性依赖稳态工频电流模型，忽略了变频器涌流产生的纳秒级瞬态阻抗变化，导致防雷接地导体实际冲击耐受强度与设计值存在倍级偏差。地下车库潮湿环境中的电化学腐蚀每年悄悄蚀穿 0.3 毫米接地铜排厚度，常规的热镀锌处理难以抵挡混凝土析出物形成的局部原电池效应。土壤介质在雨季饱和状态下呈现的电解液特性大幅降低散流效率，此时单点测量的 1.2 欧姆接地电阻值会在大电流冲击瞬间跃升至危险阈值。优化策略需要重构接地体的动态热稳定校验模型，将 100kA 雷电流产生的瞬时温升纳入导体截面选型计算公式，这个修正步骤能预防

铜缆连接点因汽化爆裂形成开路。针对隐蔽部位导体腐蚀的潜在威胁,建议在混凝土浇筑前为接地干线包裹三重分子级阻隔材料,该防护机制使铜铝复合材料的服役寿命突破二十年期限。智能楼宇地下层分布的通风管道在雷暴天气会成为感应雷的高风险入侵通道,这类金属构件与防雷引下线之间必须保持低于15厘米的物理隔离距离。改造项目的接地网扩容需采用非开挖磁控溅射技术,地下五米深度铺设的铜覆钢复合导体能在不破坏建筑结构的条件下使工频接地电阻下降四成^[3]。

4.2 施工质量隐患与质量管控办法

施工班组在隐蔽工程阶段常忽视接地带拐角处的弯折应力,弯曲半径不足会削弱导体截面载流量,未来大电流冲击时这个薄弱点极易过热熔断。工人对接焊点质量容易松懈,混凝土内部铜铝复合带的虚焊点氧化速度比正常连接快四倍,五年内将发展为阻碍雷电流泄放的致命瓶颈。监理人员依赖的季度抽样检测方式存在偶然性盲区,建议在接地网关键节点预埋自诊断射频标签,让接地电阻异常波动自动触发移动终端报警。材料验收环节必须增加导体材质分子结构检测项目,库存超过半年的铜包钢复合材料在交界层会形成绝缘性氧化物薄膜。动态施工规程需规范接地引出线的缓冲余量,建筑沉降造成的接地母排拉伸位移超过3厘米便会撕裂混凝土内部连接件。针对土壤分层回填造成的接触电阻波动,要求采用分层夯实度检测仪监控接地沟槽每二十厘米填土的密实曲线。焊工培训课程要重点强化搭接面处理工艺,搭接长度不足标准值两毫米将使短路电流分散效率衰减近半。接地标识系统应升级为三维坐标录入模式,方便后期维护时快速定位深埋地下的关键连接盒。

4.3 环境因素干扰与应对防护手段

潮湿土壤中游离离子迁移引发的电化学腐蚀持续蚕食接地体横截面积,地下水位涨落导致不同深度的导体经受交替的干湿循环侵蚀。工程师要求引入分子渗透型缓蚀剂灌注工艺,该化学屏障在三米接地深度范围内形成动态保护膜,有效中和酸碱环境对铜覆钢材料的分解作用。地下配电室的杂散电流经建筑钢筋网络寄生耦合进接地干线,这个隐蔽干扰源会使弱电系统基准电位产生毫伏级漂移。设计师必须在地网架构里部署半导体隔离组件,利用非线性电阻特性阻断工频接地网与弱电系统地线间超过50赫兹的异常耦合通路。温差超过二十度的季节性冻融变化造成土壤导体接触电阻波动,特殊回填料的缓冲膨胀系数需要匹配当地最大冻土深度变化曲线,冻土层深度两米以上的区域必须采用预压缩陶粒混凝土包裹接地模块。临近地铁牵引电流的侵入干扰需要重点防御,接地网络拓扑规划阶段就要预留50千安瞬态磁场的屏蔽通道,让泄流路径主动绕过楼宇自控系统的信号采集区域。变频电梯产生的宽频谐波污染接地母排,对策是在竖井接地主干线串接频谱感知抑制器,该装置智能滤除400赫兹以上的高频泄漏电流对通信接地的干扰。建筑基础沉降导致的地下接地导体应力变形不可逆,防护手段是在接地引下线穿越结构缝处设置形变自适应伸缩节,这个机械装置保障三十年沉降周期内导体阻抗变化率控制在百分之五以内^[4]。

导体本体的金属疲劳问题在周期性大电流冲击下不断累积,温差变化加速了接地扁钢内部晶格缺陷的延伸速度。维护专家需要制定动态热稳定系数衰减图谱,参照不同年份的雷击能量分布规律调整导体临界截面的监控阈值。监测系统在接地干线布设时应当预留分布式光纤检测通道,沿导体轴向每十米集成温度形变双信号传感器,让接地回路阻抗异常变化实时映射到BIM运维平台。土壤理化特性变迁带来的腐蚀效应应具有区域特征,阴极保护单元应当配备脉冲电流自适应调节模块,使补偿电流强度自动匹配地下金属构件的氧化还原电位。混凝土基础内的隐蔽连接点劣化检测必须采用涡流扫描技术,这种无损检测方法能精确量化钢筋搭接区域的锈蚀深度。

4.4 系统老化损耗与定期维护机制

接地技术的进化本质是建筑电气系统对抗电磁熵增的过程。电阻稳定性经石墨烯复合接地体的应用得到量级上的提升,故障预诊断通过分布式接地监测网络得以实现,然而更深层的矛盾呈现为:当全域电气回路因楼宇自控系统借助以太网供电(PoE)而形成时,传统接地边界已然消解。

5 结语

接地技术的进化本质是建筑电气系统对抗电磁熵增的过程。电阻稳定性经石墨烯复合接地体的应用得到量级上的提升,故障预诊断通过分布式接地监测网络得以实现,然而更深层的矛盾呈现为:当全域电气回路因楼宇自控系统借助以太网供电(PoE)而形成时,传统接地边界已然消解。

参考文献

- [1] 张震.论智能化建筑的电气保护接地技术[J].中国新技术新产品,2012,(14):202-203.
- [2] 毛悦.电气自动化中电气接地及电气保护技术分析[J].科技资讯,2025,23(01):55-57.
- [3] 王毅宝,阙志新.化工厂电气设备保护接地的重要性与技术分析[C]//中国机电一体化技术应用协会.第八届全国石油和化工电气设计与应用论文大赛入选论文集.盘锦:锦浩业化工有限公司,2025:301-302.
- [4] 刘岩晶.工业工程中的电气接地技术案例分析[J].集成电路应用,2021,38(04):54-56.

Research on the Matrix Algorithm for Leakage Localization in Water Supply Pipe Networks Based on IoT Technology

Yang Xiason

Weifang Institute of Technology, Weifang, Shandong, China 261000

Abstract

The current water supply network still faces issues of high costs and insufficient accuracy in leakage management, particularly in locating leakage points. Based on this, a fault matrix for the water supply network is constructed using its topological structure. The matrix algorithm is then optimized and validated in conjunction with sensor monitoring data transmitted wirelessly. When a fault occurs in the water supply network, the first step is to accurately determine the fault location in real time before repairing the affected section, quickly isolating the fault point. Common inspection methods for water supply networks in China include manual inspection and acoustic amplification. The acoustic amplification method is effective only during nighttime when the environment is quiet, but it cannot accurately or promptly detect pipeline leaks, leading to increased losses from pipeline leakage. The results indicate that when abnormal data is detected, the matrix-based localization algorithm can precisely alert to leakage points, improving the accuracy of leakage detection.

Keywords

Water supply pipeline network, leakage localization, matrix algorithm, remote monitoring

基于物联网技术的供水管网漏损定位矩阵算法的研究

杨霞松

潍坊理工学院, 中国 · 山东 潍坊 261000

摘 要

当前的供水管网在漏损管理方面, 尤其是漏损点定位还存在投入大且精度不够的问题。基于此, 通过供水管网拓扑结构构建管网故障矩阵, 利用矩阵算法配合无线传输的传感器监测数据进行优化验证, 在供水管网出现故障后, 首先要做的工作是, 在维修故障区段的供水之前, 要对故障位置进行实时准确的确定, 迅速将故障点隔离开来。我国常见的供水管网巡视方法是人工巡检法和听声放大法。听音放大法必须在夜间静默时效果明显, 但也不能准确、迅速地发现管线泄漏, 及时采取相应的措施, 增加了管道泄漏造成的损失。结果表明: 当出现异常数据时, 矩阵定位算法可以精确对漏损点进行报警, 提高了漏损检测精确度。

关键词

供水管网、漏损定位、矩阵算法、远程监控

1 引言

水是我们生活中不可缺少的能源, 随着人们生活水平的日渐提高, 供水可靠性要求越来越高, 越来越多的研究者也开始重视供水管网的自动化工作。进入 21 世纪以来, 供水管道存在管道阀门逐年老化, 铺设越来越复杂, 管理水平不能同步提升, 全国各地供水管道爆管的事故屡屡发生。^[1]因此, 本文提出的定位矩阵算法在供水管道故障区段中, 将节省人力物力的供水管线自动化程度完全体现出来。从单向

无旁支供水管道入手, 引入网络关联描述矩阵 D , 由 DTU 统一编号的一种无线远程水表, 然后将原矩阵 D 按照 DTU 检测到的故障信息, 在发生漏损故障时, 对原矩阵进行数学处理, 从而形成故障区间判定矩阵。

2 矩阵算法的基本原理

网络描述矩阵 D 首先需要根据供水管道网络的拓扑结构来构造。每个控制箱内的 DTU 按照每个管道每天或某一时段的供水总量进行分析。^[2]DTU 会监测到某一楼层的用水量是否符合常归值, 当管道发生泄漏事故或其他原因泄露时。此时 无线传感器会采集该节点在这一时间段水流的最大值及其出现的瞬间并向供水控制中心报告组态系统, 正式由这样的信号来生成一个矩阵 G 作为对应的故障信息矩阵, 通过网络描述矩阵 D 和故障信息矩阵 G 进行数学运算, 最

【基金项目】潍坊市科技发展计划《基于NB-IoT的供水监测系统应用研究》(项目编号: 2023GX078)

【作者简介】杨霞松(1989-), 女, 中国山东聊城人, 硕士, 副教授, 从事智能技术与自动化装置研究。

终得到一个矩阵 P 作为故障点定位矩阵。然后根据 矩阵 P 可以对故障区段作出相对准确的判断和隔离。^[3]

2.1 网络描述矩阵

将供水管道上的采集器和 DTU 统一编号为节点 1、2、直到 N 。然后构建一个 $N \times N$ 的矩阵 D 。如果第 i 个节点与第 j 个节点之间有一条供水管道，则在第 i 行第 j 列的元素 D_{ij} 和 D_{ji} 都设置为 1，并且将这两个节点称为相邻节点。否则，将供水管道节点对应的元素设置为 0，从而形成网络描述矩阵 D ^[3]。体现供水管线拓扑结构。如图 1 所示的单向供水管网示意图。

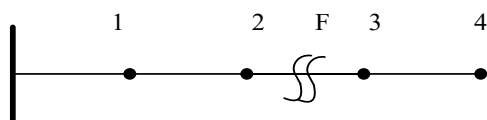


图 1 简易供水管网示意图

其描述矩阵 D 为

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

假设图 1 中点 F 为故障点，由图可知，此处检测到的用水总量，当所示点位发生渗漏时，必然显著高于正常值，故障信息会在节点 1、2 处被检测到，而在节点 3、4 处则为正常水流量，没有故障信息。

2.2 故障信息矩阵

故障信息矩阵 G 在供水管网拓扑结构中也是以漏损事故发生时，根据相应节点收集的故障信息构建的 $N \times N$ 方阵。确定供水管网故障信息矩阵的方法是：如果故障信息矩阵中第 i 行第 i 列的元素在第 i 个节点中被检测到，则在第 i 行第 i 列中的元素在 0；反之，第 i 行第 i 列的元素设 1，其余位置的元素在失效信息矩阵中均设 0。即在对角矩阵 G 的对角线上显示故障信息。

图 1 所显示的相应管网故障信息矩阵为：

$$G = \text{diag}[0 \quad 0 \quad 1 \quad 1] \quad (1.2)$$

2.3 故障判断矩阵

给水管网网络描述矩阵 D 与检测到的问题信息矩阵 G 运算后得到矩阵 P' ，在满足一定条件后进行整形，得到故障定位矩阵 P ，即：

$$P = g(D \cdot G) = g(P') \quad (1.3)$$

式中， $g(\cdot)$ 代表对矩阵进行整形运算

$$P' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

矩阵整形的条件是：如果网络描述矩阵 D 中的第 m 行

第 j 列的元素 D_{mj} 、第 n 行第 j 列的元素 D_{nj} 、……，第 k 行第 j 列的元素 D_{kj} 为 1，同时故障信息矩阵 G 中对应的第 j 行，第 j 列 $G_{jj}=1$ 点，对 P' 中 J 行和 P' 中 J 列的元素进行整形。如果第 m 行第 m 列 G_{mm} ，第 n 行第 n 列 G_{nn} ，……，第 k 行第 k 列 G_{kk} 中至少有 2 个为 0，则结果矩阵中的 J 列所有元素和 J 行所有元素都变成 0。若不满足上述条件，则保持中的所有元素值，得到 $P=P'$ ^[4]。

根据图 1 中的网络，若第 2 行第 3 列的 D_{23} 和第 4 行第 3 列 D_{43} 均为 1，且第 3 行第 3 列的 G_{33} 也为 1，那么预处理矩阵中的第三行和第三列，而 $G_{22}=0$ ， $G_{44} \neq 0$ ，因此 $P=P'$ 。

$$P = P' = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

确定故障所在区段方法：若第 i 行第 j 列的 p_{ij} 与第 j 行第 i 列 p_{ji} 至少有一个为 1，那么给水管道上第 i 节点第 j 节点之间的管道区段有发生漏损事故的可能，结合这两个节点阀门检测的水流量与日常水流量的差值，及早检查第 i 节点与第 j 节点之间的管道运行情况，看有无漏损，并及时修复。从上面的规律可以知道

$$P_{12} \text{XOR} P_{21} = P_{34} \text{XOR} P_{43} = 0$$

$$P_{23} \text{XOR} P_{32} = 1$$

在 2、3 节点处发生故障，这是很容易判断的。

2.4 更复杂的供水网络

在考察较为复杂的给水管网的同时，为了使方法更有说服力，如图 2 所示，在不失一般性故意打乱序号的情况下，对给水管网的网络进行了考察。

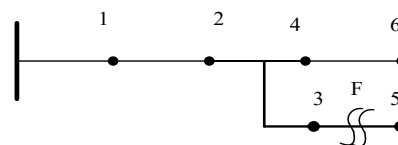


图 2 一个较复杂的供水网络

图 2 所显示的网络描述矩阵 D 为拓扑结构。：

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

假设 F 点出现渗漏，则对应的故障矩阵为：

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

$$P' = D * G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

由于第4列中第2行,第3行和第7行的数据均为1, $D_{24}=D_{34}=D_{74}=1$, $G_{44}=1$ 且 $G_{22}=G_{33}=0$,所以要将矩阵中第4行与第4列元素标准化,将这些元素全部置于0,就可以得到判断矩阵P的故障。为,可求出故障判断矩阵:P

$$P = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1.9)$$

$P_{35} \text{XOR} P_{33}=1$,由上式可知,故在结点3与结点5之间出现漏损点。

3 矩阵定位算法基于 MATLAB 的仿真

网络描述矩阵式是根据供水管道铺设情况和采集器位置的拓扑结构建立的,随着供水管网的铺设完成,网络描述矩阵也是基本完成,而供水管网漏损是不确定的,在任意位置,在任意时刻都有可能发生。因此当漏损位置发生变化时,故障信息矩阵也会发生相应的变化,因为供水管网铺设

完成的网络描述矩阵式是固定的。故障判断矩阵也会随着模糊状态的不同而确定,具体的 MATLAB 程序如图3所示:根据不同时刻的报警状态,故障信息矩阵会随之发生变化,同时进行更新的还有网络描述矩阵和故障信息矩阵。详细介绍如下:

```
%供水管网矩阵定位算法
D=[0 1 0 0;1 0 1 0;0 1 0 1;0 0 1 0] % 输入网络描述矩阵
for i=1:1:4 % 根据报警状态输入故障信息矩阵
    G(i,i)=input('输入G(i,i)的状态值,')
end
P=D*G %计算故障判断矩阵
.....
if j==1
    disp('节点1与节点2之间有漏损')
end
if j==2
    disp('节点2与节点3之间有漏损')
end
if j==3
    disp('节点3与节点4之间有漏损')
end %确定漏损位置
```

图 3. 部分程序截图

准确的漏点位置只需要在运行该程序时输入故障信息矩阵,根据报警信息即可得到,如图4所示程序运行截图。

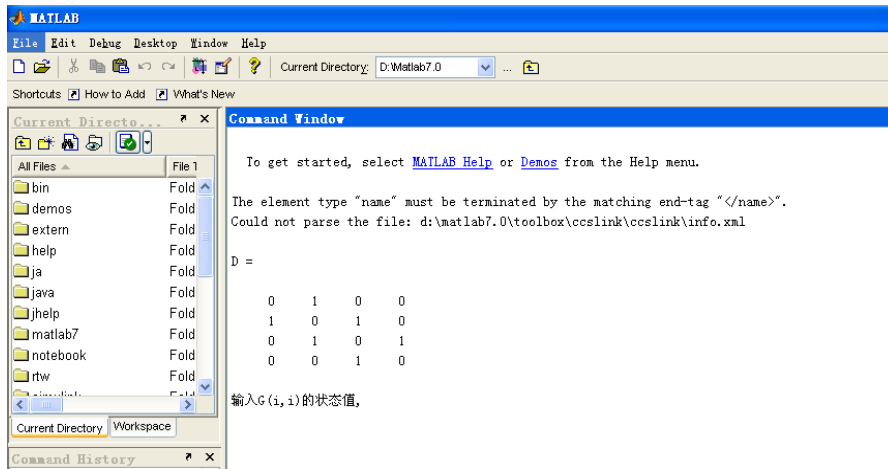


图 4 部分程序的运行

由于各个单位或学校的地理环境各异,不同的建筑物有不同的供水管网拓扑结构,建筑复杂,供水管网越复杂,导致网络矩阵的计算量通常较大。在进行漏损定位时,采用 MATLAB 编程语言进行设计,可以大大简化工作流程。供水管网一旦铺设完成,那么布局基本保持不变,因此其矩阵形式也不会发生太大的变化。针对同一个单位的同一个系统,只需编写一个总的程序即可快速定位漏损位置,从而提升工作效率,减少资源浪费。

参考文献

- [1] 吴文红,崔玉莹,刘宁.基于布谷鸟算法的管网漏损定位模型[J].中国给排水,2022.6(38):38-40.
- [2] 唐述宏,季涛,宋红梅.基于GPRS技术的配电线路故障自动定位系统[J].电力自动化设备2006(08):59-62.
- [3] 谭洪卫.高校校园建筑节能监管体系建设[J].建设科技,2010(2):15-19.
- [4] 杨霞松.高等学校供水节能监测系统的开发[D].山东.山东科技大学.2014.

Research on the Integration Scheme of Communication Technologies and the Construction of Smart Parks in the Internet of Things Environment

Haitao Liu

Guoneng Shuohuang Railway Company, Cangzhou, Hebei, 062350, China

Abstract

This paper conducts a systematic study on the integration of communication technologies and the construction of smart parks in the Internet of Things environment. This paper analyzes the necessity of the convergence of communication technologies, points out that a single technology is difficult to meet diverse demands, and then proposes typical convergence schemes, and elaborates on key supporting technologies such as heterogeneous network convergence, network slicing, and edge computing. Combining the three core demands of efficient communication, equipment connection and intelligent management in intelligent parks, the architecture of “perception layer - network layer - platform layer - application layer” is designed. The technical application logic of each layer is clarified, and the supporting role of key technologies such as data security and artificial intelligence big data is explored. A case study in a certain high-tech industrial park has demonstrated that the integration of communication technologies can significantly enhance the operational efficiency of scenarios such as office work, security, energy, and transportation. Analyze the challenges faced in the construction of smart parks, propose countermeasures, and provide practical references for the application of Internet of Things technology and the construction of smart parks.

Keywords

Internet of Things environment Communication technology Intelligent park

物联网环境下通信技术融合方案及智能园区构建研究

刘海涛

国能朔黄铁路公司, 中国 · 河北 沧州 062350

摘 要

本文针对物联网环境下通信技术融合及智能园区构建展开系统性研究。分析通信技术融合的必要性, 指出单一技术难以满足多样化需求, 进而提出典型融合方案, 并阐述异构网络融合、网络切片、边缘计算等关键支撑技术。结合智能园区的高效通信、设备连接及智能化管理三大核心需求, 设计“感知层-网络层-平台层-应用层”架构, 明确各层技术应用逻辑, 并探讨数据安全与人工智能大数据等关键技术的支撑作用。通过某高新技术产业园区案例验证, 显示通信技术融合可显著提升办公、安防、能源及交通等场景的运行效率。剖析智能园区构建面临的挑战, 提出应对策略, 为物联网技术应用及智能园区建设提供实践参考。

关键词

物联网环境; 通信技术; 智能园区

1 引言

随着物联网技术的飞速发展, 其应用已渗透到智能工厂、智能家居、智能农业等众多领域, 各类物联网设备的连接需求呈爆发式增长。然而, 单一通信技术逐渐显露出明显局限性: 蓝牙虽低功耗却传输距离有限, Wi-Fi 速率高但覆盖范围受限, 5G 能实现高速实时通信却成本较高, LPWAN (如 NB-IoT、LoRa) 虽广覆盖低功耗却传输速率较低。在实际场景中, 设备对通信的需求往往是复合的——例如智能

工厂既需要工业机器人的高速数据传输, 又需要环境传感器的低功耗长连接, 单一技术难以兼顾。智能园区作为物联网技术的典型应用载体, 其场景复杂性进一步凸显了通信技术融合的迫切性。园区内既有办公设备的高速网络需求、安防系统的实时传输需求, 又有环境监测设备的低功耗连接需求, 还有交通设施的移动性通信需求。这些多样化需求倒逼通信技术从“单一应用”向“融合协同”升级。基于此, 本文以物联网环境为背景, 系统研究通信技术融合方案, 探索适配智能园区的构建路径, 旨在为破解单一通信技术瓶颈、提升智能园区智能化水平提供理论与实践参考。

【作者简介】刘海涛 (1971-), 男, 中国河北衡水人, 本科, 工程师, 从事铁路通信研究。

2 物联网环境下通信技术融合方案

2.1 通信技术融合的必要性

随着物联网应用的不断丰富和深入,单一通信技术已难以满足多样化的需求。例如,在智能工厂中,既有需要实时高速传输生产数据的工业机器人、自动化生产线设备,又有大量分布在工厂各个角落用于环境监测、设备状态监测的低功耗传感器。对于高速数据传输设备,低功耗广域网技术无法满足其速率要求;而对于低功耗传感器,蜂窝移动通信技术的高功耗和高成本又不适用。通过通信技术融合,可以针对不同设备的需求,选择最合适的通信技术组合,充分发挥各种技术的优势,实现物联网系统性能的优化^[1]。通信技术融合还能够提高物联网网络的可靠性和稳定性。当一种通信技术出现故障或信号受到干扰时,其他通信技术可以作为备用,保证数据传输的连续性。

2.2 几种典型的通信技术融合方案

BLE+LoRa 融合方案: BLE 负责短距离高速通信,延迟低,适用于智能家居中设备的近距离控制,如手机 APP 通过 BLE 操控智能灯泡; LoRa 承担远距离低功耗传输,可将设备状态数据上传至云端。在大型智能家居系统中,各房间设备经 BLE 将数据传至集中器,再由 LoRa 汇总上传,兼顾实时性与设备续航。**5G+Wi-Fi 融合方案:** 5G 凭借高带宽、低时延特性,支撑工业控制、自动驾驶等高速场景; Wi-Fi 适合室内高速上网,满足办公文件传输等需求。企业园区通过两者融合实现无缝覆盖:办公区用 Wi-Fi,生产区靠 5G 保障设备响应,还能根据负载智能切换网络,提升资源利用率。**蜂窝通信与 LPWAN 融合方案:** 蜂窝技术(4G/5G)提供高速移动传输,LPWAN(如 NB-IoT)擅长低功耗广覆盖。智能农业中,农田传感器用 LPWAN 传输环境数据,农业无人机和灌溉设备通过蜂窝技术实现高清图传与实时控制,兼顾大规模低功耗监测与关键设备高速通信。

2.3 通信技术融合的关键技术及实现方式

异构网络融合技术是通信融合的基础,需解决协议、频段及接口兼容问题。网络层通过多协议标签交换(MPLS)技术,为不同网络数据分配标签实现快速转发,如整合 Wi-Fi 与蜂窝网络数据;接入层依托多模终端设备(如集成 Wi-Fi、蓝牙、4G/5G 及 NB-IoT 模块的物联网网关),实现不同网络的无缝接入。网络切片技术在通信融合中作用显著,可按物联网场景需求将物理网络切割为独立虚拟切片,定制分配带宽、时延等资源。例如智能园区中,为安防监控分配高带宽低时延切片,为环境监测分配大连接切片,提升资源利用率与服务质量。边缘计算技术将数据处理下沉至边缘节点,能减少云端传输压力与时延。如工业物联网中,边缘设备可本地分析生产线传感器数据,及时检测设备故障,无需全量数据上传,有效支撑融合网络的数据协同与应用响应。

3 基于通信技术融合的智能园区构建

3.1 智能园区的需求分析

智能园区存在三类核心需求。一是高效通信需求:园区内智能办公设备、安防摄像头、能源管理设备等需实时数据交互,如办公设备需高速网络支持文件传输与视频会议,安防摄像头需快速传输高清视频至监控中心,因此需高带宽、低时延的通信服务保障数据流畅传输。二是设备连接需求:园区设备数量庞大且种类繁多,从环境传感器到工业设备分布广泛,且接口与协议各异。例如环境监测需接入大量不同厂商的温湿度、空气质量传感器,这要求通信系统支持大规模设备接入,并兼容多种通信标准,实现无缝互联互通。三是智能化管理需求:为提升效率、降低成本,需通信技术支撑智能应用——通过采集分析能源数据优化分配,借助安防系统智能分析人员车辆行为实现主动防范。同时,通信技术需与管理平台融合,如基于交通流量数据优化疏导方案,为决策提供及时数据支持。

3.2 基于通信技术融合的智能园区架构设计

智能园区架构分为感知层、网络层、平台层和应用层。感知层是数据采集基础,由传感器和智能设备构成。近距离设备(如办公区人体传感器)用蓝牙或 Wi-Fi 实现快速通信;室外环境传感器(温湿度、光照等)采用 NB-IoT 或 LoRa,依托其低功耗、广覆盖特性稳定传输;同时部署多协议转换网关,统一管理不同协议设备。网络层负责数据传输,融合 5G、Wi-Fi、蜂窝通信及 LPWAN 等技术^[2]。核心区域(办公楼等)用 5G 和 Wi-Fi 6 保障高速连接,5G 支撑实时应用(如工业控制),Wi-Fi 6 满足办公上网;室外区域(停车场等)通过蜂窝网络支持交通设备,LPWAN 连接低功耗传感器。借助网络切片分配资源,边缘计算减少传输压力。平台层提供支撑,设备管理平台兼容多协议设备;数据中台整合分析各类数据,为决策提供支持;应用支撑平台提供身份认证等基础服务。应用层基于上层能力实现场景化应用:智能办公依托 5G 与 Wi-Fi 6 优化协作;智能安防通过 5G 传输高清视频、LoRa 覆盖盲区;智能能源经 NB-IoT 采集数据并自动调控;智能交通借助 5G 和蓝牙提升通行效率。

3.3 智能园区构建的关键技术

智能园区运行产生大量涉隐私数据,数据安全与人工智能大数据技术是关键支撑。数据安全方面,需依托三类技术:数据加密技术通过 SSL/TLS 协议保护传输数据,用 AES 算法加密存储敏感信息(如员工身份、安防视频);访问控制技术按角色分配权限,如访客仅能访问公共信息,管理人员可查看全量数据;入侵检测系统实时监测网络异常,通过分析流量和日志识别攻击并预警。人工智能与大数据融合技术助力智能化管理:数据挖掘可分析人员流动预测密集区域、通过设备数据预判故障;智能决策依托 AI 算法生成方案,如结合能耗与天气数据优化能源供应,依据交通

流量调整信号灯，为园区管理提供精准支持。

3.4 基于通信技术融合的智能园区应用实践

以某高新技术产业园区（占地5平方公里，入驻50余家企业、8000余名员工）为例，其通过通信技术融合构建智能园区成效显著。通信部署上，核心办公及研发区采用5G与Wi-Fi 6融合网络，满足高速数据传输与高清会议需求；室外公共区域、停车场等部署LoRa和NB-IoT网络，连接环境传感器与智能停车设备；企业生产车间则用蓝牙与5G融合，实现设备实时通信及短距数据交互。应用效果突出：智能办公中，高清视频会议接通率超99%，远程操控办公设备成功率达95%以上，办公效率提升30%；智能安防通过5G与LoRa融合实现全覆盖，异常响应时间缩至30秒内，安全事故率下降60%；智能能源经NB-IoT监测，能耗降低15%，年省数十万元；智能交通依托5G，道路通行效率提升25%，停车场利用率提高30%，平均停车时间缩至5分钟内。

4 智能园区构建面临的挑战及应对策略

4.1 面临的挑战

不同通信技术在协议、频段、接口等方面存在差异，导致在融合过程中容易出现兼容性问题^[1]。例如，LoRa设备与NB-IoT设备在数据传输格式和通信协议上不统一，难以实现数据的直接交互；5G网络与Wi-Fi网络在频段上可能存在干扰，影响通信质量。不同厂商生产的通信设备在兼容性方面也存在差异，增加了通信技术融合的难度。智能园区内汇聚了大量的人员、设备、业务等数据，这些数据在采集、传输、存储和分析过程中面临着安全风险。一方面，网络攻击手段不断升级，黑客可能通过入侵网络系统窃取敏感数据、篡改数据或破坏系统正常运行；另一方面，部分园区在数据管理方面存在漏洞，如数据加密措施不到位、访问控制不严格等，导致数据泄露风险增加。同时，随着人们隐私保护意识的提高，如何在利用数据的同时保护个人隐私，成为智能园区构建需要解决的重要问题。智能园区的构建需要投入大量的资金，包括通信设备采购、网络建设、平台开发、应用系统开发等。通信技术融合意味着需要部署多种类型的通信设备和网络设施，这进一步增加了初期建设成本。智能园区建成后，还需要投入大量的人力和物力进行维护。由于涉及多种通信技术和复杂的系统，维护人员需要具备专业的技术知识，维护难度较大，维护成本也相对较高。对于一些中小型园区来说，成本投入和维护压力可能成为制约其智能化建设的重要因素。

4.2 应对策略

智能园区建设需从标准、安全、成本、运维四方面制

定应对策略。标准制定上，相关部门与行业协会应牵头制定统一通信技术融合标准，明确接口规范、数据格式及通信协议，如制定LoRa与NB-IoT设备交互标准，解决兼容性问题。同时鼓励企业参与标准推广，推动规范化发展。数据安全需构建全流程防护体系：采集阶段加密数据，传输采用SSL/TLS协议，存储通过加密与备份防泄露；严格访问控制并定期审核权限；建立安全监测与应急响应机制，实时处置风险；加强员工安全意识培训。成本管理可通过科学规划实现：按需选择技术设备，避免盲目投入；采取分步建设模式，先建核心区域再逐步扩展；积极争取政府政策与资金支持，减轻成本压力。运维方面，引入专业团队提升效率；依托智能运维平台实现设备与网络的实时监测及远程维护，如远程诊断修复故障；建立设备全生命周期管理机制，优化采购、使用及报废流程，延长设备寿命，降低更换成本。

5 结语

综上所述，本文围绕物联网环境下通信技术融合方案及智能园区构建展开了完整研究，从技术逻辑到实践应用形成了系统性结论。研究明确了通信技术融合的核心价值——通过BLE+LoRa、5G+Wi-Fi等方案的协同应用，可有效弥补单一技术在速率、功耗、覆盖等方面的短板，而异构网络融合、边缘计算等技术则为融合落地提供了关键支撑。在智能园区领域，基于“感知层—网络层—平台层—应用层”的架构设计，精准响应了高效通信、设备互联及智能化管理需求，某高新技术产业园区的实践已充分验证：通信技术融合能使办公效率提升30%、安防响应时间缩短至30秒内、能耗降低15%，凸显了技术应用的实际价值。同时，研究也正视了智能园区构建中的现实挑战，包括不同技术的兼容性问题、数据安全风险及成本压力，而标准化建设、全流程安全防护、分步实施等策略，为解决这些问题提供了可行路径。未来，随着5G、AI等技术的持续演进，通信技术融合将向更智能的协同模式发展，智能园区也将在技术迭代中实现更高效的运营与管理，为物联网场景的规模化落地提供重要示范。

参考文献

- [1] 许秋霞.人工智能背景下5G通信技术与物联网融合研究[J].中国宽带,2024,20(3):154-156.
- [2] 谢先富,刘林.智慧园区中物联网技术的集成与应用研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(11):209-212.
- [3] 慕晓春.5G驱动下智能电子与物联网融合的通信架构优化探索[J].中国宽带,2025,21(4):22-24.

Reform and Practice of Blended Teaching Model in Modern Signal Processing Technology Course under Smart Teaching Environment

Peiling Zhang Yanliang Zhang

School of Physics and Electronic Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan, 454003, China

Abstract

In response to heightened requirements and challenges for cultivating professional degree graduate students in electronic information engineering under the “internet + wisdom teaching” environment, based on the analysis of the current teaching situation of the modern signal processing technology course in our college, this paper studies how to carry out smart teaching in this course. It focuses on conducting research and practical work from the three major elements of wisdom environment, wisdom teaching methods, and wisdom learning. It also combines actual teaching cases to illustrate the teaching process and teaching effect. A blended teaching model integrating “pre-class, in-class, post-class, online, and offline” phases is developed through wisdom teaching platforms. This model effectively addresses the demand for personalized and innovative talent development in electronic information engineering education.

Keywords

wisdom teaching; modern signal processing technology; rain classroom; cloud class; blended teaching model

现代信号处理技术课程混合教学模式改革

张培玲 张延良

河南理工大学物理与电子信息学院, 中国·河南 焦作 454003

摘 要

针对“互联网+智慧教学”环境下对电子信息专业学位研究生人才培养挑战, 本文在分析我院现代信号处理技术课程教学现状基础上, 研究如何在课程中开展智慧教学, 重点从智慧环境、智慧教学和智慧学习这三大要素开展研究实践工作, 并结合实际教学案例说明了教学过程和教学效果, 形成“课前—课中—课后—线上—线下”基于智慧教学软件的混合式教学模式, 满足了电子信息专业人才培养需要。

关键词

智慧教学; 现代信号处理技术; 雨课堂; 云班课; 混合教学模式

1 引言

目前, 以互联网+、云计算、大数据、人工智能等为代表的新兴信息技术和教育教学深度融合, 推动了新时代高校教育教学改革, 促进了智慧教学的发展与应用^[1-2]。《新一代人工智能发展规划》明确提出, 要利用智能技术加快推动

人才培养模式、教学方法改革。教育部《高等学校人工智能创新行动计划》与《教育信息化 2.0 行动计划》均强调要发展智慧教育。结合 OBE 教学理念, 要让学生成为真正意义上的学习者, 形成“以学生为中心、以能力培养为主导”课程教学模式, 急需教师进行信息化环境下智慧教育教学模式改革与实践。

本文所指智慧教学是借助智能化技术打造高效的学习环境, 教师合理运用智慧教学方法和策略组织教学活动, 促进学生转识成智, 指向全面、协调和可持续发展的教学模式^[3-4]。智慧教学的三大要素是基于技术创新应用的智慧环境、基于方法创新的智慧教学法和基于人才观变革的智慧学习。智慧教学强调借助智慧环境与可用性技术激发学生探索知识的内在动力与主动态度, 培养具备良好价值取向和高阶思维能力的智慧型人才^[5]。

【基金项目】河南省研究生教育改革与质量提升工程项目(项目编号: YJS2025AL24); 河南理工大学测绘科学与技术“双一流”学科创建项目(项目编号: SYJX01); 河南理工大学2023年度研究生校企合作课程建设项目(项目编号: 2023YXQ05)。

【作者简介】张培玲(1977-), 女, 中国山东济南人, 博士, 副教授, 从事信号处理、通信技术研究。

2 现代信号处理技术课程教学现状

该课程是《专业学位研究生核心课程指南》中所列出的电子信息专业学位研究生最重要专业基础课程之一，依托专业领域为电子信息专业，主要面向我院电子信息专业学位研究生和部分信息与通信工程学术学位研究生，在我院受众人人数约达 60 人/年。同时，在我校其他学院电子信息专业控制工程方向、计算机技术、软件工程等相关专业也开有此课程，受众面较广。课程内容主要包括针对高斯、平稳信号的经典信号处理和针对非高斯、非平稳信号的现代信号处理方法。课程涉及了信号处理基础理论及主要技术和方法，具有内容晦涩、知识面广、连接性弱，既有基础理论，又有工程实际等特点。

为了满足本课程的教学需求，各个高校担任该课程教学的任课教师运用多媒体等信息化教学手段，进行了有益的教学改革和探索，并涌现了一批教学成果如项目式学习^[6]、案例教学法^[7]、专题研讨课^[8]等。然而，当前 5G 技术的飞速发展和移动互联网技术的广泛应用，虽然高校任课教师也使用了多媒体等现代信息化教学手段，但大多依然运用“先教后学”模式，教学内容和模式普遍存在单一、没有摆脱传统教学模式等问题。随着“云、物、大、智、移”的融合发展，引发了深刻的教学变革，极大推动了智慧教育的发展。因此，在智慧教学环境下，如何提升该课程教学内容深度和教学方法创新是高校任课教师亟待解决的问题。

3 智慧教学环境下课程混合教学模式改革措施与途径

3.1 营造基于“互联网+”平台开放互动智慧教学环境

在“互联网+智慧教学”背景下引入智慧教学软件辅助智慧教学是大势所趋。本课程引入以智慧教学软件为基础的教学机制，主要使用以“雨课堂”和“蓝墨云班课”为代表的智慧教学软件构建基于“互联网+”平台的开放互动的智慧教学情境，形成基于智慧环境的课程混合式教学模式，具体实现方法如图 1 所示。

3.2 探索基于“大数据+人工智能”的智慧教学环境下智慧型人才培养途径

在智慧教育背景下，教师如何通过信息化教学能力培养和发展从而达成智慧型人才培养的目标这是智慧教学中的关键问题。在传统教学模式下，教师利用口头语言表达结

合教材、黑板、粉笔，基本上可以顺利完成教学任务。而智慧教育背景下，教师需要运用更多的信息化教学手段，也即研究智慧教学实施方案设计。本课程从教学管理和教学活动这两个方面开展实践探索工作，具体如图 2 所示。

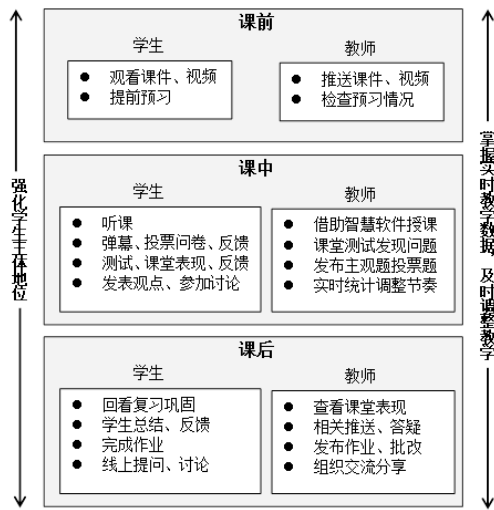


图 1 基于智慧教学软件的智慧教学情境构建

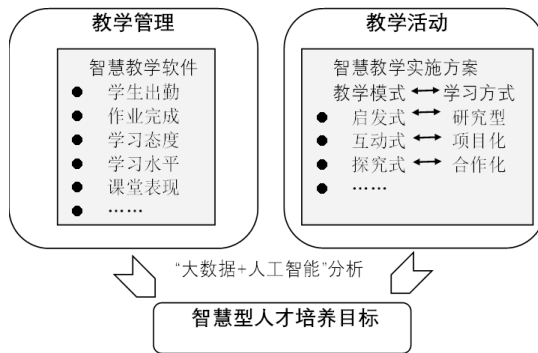


图 2 智慧教学环境下达成智慧型人才培养途径

3.3 构建基于数据证据的数字化混合式评价反馈体系

为了打破较为单向性以课堂表现及考试为主的传统课程评价方式，课程利用智慧教学软件特有的在线教学数据记录功能和智能化信息处理手段，构建了基于数据证据的混合式评价反馈体系。该评价体系与上文提到的课程混合式教学模式以及智慧型人才培养途径相配合，在教学活动实施过程中采用多样化、全方位评价手段，构成了形成性评价和终结性评价相结合的混合式课程评价反馈体系，如图 3 所示，实现考核方式和评价体系的多元化、量化。

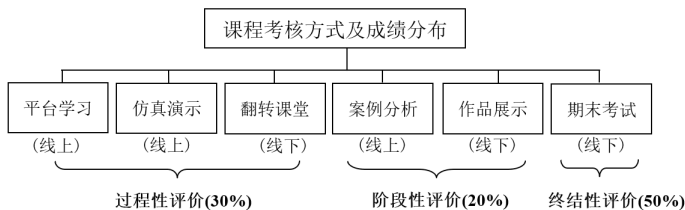


图 3 课程考核方式及成绩分布

4 课程教学改革实践与效果

4.1 课程教学改革实践

本文以匹配滤波器及其应用为例开展基于智慧教学的课程混合教学模式实践教学实践活动,所采用的智慧教学平台是雨课堂和云班课,并同时使用微信和QQ课程群等。

课前,明确本次课教学目标:了解匹配滤波器应用背景,理解匹配滤波器相关概念,掌握匹配滤波器工作原理,能够运用匹配滤波器解决工程中典型问题;培养学生分析问题、解决问题能力。根据教学目标,课前教师通过云班课发布匹配滤波器相关理论资料、课件和视频;同时,发布题为“反隐身雷达目标测距”的项目教学案例背景、内容及任务要求,为实施项目案例教学做好准备。学生下载相关资料,预习相关理论并对案例应用背景进行初步了解,让学生带着问题上课。

课中,教师根据学生的课前预习情况,有针对性地对匹配滤波器的关键理论和技术进行讲解,在解决相关理论基础,提供反隐身雷达目标测距教学案例参考思路,与学生讨论案例的实现。学生分组讨论交流,构建模型进行仿真分析并通过雨课堂等分享成果。

课后,每组学生可通过QQ课程群、微信群进行小组间讨论,或与教师交流,进一步完善教学案例并提交教学案例文档至云班课平台。教师借助云班课和雨课堂智慧教学平台记录功能分析教学案例课上课下完成情况,并与学生共同评价选出优秀案例,最终共同完成案例结果评价。

4.2 课程教学改革效果

在以上教学过程中利用云班课和雨课堂等智慧教学平台开展教学,覆盖课前、课中与课后三个教学环节,形成了混合式智慧教学模式,营造了开放互动的教学氛围,促进线上、线下多种教学方法的融合,实现教与学、学与做的融合,满足了对电子信息类研究生个性化创新型人才培养的需要。

课程利用智慧教学环境下现代信息技术作支撑,采用项目案例教学、研讨式教学、问题探究式教学和讨论教学等灵活组合的教学方法,与学生共同探讨问题,通过师生互动、生生互动合作完成课程知识系统的构建,提高学生的课堂课外参与度,增强学习的内部动机,激发学习兴趣,促进了智

慧学习新方式,从而在更好的达成了本课程的培养目标的情况下还促进了教学手段的创新。

通过对我院电子信息类研究生展开问卷调查,学生对基于云班课或雨课堂智慧教学平台的教学认可度较高。这是因为在智慧教学环境下,学生可充分利用碎片化时间,进行不受空域限制的泛在学习,符合学生的学习习惯,提高了学生参与度,颇受认可欢迎。

5 结语

本课程依据智慧教育理念,利用智慧教学环境和现代信息化技术,立足研究生智慧型人才培养的需求特点,探索智慧教育时代电子信息类研究生培养的新模式,研究智慧教学在研究生课程教学中的应用,重点从教学机制、资源提供和培养方法等方面开展实践工作。通过团队教学改革与实践,该成果树立了“学生个性化学习、教师精准化教学”的教学改革理念,形成“课前一课中一课后一线上一线”基于智慧教学软件的五维对接一体化的智慧教学育人情境,满足了电子信息类研究生个性化创新型人才培养需要。

参考文献

- [1] 刘革平,刘选.跨学科比较视域下智慧教育的概念模型[J].电化教育研究,2021,42(3):5-11.
- [2] 张秀梅,田甜,田萌,萌等.近十年我国智慧教学研究的演变与趋势[J].中国远程教育,2020(9):62-69.
- [3] 杨现民,余胜泉.智慧教育体系架构与关键支撑技术[J].中国电化教育,2015(1):77-84.
- [4] 王慧.基于网络学习空间的智慧教学设计与实践探索[J].中国电化教育,2016(11):87-93.
- [5] 李晓虹,王梓宁.智慧教学对大学生深度学习的影响—基于国内外35篇定量文献的元分析[J].湖南师范大学教育科学学报,2023.22(5):45-55.
- [6] 张晓俊,吴迪,肖仲喆,等.《现代数字信号处理》P2BL动态教学模式建立与实践[J].科技创新导报,2019,16(24):189-190.
- [7] 张晓光,段元星,王艳芬.混合教学模式下“现代信号处理”案例教学探索[J].教育教学论坛,2021(15):22-25.
- [8] 魏宏安,陈由甲.研究生现代数字信号处理实践教学改革的探索[J].实验室研究与探索,2021,40(7):158-161.

Design of intelligent resource scheduling algorithm for university computer laboratory based on deep learning

Qinbu Hou

Xi'an Institute of Physical Education, Xi'an, Shaanxi, 710068, China

Abstract

With the continuous expansion of computer laboratory teaching in higher education institutions, the rational allocation of laboratory resources has become crucial for enhancing teaching quality and utilization efficiency. Traditional scheduling methods struggle to adapt to complex and ever-changing demands, resulting in low resource utilization rates and frequent conflicts. To address this challenge, this paper proposes a deep learning-based intelligent scheduling algorithm. By constructing multi-dimensional feature models and integrating long-short term memory networks (LSTM) with reinforcement learning, the algorithm achieves dynamic optimization of laboratory resource allocation. Experimental results demonstrate that this approach significantly improves resource utilization efficiency, reduces conflict rates, and accelerates scheduling response times, demonstrating strong practical value and promising application prospects. Finally, the paper discusses the limitations of the algorithm and outlines future improvement directions.

Keywords

deep learning; intelligent scheduling; computer laboratory; resource optimization; LSTM; reinforcement learning

基于深度学习的高校计算机实验室资源智能调度算法设计

侯沁哺

西安体育学院, 中国 · 陕西 西安 710068

摘 要

随着高校计算机实验教学规模不断扩大, 实验室资源的合理调度成为提升教学质量和使用效率的关键。传统调度方法难以适应复杂多变的需求, 存在资源利用率低和冲突频发等问题。针对这一现状, 本文提出基于深度学习的智能调度算法, 通过构建多维度特征模型, 结合长短期记忆网络 (LSTM) 和强化学习, 实现实验室资源的动态优化分配。实验结果表明, 该算法有效提升了资源利用率, 降低了冲突率, 并加快了调度响应速度, 具有较强的实用价值和推广前景。最后, 文章探讨了算法的不足及未来改进方向。

关键词

深度学习; 智能调度; 计算机实验室; 资源优化; LSTM; 强化学习

1 引言

高校计算机实验室作为信息技术教学重要平台, 其资源调度的科学性直接影响教学效果和设备利用效率。随着课程和学生数量增长, 实验室资源管理面临更大挑战。传统人工调度效率低, 难以灵活应对多变需求, 导致设备闲置或冲突, 制约教学发展。近年来, 深度学习技术在资源调度领域展现出显著潜力, 能够通过对复杂数据建模, 挖掘潜在规律, 为调度优化提供科学支持。本文设计了一套基于深度学习的智能调度算法, 旨在实现实验室资源动态分配, 提升使用效率和服务水平。

【作者简介】侯沁哺 (1981-), 男, 中国山西沁水人, 硕士, 讲师, 从事体育信息研究。

2 研究背景与现状分析

2.1 高校计算机实验室资源调度现状

高校计算机实验室资源涵盖计算机终端、网络设备、软件授权及实验空间等多种类型, 这些资源的合理配置是保障教学顺利进行的基础。调度过程中不仅涉及实验课程时间安排, 还包括设备合理分配、日常维护和应急管理等多重环节。目前, 多数高校仍依赖人工排班或简单信息化管理系统, 缺乏智能调度工具, 难以应对复杂多变的需求。实验课程种类繁多, 学生选课灵活且存在临时调整, 传统调度方法响应缓慢, 无法实现资源的动态优化分配, 导致部分设备闲置而另一部分出现使用冲突, 影响教学体验和资源利用效率。同时, 缺乏对实验资源使用状态的实时监控和预测, 增加了管理难度。

2.2 调度算法的研究进展

资源调度问题属于典型的多目标、多约束组合优化问

题,传统解决方案多依赖启发式算法、遗传算法以及整数规划方法,这些方法在静态或小规模场景中表现较好,但面对大规模动态数据时,调度效率和适应性明显不足。近年来,随着深度学习技术的快速发展,尤其是循环神经网络(RNN)及其改进型长短时记忆网络(LSTM)的兴起,调度问题的解决进入了新阶段。LSTM能够有效处理时序依赖性强的复杂数据,适合对实验室资源需求的时间序列预测与调度优化。此外,强化学习技术为调度策略的自适应优化提供了理论基础,通过与环境交互不断调整策略,显著提升调度决策的智能化水平。当前学术界和工业界正在积极探索将深度学习与强化学习结合应用于资源调度,以实现实时、高效动态调度系统。

2.3 研究意义与挑战

基于深度学习的高校计算机实验室资源调度不仅有助于提升资源利用率,避免设备闲置,还能有效降低设备冲突和等待时间,改善师生使用体验,提升整体教学质量。智能调度系统能够自动感知和适应环境变化,实现资源分配动态优化,极大地缓解管理人员工作压力。然而,目前该领域仍处于初步探索阶段,面临诸多挑战。首先,实验室调度数据往往存在采集不完整、标注不足问题,限制了模型训练效果;其次,深度学习模型本身复杂度高,计算资源消耗大,难以满足实时调度需求;此外,调度系统需兼顾公平性、稳定性等多重指标,算法设计需平衡多目标优化。如何设计高效、适应性强且易于部署的智能调度算法,成为当前亟待突破的关键技术瓶颈。

3 基于深度学习的智能调度算法设计

3.1 系统架构与数据预处理

智能调度系统由数据采集、特征提取、模型训练与预测以及调度决策四大模块组成。数据采集覆盖实验课程安排、学生预约记录、设备使用状态、维护日志及异常事件等多维信息,形成丰富的原始数据集。针对这些异构数据,首先进行数据清洗,剔除冗余和异常记录,补齐缺失值,确保数据质量。随后,通过归一化和标准化处理,将各类数据统一至同一尺度,消除量纲差异。为充分挖掘时间序列特征,系统采用滑动窗口技术构建时序样本,窗口长度和滑动步长根据实验室调度频率精细调节。该方法保证输入数据既包含近期动态信息,也涵盖一定的历史趋势,有助于提升模型对资源使用规律学习能力。此外,结合类别编码和嵌入技术,将离散变量转化为连续向量,增强特征表达能力。整个预处理流程为深度学习模型训练与预测奠定了坚实基础,确保数据输入准确性和有效性。

3.2 模型结构设计

针对实验室资源调度时序依赖性和复杂约束特点,本文设计了双层长短时记忆网络(LSTM)结构。第一层LSTM聚焦捕捉短期波动及突发事件,能够快速响应临时

调整和预约变动,提升模型的敏捷性和响应速度。第二层LSTM则负责挖掘长期趋势与周期性规律,为整体调度提供稳定参考和更准确的预测。网络的输出端通过多层全连接层映射至资源需求的概率分布空间,支持对未来一段时间内资源使用的精确预测。为提升调度策略智能化水平,模型引入强化学习模块,该模块通过环境反馈机制不断调整和优化调度策略。强化学习代理基于当前状态和动作收益评估,学习如何在多目标和多约束条件下权衡资源分配,显著增强了模型在实际应用中的适应性和鲁棒性。该融合结构有效整合了时序预测与决策优化的优势,适合动态、复杂的实验室资源调度场景,具备较强的实用价值和广泛的应用前景。

3.3 损失函数与训练策略

损失函数的设计紧密围绕调度目标展开,综合考虑资源冲突、设备闲置率以及任务完成延迟等多重因素,采用加权求和形式。权重参数根据不同调度目标的重要程度动态调整,以满足实际管理需求。具体而言,资源冲突的惩罚权重较高,旨在减少设备重复预约和使用冲突;闲置率惩罚防止资源浪费,促进设备充分利用;任务延迟惩罚则确保教学活动按计划顺利进行。训练过程中,模型采用Adam优化器,该算法具备自适应学习率调整能力,有助于提升训练稳定性和收敛速度。为避免模型过拟合,采用早停策略及学习率衰减机制,确保训练过程平稳。数据集划分合理,将历史调度数据分为训练集、验证集和测试集,保证模型具备良好泛化能力和实际应用价值。训练阶段还结合交叉验证技术,进一步提升模型在不同时间段和场景下的稳健性与可靠性,增强模型应用的广泛性和稳定性。

4 算法实现与性能评估

4.1 实验环境与数据集

实验平台基于Python语言,采用TensorFlow深度学习框架进行模型搭建与训练,借助其丰富的神经网络构建库和高效的计算加速能力。硬件环境配置了多块高性能GPU,用以提升训练速度和模型调优效率。数据集采集自某高校计算机实验室,涵盖2019年至2023年多个学期的真实调度记录,数据量庞大且结构复杂,包含课程安排时间、学生预约情况、设备使用状态、维护保养记录及异常事件日志等多维特征信息。数据经过严格预处理,确保其完整性和准确性,且对异常值进行了特殊处理以保证数据质量稳定。此外,数据集的时间跨度足够长,有利于模型学习长期变化趋势和季节性规律。实验环境稳定可靠,能够满足深度学习算法对计算资源的高要求,确保模型训练和测试过程高效顺畅,有效支持算法性能的全面验证。整个实验流程严格规范,保障了结果的科学性与可重复性,为后续算法优化提供了坚实的数据支撑和环境基础。

4.2 性能指标

为全面评估所设计深度学习调度算法的性能,选取了

多项关键指标。首先,资源利用率作为衡量实验室设备和空间使用效率的重要参数,反映资源被合理调配的程度。其次,冲突率是衡量不同预约任务之间是否存在时间或设备重叠冲突的指标,直接关系到教学顺利开展。调度响应时间指标用于评估算法对动态预约变动的处理速度,体现系统的实时性和灵活性。最后,结合学生满意度调查数据,间接反映调度方案的实际应用效果和用户体验。为确保评测的客观性和科学性,将所提算法与传统启发式调度方法及遗传算法等经典优化算法进行对比分析,综合体现算法在多方面的优势和不足,提供全面且权威的性能评估参考。这些指标共同反映了算法的综合表现和实际应用价值,为算法的推广应用提供了有力的数据支撑和理论依据。

4.3 实验结果分析

实验结果表明,基于深度学习的智能调度算法在多个指标上均优于传统调度方法。具体来看,资源利用率平均提升约15%,显著增加了设备和实验空间的有效使用时间,有效减少闲置浪费。同时,冲突率降低超过20%,大幅减少了不同任务之间的预约冲突,保障教学活动顺畅进行。调度响应时间明显缩短,算法能够实时响应学生预约变动及临时调整请求,显著提升系统灵活性和服务质量。通过结合学生满意度调查,发现采用该算法后学生对实验室预约管理的认可度和满意度均有明显提升。模型在多轮训练和测试中表现出较强的稳定性和鲁棒性,能够适应不同时间段及预约模式变化,具备较强的推广应用价值。综合分析,该算法为高校计算机实验室资源调度提供了有效的智能化解决方案,极大推动了实验室管理的现代化进程,为未来的研究与实践奠定了坚实基础,促进智慧校园建设的不断深化和发展。

5 算法应用与优化

5.1 系统集成与实际应用

智能调度算法成功集成至高校现有的实验室管理平台,实现预约流程的全线上化,极大方便了师生的使用。系统支持PC端、移动端及微信小程序等多终端访问,满足不同用户的使用习惯,显著提升用户体验。动态资源分配功能能够实时响应预约变动,自动调整资源配置,确保教学活动的连续性和高效性。同时,系统内嵌异常预警模块,能在检测到预约冲突、设备异常或资源紧张时及时提醒管理人员,防止潜在问题扩大。为持续提升调度性能,平台搭建完善的反馈机制,自动收集用户使用数据和调度结果,形成闭环数据流。

通过对历史运行数据的深度分析,模型能够实现迭代训练和优化,不断适应教学需求的变化。该系统不仅大幅提升管理效率,也为高校智慧校园建设奠定坚实基础,具有良好推广应用前景。

5.2 存在问题与改进方向

尽管基于深度学习的调度算法在多方面表现优异,但在实际应用中仍存在一定不足。首先,在突发事件和极端高峰期,系统的响应速度和调度精度仍有待进一步提升,特别是在资源紧张和需求急剧波动时,调度策略的实时调整能力需增强。其次,部分关键且稀缺资源的调度仍显不均衡,导致少数资源长期处于紧张状态,影响整体公平性和使用效率。此外,当前模型训练高度依赖历史调度数据,面对环境和需求变化时适应性有限。未来研究可引入迁移学习技术,借助已有模型在新环境中快速调整,提升泛化能力和灵活性。同时,结合图神经网络深入挖掘实验室资源的结构化和关联特征,提升模型对复杂资源关系的理解与调度智能水平。持续优化算法结构与训练机制,将为高校实验室资源管理带来更加智能、高效的解决方案。

6 结语

高校计算机实验室资源智能调度是提升教学资源效能的重要手段。本文基于深度学习技术,设计并实现了一套智能调度算法,成功解决了传统调度方法存在的资源利用率低和冲突频繁问题。实验结果表明,该算法具备较强的动态调整能力和良好的应用前景,能够有效适应复杂多变的教学需求。未来,随着深度学习模型和计算能力的不断发展,智能调度将在高校实验室管理中发挥更加关键的作用,为实现教育信息化和智慧校园建设贡献更大力量。

参考文献

- [1] 王晓辉.基于Java语言的高校实验室管理系统设计研究[J].信息记录材料,2024,25(12):191-193.
- [2] 苏桐.面向人工智能的Python程序设计课程教学改革探析[J].办公自动化,2024,29(09):47-49.
- [3] 吕佳,曾梦瑶,彭港建.地方高校人工智能专业课程体系建设路径探究[J].软件导刊,2023,22(11):235-240.
- [4] 杜航原,王文剑,张虎,等.面向新工科的高校人工智能创新实验室建设[J].西部素质教育,2023,9(16):9-12.
- [5] 白一鸣,牛小兵,赵永生.面向自动化类专业的智能机器人实验室建设[J].中国现代教育装备,2022,(17):45-46+56.

Analysis of Battery Energy Storage Technology and Its Application in Communication Power Supplies

Wenbo Bi

Shanxi Branch of China Tower Corporation Limited, Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract

In recent years, while China's information and communication infrastructure has been continuously improving, communication systems have also put forward higher requirements in many aspects such as power quality, power supply continuity and energy management. Although traditional municipal electricity combined with diesel power generation is supplemented by batteries, it still has problems such as high energy consumption and complex operation and maintenance, making it difficult to meet the demands of the new era. Therefore, the adoption of battery energy storage technology that can enhance power supply flexibility as a supplementary power source for communication power has gradually become an important development trend. Based on this, this article, in combination with the research and practical background, puts forward several viewpoints on battery energy storage technology and its application in communication power supplies for reference.

Keywords

Communication power supply Battery energy storage technology Application; Value; Path; Analysis

通信电源中的电池储能技术及其应用分析

毕文波

中国铁塔股份有限公司山西省分公司, 中国 · 山西 太原 030000

摘 要

近几年来,在我国信息通信基础设施不断完善的同时,通信系统在电能质量、供电连续性与能源管理等众多环境也有了更高的要求。传统市电+柴油发电虽辅以蓄电池,但仍存在能耗高、运维复杂等问题,难以满足新时期需求。因此,采用可提升供电弹性的电池储能技术作为通信电源的补充电源逐渐成为了重要发展趋势。基于此,文章结合研究与实践背景下就通信电源中的电池储能技术及其应用提出几点看法,以供参考。

关键词

通信电源; 电池储能技术; 应用; 价值; 路径; 分析

1 引言

通信电源系统必须满足高可靠性、高效率、不间断供电等严格要求,以确保通信网络的稳定运行。电池储能技术作为备用电源和能量缓冲的重要手段,在通信电源系统中占据重要地位。本文将从电池储能技术的基本原理出发,分析其技术特点,并探讨其在通信电源中的应用。

2 电池储能技术概述

电池储能技术是指利用电池将电能以化学能的形式储存起来,并在需要时将其释放为电能的过程。根据储能介质的不同,电池储能技术可分为多种类型,如铅酸电池、锂离子

子电池、钠硫电池等^[1]。其中,锂离子电池因其高能量密度、长循环寿命和环保特性,在通信电源领域得到广泛应用。电池储能系统通过与通信电源系统中的整流器、配电单元、负载侧进行直流侧或交流侧耦合,实现对通信基站、数据中心及传输机房等核心节点的供电冗余、峰谷削峰、能效提升与运维智能化功能。其与通信电源系统的高度融合性使其不仅承担供电保障功能,还能实现能源管理的智能调控与绿色节能的核心目标。

3 通信电源中电池储能技术应用价值

在我国通信网络快速发展的背景下,需要提高核心节点和边缘设备的电源系统稳定性以及供电的连续性,特别是一些地方应用 5G 基站、边缘计算中心和城域传输网之后,传统的由铅酸电池作为备用电源已经不能够适应机柜中服务器密集分布、供电场合具有一定的间歇性负载以及周围高温等要求。因此可以在直流供电环节应用电池储能技术,通

【作者简介】毕文波(1979-),男,中国山西太原人,本科,高级工程师,从事移动通信、通信基站塔房及配套设施维护、智能运维研究。

过增加以磷酸铁锂为代表能效高的电池单元,再配合适当的智能 BMS、双向变换,组成电池储能装置使用,不仅可以解决不间断供电问题,而且还能够支持负载分级管理、SOC 状态实时追踪与模块化并网扩展等能力,从而有利于通信电源长期依赖被动冗余的结构局限这一弊端予以解决。就目前工程实践而言,主干传输节点多采用高压直流 $\pm 240\text{V}$ 架构,配套电池储能系统通过 DC/DC 升压模块接入主母线,实现电网断电下毫秒级切换供电;而在偏远基站、光缆放大站与微模块机房场景中,储能单元则与光伏系统协同运行,形成分布式光储一体化供能架构。上述实践充分体现出电池储能系统对供电连续性保障能力的扩展,也推动了通信电源向去中心化、自恢复与宽温工作的方向演进^[2]。在系统设计层面,工程师需基于负载功率、环境温区、站点等级制定储能配置策略,并结合 GB50174 与 YD/T2343 等行业规范完成整机热设计、电气隔离与接地保护布置,实现储能系统在通信电源中的深度集成与场景适配,构建具备智能调度能力的能源底座。

4 通信电源中电池储能技术应用路径

4.1 基于磷酸铁锂电池的通信基站后备电源系统构建

对于通信基站后备电源系统而言,可采用由磷酸铁锂作为主导取代铅酸电池成为常用的储能单元,具体实施上应基于基站最大功率负载 $P_{\max}$ 以及业务连续性需求,通过 $1.5P_{\max} \times t$ (t 为目标备电时间) 的方式确定电组的额定容量值,同时考虑倍率特性的需要检验其输出的能力,确保电池组处于异常温湿度或者突增负载状态下仍能稳供。系统架构采取多个 DC 母线并联冗余设置,且其电压通常选择为 48V 和 240V 两种形式,磷酸铁锂电池组也是经由双向 DC/DC 变换器接入并支持 CC-CV/CP 充电形式,以实现独立充放电通道、能量反馈以及具有不间断地运行工作特性。电池管理系统 (BMS) 嵌入高精度电压、电流与温度采样模块,内嵌均衡控制算法及 SoC/SoH 预测模型,支持 CAN/RS485 与主控系统通信,并具备内部短路、热失控、过压欠压等多重保护机制。为提升系统热稳定性,在高温高湿或半封闭基站环境中,应配置独立风冷系统或液冷板式散热单元,风冷需配置 PWM 调速模块并关联热敏控制逻辑,液冷系统则应配套循环泵与冷却液传感器闭环控制,控制策略以电芯温度实时分布为基准进行调节。基于增强通信电源抗雷击、过压冲击能力,整流模块与电池组输入端并联浪涌抑制器 (SPD)、压敏电阻,同时采取共模/差模电感滤波器减低 EMI 干扰,从而实现直流母线电压稳定。通信电源还须采取嵌入式远程动力监控单元接入通信运营商 NOC 平台,支持历史电流轨迹、等效内阻变化曲线、故障自诊断报告等数据远程调用、告警推送,以增强通信电源系统的远程运维能力和智能化管理水平。另外,电池安装时严格按相关国标、行标执行,同时执行电芯一致性筛选、连接导体压接力矩、绝缘等级的验

证确认,且接线端子处采用高阻燃等级外壳,并加装接触温度检测模块,保证通信电源长期可靠运行。

4.2 通信室内机房 UPS 侧锂电储能模块配置

对于通信室内机房供电系统的 UPS 侧锂电储能模块而言,需要按照通信行业高标准的要求进行该系统设计,具体为:考虑到电池单体器件的串联/并联技术能够直接应用于储能系统的设计上,可选择磷酸铁锂电池 (LiFePO_4) 组成 16 节电池串的标准机架式储能模块,每个模块的尺寸采用通信机房的标准尺寸,单组模块的标称电压值为 51.2V,并根据负载功率及备用时间需求采用 N+X 的方式进行扩容,并联模块支持 2P~10P 配置。储能系统可通过 RS485 或者 CAN 通信协议接入 BMS 网络,实现各模块间的均分和并机,并且其通信速率、拓扑结构、地址等参数均应满足 YD / T2344—2017 和 YD / T2343—2020 的要求。模块之间电流均衡可以采用主从方式互连或者采用 CAN 多主节点控制+分布式的 BMSSOC 均衡算法,以抑制并联模块之间因为内阻不同而造成的偏充和偏放问题。建立 UPS 系统输出侧到储能模块之间的闭环反馈路径,同时逆变器控制系统配备有实时电压采样、实时电流采样功能模块,应用 PI 控制型动态电压跟踪算法,使得逆变器输出与储能相匹配,两者响应时间小于 10ms,以实现负载侧零切换运行^[3]。系统部署中,需对电池柜布局进行热场仿真与载荷应力评估,保证电芯在 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 范围内运行,柜体须满足 GB50174 机房标准关于通风散热、接地绝缘距离不少于 30mm、电缆走线独立隔离的结构要求。每组储能模块应配置独立消防传感单元,包括热失控检测传感器、烟感及高精度温升传感器,其信号需通过 RS485 总线接入上层 EMS 系统,实现三重安全触发机制。

4.3 偏远基站分布式光储一体化方案

在电网覆盖能力不足或长周期供电中断的偏远地区,通信基站电源系统需具备高自治性与环境适应能力,分布式光储一体化系统因其离网运行能力成为当前主力技术路径。系统结构采用闭环直流链路架构,典型构型为“光伏组件—直流汇流箱—MPPT 控制器—磷酸铁锂电池储能单元—DC 负载”,以实现电能高效转换与存储管理。光伏组件依据区域辐照强度选型,通常采用单晶 PERC 组件,匹配 1100~1500V 直流母线电压等级,通过汇流箱进行多串并联接入,确保组件间均流及防反二极管保护。MPPT 控制器具备动态追踪特性,其核心算法集成增量导纳法与模糊控制机制,以实现全天候最大功率点实时跟踪。储能模块选用具备 -40°C 至 $+60^\circ\text{C}$ 宽温运行能力的磷酸铁锂电芯,电芯组串设计依据负载配置容量与连续供电时长进行精确匹配,常规采用 48V/100Ah 以上模块化单元,并配置 BMS 系统实现电压、电流、温度等多维参数的实时监控与故障阻断控制。通信电源系统控制单元以工业级微控制器为平台实现,实现了功率预测、荷电状态 (SOC) 动态调度、负载优先级控制以及能量路径最优配置,支持 Modbus 或者 CAN 通讯协议接

人远程监控平台,实现了基站远程无人值守运维管理,在夜晚或者没有阳光的时候,就会切换到储能供电通道,同时还可根据负载侧实时采样出来的电流大小,自动调节为合理的供电匹配方式,以备随时为用户设备提供稳定可靠的电量。为了适应高原、戈壁、沙漠等恶劣环境使用需求,需要考虑风压载荷、砂尘腐蚀、高海拔气压差等因素影响,在支架结构设计上使用铝合金型材支架,并设置抗风等级 ≥ 13 级,系统整体防护等级不低于IP65,外壳密封使用耐紫外线密封胶条、防凝露结构设计,防止组件、电气单元受到环境的影响,保证了组件与电气单元处于稳定的运行环境中。

4.4 融合馈线电压补偿的高动态储能驱动通信电源系统设计

针对高负载波动通信基站供电特性,设计集成馈线电压自动补偿功能的高动态响应储能供电系统,以提升电能传输稳定性。系统架构选用双母线并联结构,其中主母线配置高频整流模块,副母线接入动态功率响应型磷酸铁锂储能单元;储能侧采用双通道DC/DC升降压变换器,每通道设计独立的恒压输出通道与动态电压跟踪通道,分别对基站静态负载与突发负载进行差异化响应控制。DC/DC控制器集成多通道高速ADC模块,具备 $\leq 50\mu\text{s}$ 响应速率的电压、电流同步检测能力,结合动态滑模控制算法与扰动抑制PID闭环调节,实现负载侧电压波动在 $\pm 3\%$ 以内稳定控制。储能电池簇内部单体电芯采用低内阻、高倍率放电特性的 LiFePO_4 电芯,具备3C放电能力,模组级BMS具备多段输出电流预测模型与分段保护机制,实现电芯级的热均衡管理及电流共享调度。系统配置远程可视化采样终端,通过高精度霍尔电流传感器实时监测馈线电压差,并将信号反馈至EMS调度平台,平台基于实时负载模型调整储能输出电压与电流分配策略,确保高动态负载条件下通信设备稳定运行。系统电缆布设采用双层铝箔+编织屏蔽结构电缆,传输路径进行全程等电位接地,接线端子布设接触温升监测与接线松动检测模块,并满足YD/T 2165通信电源抗干扰标准的屏蔽接地设计要求。

4.5 具备残余电流管理的微电网嵌入式通信基站储能方案

在通信基站分布式微电网场景中,构建具备残余电流自适应管理能力的嵌入式储能系统,以提升电能有多源接入

下的协同运行能力。系统拓扑采取“市电+光伏+储能”三源并联模式,储能系统基于模块化磷酸铁锂电池架构构建,每个模组采用48V/200Ah标准化电池包并集成主/副BMS架构以强化电芯数据精度;核心DC/DC变换模块配置具备残余电流检测与反馈抑制控制单元,该模块利用零序电流互感器与快速采样ADC进行环路电流同步采样,通过模糊神经网络判别算法识别残余电流异常特征,对不同工况下的谐波注入、电网波动、电容泄漏路径电流进行快速分类响应,并动态调整储能输出的PWM调制策略,降低因多源并网引发的局部馈线电压不稳问题。储能控制逻辑嵌入电流反向抑制器(CRI)模块,其响应时间不大于1ms,可在检测到反向功率流入时立即阻断能量路径,并反馈至EMS进行能量优先级切换。系统通讯接口采用双CAN总线设计,并具备抗电磁干扰滤波模块,其所有通信信号接入前配置共模扼流圈与TVS二极管以抑制浪涌干扰;系统安装布线中所有接入端口采用IP67防护接插件,柜体具备自密封正压结构,采用热循环风冷+热管辅助散热方式,并设计余压保护单元以防止尘埃与高湿环境侵蚀电芯,保证系统长期可靠运行。

5 结语

我国通信行业正在由传统高能耗模式向智能化、绿色化方向迈进,电池储能技术的引入为通信电源系统提供了更为稳定、高效且环保的电能保障手段。本文从电池储能技术的基本原理出发,结合国内通信电源系统的应用现状与实践经验,系统分析了储能技术在该领域中的多层级价值,并提出了具体的实施路径与工程做法。

参考文献

- [1] 宋嘉皓,张瑜,郑骏文,等.钠离子电池在通信行业的应用技术分析[J].电信工程技术与标准化,2024,37(S01):148-152.
- [2] 朱科.电池储能技术在电力系统中的应用[J].通信电源技术,2023,40(7):132-134.
- [3] 青兆煦.创新电源技术在5G无线网络建设中的应用[J].移动信息,2023,45(5):44-46.
- [4] 郑志明.储能技术在新能源电力系统中的运用[J].通信电源技术,2024,41(2):104-106.
- [5] 魏敏.磷酸铁锂电池在通信电源中的应用分析[J].通信电源技术,2023,40(9):123-126.

Design of Urban Smart Charging Station Control System Based on IoT Platform

Gaogang Rao

Guangdong Telecom Planning and Design Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510630, China

Abstract

In order to meet the charging needs of urban electric vehicles and solve the functional defects of traditional AC charging piles, a smart charging pile control system for cities is designed based on the Internet of Things platform. Firstly, elaborate on the overall design of the urban smart charging pile control system, analyze the system's structural framework and functions, and conduct detailed design based on hardware and software aspects. In terms of hardware, the main focus is on determining the microcontroller unit and designing the circuits for key hardware. In terms of software, the overall control process and important module programs are introduced in sequence. Finally, testing was conducted on the system functions, and the results showed that the system functions met the design requirements, verifying the feasibility of building a smart charging pile control system based on the Internet of Things platform.

Keywords

Internet of Things; Smart charging station; System design; functional testing

基于物联网平台的城市智慧充电桩控制系统设计

饶高钢

广东省电信规划设计院有限公司, 中国 · 广东 广州 510630

摘 要

为满足城市电动汽车的充电需求, 解决传统交流充电桩的功能缺陷, 以物联网平台为基础, 设计城市智慧充电桩控制系统。首先阐述城市智慧充电桩控制系统的总体设计, 分析系统的结构框架及功能, 并立足硬件、软件两个方面进行详细设计。硬件方面, 主要确定微控制单元并设计关键硬件的电路, 软件方面, 依次介绍总体控制流程及重要模块程序。最后针对系统功能展开测试, 结果表明, 系统功能符合设计要求, 验证了以物联网平台为基础构建智慧充电桩控制系统的可行性。

关键词

物联网; 智慧充电桩; 系统设计; 功能测试

1 引言

建设智能化、功能多元化基础设施是智慧城市建设的重点。在城市电动汽车保有量逐步提升的背景下, 智慧充电桩建设需求逐步诞生。然而传统交流充电桩具有功能少、利用率不高、土地占用面积大等问题, 与智慧城市建设的节约性、便捷性要求并不相符。同时, 传统充电桩还存在布线成本高昂、覆盖面积过窄等问题^[1]。为此, 需要打造集照明与充电功能于一体的智慧充电桩控制系统, 依托物联网平台实现一体化管理, 从而达到节约照明能耗、降低城市基础设施维护管理成本的目的。

【作者简介】饶高钢 (1976-), 男, 汉, 广东广州人, 硕士, 高级工程师, 从事ICT规划设计、系统集成、系统咨询研究。

2 基于物联网平台的城市智慧充电桩控制系统总体设计

2.1 系统结构框架

智慧充电桩控制系统由智慧充电桩主控系统、通讯模块主控系统两部分结构组成, 前者主要用于提供各种不同的数据通讯接口, 包括噪声传感器接口、云端远程监控接口、用户配置接口等。而后者则负责控制交流充电模块、照明模块、温度传感器及红外感测器等。两个主控系统采用不同芯片, 具备不同功能, 以提升模块移植的便利性, 降低软件开发总体周期。智慧充电桩控制系统结构图详见图 1 所示。

2.2 结构功能分析

本控制系统输出功率为 7KW, 220V 工频交流电连接到电网上, 利用交流接触器控制高压供电回路的开启与闭合; 主控系统的 I/O 口负责输出高电平与低电平, 经由 12V 驱动芯片, 控制继电器的通断, 然后由 12V 继电器负责交流接触器驱动线圈回路的开合, 进而达到大功率控制目标;

安装于充电桩主控系统 PCB 板上的电压或电流互感器负责采集充电电压及电流数据,工频电流与交流充电桩之间设置交流接触器、智能电表,且主控系统上还设置了 RS-485 接口,用于实现智能电表通讯;智慧充电桩输出的是双极性 PWM 信号,功率为 $\pm 12\text{V}$,以支持充电桩控制导引功能,根据 PWM 信号峰值可判断充电桩工作状态有无异常;充电指示灯有红、黄、绿三种颜色,分别表示故障、充电、电源开启,还设置了四脚急停开关,用于紧急状态下切断高压电

源;红外感测器、温度传感器、噪声传感器则主要用于收集光照、温度及噪声数据,前两者的输出电压上限值均为 5V ,后者采用 TTL 电平形式经由通讯主控系统提供的串口向系统传送数据;智慧充电桩设置两组功率上限为 50W 的 LED 灯,用于实现照明功能,以红外感测器获取的环境光照数据为依据,利用继电器控制 LED 灯启闭,并根据光照情况调整亮度。

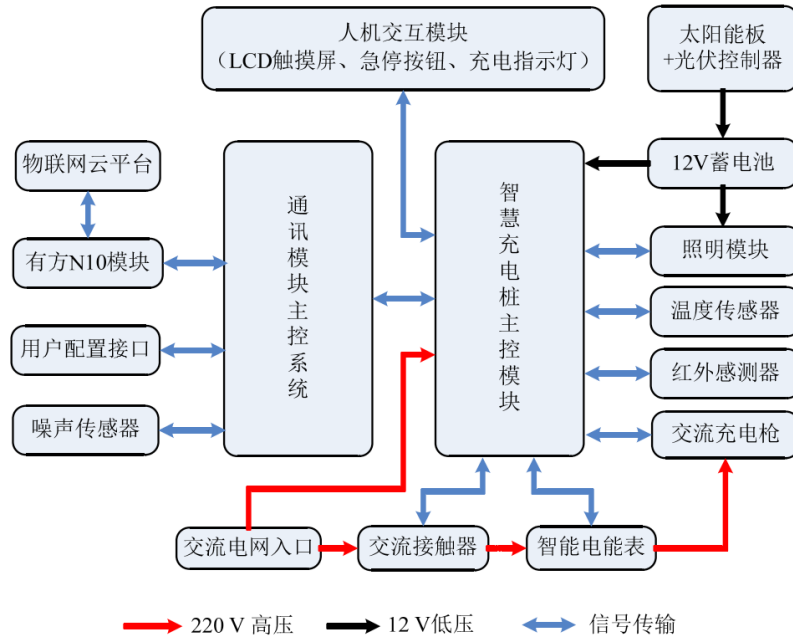


图1 智慧充电桩控制系统结构示意图

3 基于物联网平台的智慧充电桩控制系统硬件设计

3.1 微控制单元选型

作为智慧充电桩控制系统的关键结构,微控制单元是接口提供、外部通信的主体,根据实际需求,本文采用汽车级飞思卡尔单片机作为主控单元,型号为 MC9S08DZ60。此单片机具有 8 位 HCS08 中央处理器、60KFlash 存储器,具备读取、编程、擦除三项功能,在线可编程内存及随机存储内存分别是 2K 与 4K。内置闭环控制皮尔斯振荡器,具有 24 通道 ADC 与 12 位分辨率,转换时间为 $2.5\mu\text{s}$,可以自动完成数据对比分析。安装了两个模拟比较器,可与内部参考电压源进行对比^[2]。应用了 CAN 协议,有 2 个 SCI,采用 8 位模数计数器。共有 64 个引脚的,主要应用在模拟转换器、串行通信接口、模拟比较器等模块上。

3.2 关键电路设计

3.2.1 电源电路设计

电源模块包含高压、低压两个充电模块,前者由电网输送 220V 工频交流电,而后者则以 12V 蓄电池作为供电结

构。继电器控制蓄电池输出端正极的连通与闭合,输出端一般处于闭合状态,此时蓄电池可正常供电。蓄电池电路的继电器采用具有 5V 电压的线圈,利用 NPN 型三极管控制继电器动作。电网供电模式下,单片机进入高电平输出状态,导通三极管后,蓄电池输出端会向悬空状态转换,此时可切断蓄电池供电电路。若继电器线圈端口无电压输入,下拉电阻控制三极管保持静止,并利用安装的续流二极管抑制线圈上生成的感生电压,以防止三极管被击穿。在 PCB 板调试过程中,可利用发光二极管显示电源状态。

3.2.2 控制导引电路设计

控制导引模块负责连接确认以及充电控制导引。本文所设计智慧充电桩,利用附带车辆插头、供电插头的独立活动电缆组件连接电动汽车及交流电网,因而充电控制导引电路的主要结构应包括供电控制装置、车辆控制装置、交流接触器、电阻与其开关等结构。车辆控制装置利用检测点间电阻值确认充电桩及车辆插头连接情况,并根据检测点 PWM 信号占空比判断充电桩最大供电电流,因而需增设 PWM 功率放大器,用于放大单片机输出信号。PWM 信号放大电路见图 2 所示。

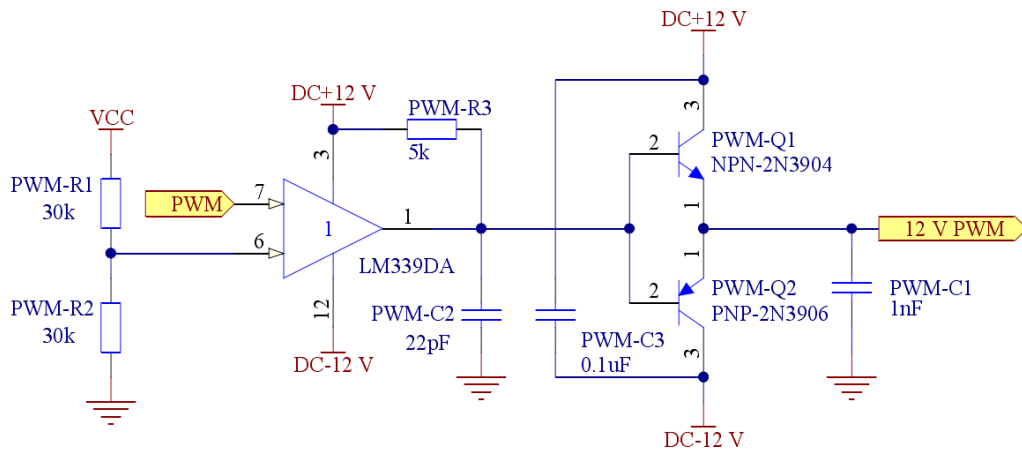


图 2 PWM 信号放大电路

3.2.3 通讯模块电路设计

智慧充电桩通讯模块的主控单元选用 STM32F407ZG 型单片机，其利用串口与主控模块、有方 N10 模块及噪声传感器之间传送通讯信号。该模块设置了 USB 用户接口，可在 PC 端串口助手支持下，对三元组信息进行配置，以识

别用户身份，温度传感器、红外感测器采集的环境监测信息采用模拟量输出形式呈现，主控模块利用 ADC 接口快速完成数据收集任务^[3]。主控模块通过智能电能表收集充电电量数据，利用 RS-485 接口实现充电桩主控模块与通讯主控模块间的通信。通讯模块的 RS-485 通信电路见图 3 所示。

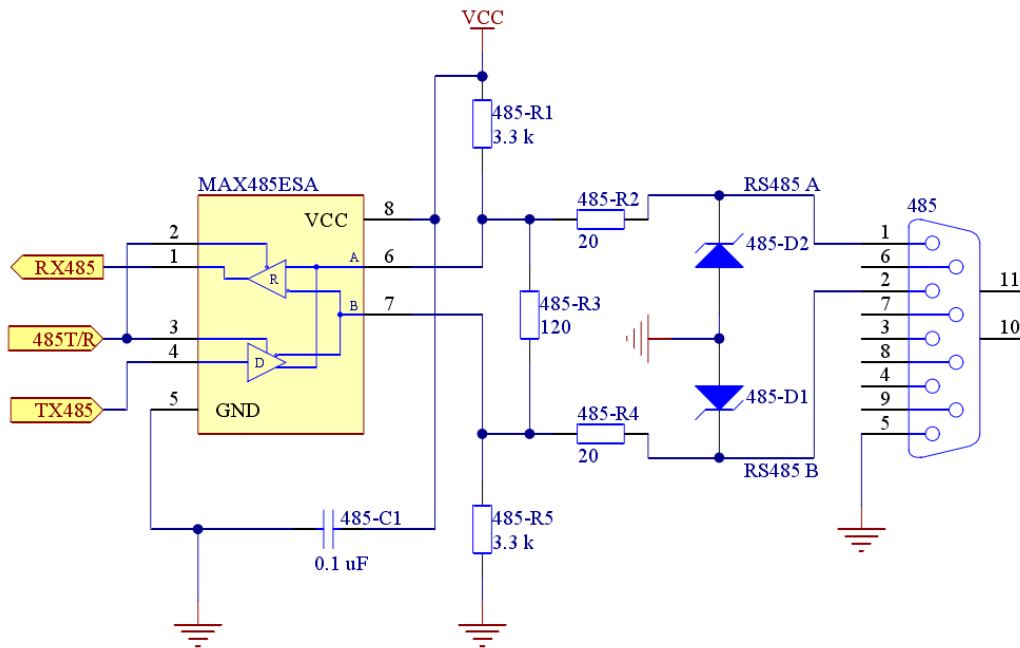


图 3 RS-485 通信电路

4 基于物联网平台的城市智慧充电桩控制系统软件设计

4.1 开发环境

系统软件及应用软件的开发与维护，需要以适合的软件开发环境作为支持，因本文采用飞思卡尔 HCS08 系列单片机作为智慧充电桩的主控系统，所以应选用以 Eclipse 为基础的 CodeWarriorIDE 软件作为开发环境，其具备管理项目、编写 / 编译 / 调试程序等功能，适用于本文选用的 MC9S08DZ60 型单片机。由于通讯模块主控系统所用的单

片机为 STM32F407ZG 型，因而对应开发环境应选用 Keil。

4.2 软件程序设计

4.2.1 控制系统总体工作流程设计

系统主程序选用模块化设计形式，由控制引导、通讯、照明几大模块组成。系统通电后，先进行初始化，再检测蓄电池电量，如果电量过少，先切换为电网供电模式再监测环境。而当电池电量较多时，则不换切供电模式，直接执行温度、光照以及噪声数据等环境数据监测任务。根据监测数据结果控制照明装置启闭。此后，控制系统持续分析充电模块

应用状况,充电桩充电时,切换为充电控制模式,若充电完成或充电模块闲置,控制程序会切换至通讯模块,由此模块执行充电、照明、环境监测数据收集、传送、展示任务,并实现远程控制。

4.2.2 控制导引程序设计

控制导引模块的工作由充电准备、正常充电、充电停止三部分构成。本模块采用充电导引控制策略,在充电桩启动后,先初始化与进行自检,若检测发现设备存在故障立即显示,充电桩停止工作。如果设备检测后未发现故障,开始进行充电准备。先检测CC信号,确认其电压为0后,对检测点电压进行检测,若已由12V下降至9V,供电接口连接完成,此时将+12V状态切换成PWM状态,若检测点电压继续下降至6V,将两个继电器全部闭合,开始充电。充电过程中持续检测剩余电流,若电流低于30mA,采集充电进程,确认充满电后可结束充电。此时,PMW切换为+12V状态,检测开关断开情况,若3s后仍未断开,则强制切换继电器,以中断高压供电回路,此时充电完成^[4]。

4.2.3 通讯模块程序设计

智慧充电桩的主控系统需与智能电能表、LCD触摸屏、通讯主控系统进行通讯,而通过主控系统则要与模块传感器、有方N10模块、用户配置接口通讯。智能电表利用多功能电表通信协议实现与充电桩控制系统的数据传送,选用的是主、从结构相结合的半双工通信模式,主站与从站分别为智慧充电桩主控系统及智能电能表,由主控系统控制通信的建立与解除。控制系统利用智能电能表获取充电电量,通过发送4个前导字节启动电能表,再传送数据帧,校验合格进行数据帧解析。电能表接收到电量信息后形成对应应答帧,传送给主控系统,系统接收且校验无误对充电电量数据进行解析,然后再向LCD触摸屏、通讯主控模块传送相关数据。

5 基于物联网平台的智慧充电桩控制系统测试

为明确本文所设计的智慧充电桩系统的功能效果,采取实验方式进行系统功能测试。实验验证充电桩CP线输出PWM信号发现,控制系统以6至18V电压工作时,CP端可稳定输出+12V电压,且双极性PWM信号输出相对稳定,与充电桩多供电模式下的工作要求相契合。检测点采样误差未超过0.5%,且在占空比不同时,均能处于稳定状态,符合充电桩应用要求,可增强控制导引系统的抗干性,并能降低干扰情况下误动作的发生率。另外,智慧充电桩控制系统LCD人机交互显示屏、急停功能、照明功能均符合使用要求。

6 结语

本文结合城市电动汽车的功能需求,以物联网平台为基础,构建了集照明、环境检测、人机交互、远程监控等多个功能于一体的智慧充电桩控制系统。在系统总体框架结构及功能分析的基础上,依次阐述了电源模块、控制导引、通讯模块的电路设计方法,并给出了控制系统总体流程、控制导引程序以及通讯程序。功能测试发现,智慧充电桩控制系统的电压输出与信号传送均较为稳定,且采样误差较低,还具备良好的人机交互、急停以及照明功能,可以达到智慧充电桩的应用标准。

参考文献

- [1] 谈耿,赵雄峰,丁福军,等.基于物联网的智慧充电桩控制系统设计[J].电子技术与软件工程,2023,(2):154-157.
- [2] 陈峰.基于CPS的城市智慧能源系统体系架构研究[D].东南大学,2020.
- [3] 陈韵含,王婷雯,何松芝,等.一种智慧充电车位控制管理系统的设计与研制[J].科学技术创新,2020,000(012):P.113-115.
- [4] 章涛.多网融合下的智能充电桩系统设计与实现[D].南京理工大学,2019.

Intelligent upgrading path and development trend of DCS control system

Fengxian Yi

Hangzhou Hollysys Automation Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310018, China

Abstract

In the face of a new wave of digitalization, China's DCS control systems have transitioned from traditional closed-loop control to a deeper integration of informatization, digitization, and intelligence, gradually demonstrating the significant application advantages brought by this transformation. Based on China's actual industrial automation conditions, this paper first explains the concept and composition of DCS systems, then discusses the intelligent upgrade path for DCS control systems and forecasts future development trends, aiming to enhance the system's contribution to China's economic and social development.

Keywords

DCS control system; intelligent upgrade; path; development trend

DCS 控制系统智能化升级路径与发展趋势

易凤仙

杭州和利时自动化有限公司, 中国 · 浙江 杭州 310018

摘 要

面对新一轮数字化浪潮,我国DCS控制系统已由传统的闭环控制往深度融合信息化、数字化、智能化转变,并逐渐展现出了这种转变所带来的显著应用优势。为此,本文立足于我国工业自动化实际情况出发,首先阐述DCS系统概念和构成,随后论述DCS控制系统智能化升级路径及其未来的一些发展趋势预测,以期促使该系统为我国经济社会发展作出更大的贡献。

关键词

DCS控制系统; 智能化升级; 路径; 发展趋势

1 引言

随着工业自动化水平不断提高,DCS 控制系统作为流程工业核心控制单元,正面临智能化转型的迫切需求。鉴于此,下文结合研究及实践就 DCS 控制系统智能化升级路径与未来发展趋势提出一些简单认识,以供参考。

2 DCS 控制系统概述

DCS 控制系统又称分布式控制系统,常用于工业生产过程。该系统综合数据通信技术、自动化控制技术。DCS 控制系统由过程控制单元、操作站、工程师站、数据通信系统、传感器和执行器、通信网络等组成。比如过程控制单元是 DCS 控制系统的核心,直接与生产现场连接,负责采集数据、执行控制命令。传感器和执行器是 DCS 控制系统的重要设备,主要用于监测、感应工业生产中的温度、压力、流量等参数,执行器将根据数据情况,控制阀门、泵、电机

等进行执行操作。

与可编程逻辑控制器(PLC)相比,DCS 系统在处理复杂控制逻辑、大规模信号采集与稳定性方面具有显著优势。近年来,国内 DCS 市场逐步从国外厂商主导格局中转变,涌现出如和利时、中控、和远智能等具有自主核心技术的国产品牌,具备较强的系统集成与技术服务能力^[1]。当前我国 DCS 系统在底层控制算法、故障诊断、远程维护及冗余架构等方面已初具自主能力,但在系统开放性、智能决策、自主迭代演化等方面尚处于发展初期,迫切需要通过智能化升级实现 DCS 系统功能向多维扩展、架构向异构融合、控制向智能驱动的深度转型。

3 DCS 控制系统智能化升级路径

3.1 控制架构向异构融合系统转型

DCS 控制系统智能化升级进程中,控制架构由传统封闭式结构向异构融合型系统演进已成为关键路径之一。首先,优化现有控制器体系结构,使用多核异构计算资源模块化的控制器,包含 ARM 处理器和 DSP 处理单元,将过程控制逻辑分派到边缘控制器进行控制任务调度,而数据预处

【作者简介】易凤仙(1982-),男,中国湖南醴陵人,本科,工程师,从事机电工程自动化,DCS控制系统研究。

理逻辑分派到云端控制器实现数据预处理任务的调度,同时支持可插拔式的 I/O 接口和板载实时总线系统,以支持系统对柔性生产的快速响应;第二步,以 IEC 61499 为准则重构自动化的软件体系架构,通过基于 DFB 的体系化架构建模,服务化封装自动化逻辑,并支持自动化逻辑的动态部署及运行时管理,而开发环境要具有图形化逻辑建模、版本控制及热插拔功能,以便于提高控制逻辑的灵活性及可维护性。第三步,在系统互联方面,应用 OPC UA 的信息建模接口、MQTT 轻量级发布/订阅模式,以支持 DCS 控制系统与上层 MES/ERP 系统之间的语义互操作及数据驱动任务协同工作,同时还须建立统一的命名空间以及信息对象描述库,从而保证信息集成时语义一致性及信息解析的有效性。第四,在工业控制网架构中引入 TSN 时间敏感网络技术,并利用 IEEE 802.1AS、802.1Qbv 协议标准实现基于时间槽的报文调度和精确定时同步,以提高过程控制数据的传输确定性和实时性。

3.2 边缘计算与本地智能协同部署

在当前中国流程工业 DCS 控制系统智能化升级背景下,边缘计算与本地智能协同部署已成为缓解主站计算压力、提升现场决策能力的核心路径。首先,在现场控制层引入工业边缘计算网关设备,具备多协议接入能力(如 ModbusRTU/TCP、PROFINET、OPC UA 等)与实时数据采集能力,并集成边缘缓存机制与基于规则的预处理引擎,实现对高频传感器数据的滤波、去噪与时序补全,在本地完成对过程变量的有效结构化与标准化处理;其次,在边缘服务器上部署具备嵌入式 GPU 计算能力的平台(如 NVIDIA Jetson 系列或国产昇腾系列),将卷积神经网络(CNN)、长短期记忆网络(LSTM)及改进型卡尔曼滤波算法本地部署,实现对关键设备(如压缩机、换热器、泵)运行状态的实时识别与故障趋势预测,同时与历史数据联动形成闭环异常检测机制;第三,采用轻量化容器虚拟化技术(如 Docker、K3s)对边缘智能模块进行微服务封装,结合 Kubernetes 或国产 EdgeX Foundry 实现边缘节点间控制策略的分布式部署与热更新,并通过运行时环境监控,根据工况变化动态切换控制逻辑、推理模型或数据处理模块,确保控制系统具备高度柔性 with 自适应能力;第四,构建边缘-云协同数据同步框架,采用双向消息队列(如 Kafka、MQTT)保障参数、模型与控制规则在边缘与上层控制系统之间的实时同步,配合版本控制机制实现模型迭代与回滚管理,并通过加密通道与设备证书体系实现通信安全性与身份可信验证,进一步构建具备模型一致性与安全可控性的分层协同控制架构^[2]。

3.3 构建全过程工业数据治理体系

构建全过程工业数据治理体系是 DCS 控制系统另一个重要智能化升级内容,需围绕数据采集完整性、模型映射精度、数据质量和标准体系建设 4 个方面开展,遵照复杂工艺过程对于数据准确性、一致性的要求来确定相应的技术路

线。首先,需要统一 DCS 变量的命名规范,以形成涵盖生产单元、设备对象和工艺参数等的全量变量标识库,通过分层分级的数据元模型定义方式,并借助于工业现场控制对象 P&ID 图以及控制策略,实现物理设备、信号通道和逻辑变量间的唯一匹配关系,提高模型语义表达的精准度及复用度。其次,将数据质量监控模块嵌入到 DCS 控制层中,以融入包括数据采集频率、信号噪声比以及波动特征等指标,从而建立起多维数据质量评估体系;借助于规则引擎实时判断数据漂移、突变及丢失现象,并采用插值、平滑等方法实现异常值的识别与修复;同时建立基于时间窗与滑动聚合的动态阈值机制,适应不同工况下的质量判别标准。第三,依托本体建模技术与工业知识图谱构建多源异构数据的语义融合机制,采用基于 RDF 的三元组存储方式管理 DCS 过程变量、设备拓扑关系与报警信息间的语义链接,并结合图神经网络(GNN)算法实现对设备状态演化过程的深层推理与数据隐含关联的自动挖掘^[3]。最后,构建企业级工业数据中台,采用 ETL 流程自动化框架完成 DCS 数据从采集、清洗、结构化到落地存储的全过程处理;在数据服务层集成 Apache Flink 或 Spark Streaming 等流处理引擎,实现对跨区域、多系统 DCS 数据的准实时处理与共享访问;同时构建数据权限分级与访问审计机制,保障工业控制数据安全与可控流通。

4 DCS 控制系统发展趋势探析

4.1 深度融合 IT 与 OT 的系统一体化演进

DCS 控制系统正处于由传统分布式架构向信息技术(IT)与操作技术(OT)深度融合的一体化系统转型阶段,以应对流程控制、业务调度与管理协同间长期存在的断层问题。在系统架构层面,应构建支持高带宽低时延的融合型网络基础设施,采用统一的工业以太网(如 TSN 技术)作为底层通信骨干,将控制总线、I/O 网络与企业 IT 网络进行物理隔离下的逻辑集成,以实现现场设备、边缘控制器与上位信息系统之间的实时双向通讯。在系统功能模块设计方面,需引入基于 Docker 容器与 Kubernetes 编排机制的微服务架构,将过程控制、数据采集、历史记录与报警管理等功能模块进行粒度细化并松耦合部署,支持各模块的按需调度、热插拔与弹性扩容,从而实现控制逻辑与 IT 服务的动态编排与快速迭代。数据建模与语义互操作层面上,以 AutomationML、OPC UA Companions 等标准作为统一信息模型体系的建设标准,建立起控制变量、过程标签到管理指标之间的语义映射关系,并支持工艺参数从 ERP、MES 以及 DCS 间的双向语义转换与事件驱动式传递^[4]。对平台运维层面上,建议通过引入 DevOps 方法的 CI/CD(持续集成/持续部署)、版本管理机制以及利用 PLC 程序和控制逻辑的虚拟仿真测试环境,搭建一套可实现多种控制并存的控制策略管理系统,以保证控制策略在不中断现场运行的条件下

完成验证、部署与回滚。

4.2 向自主可控国产平台全面替代演进

在国际高端自动化技术环境日趋复杂背景下,DCS系统自主可控替代路径呈现加速态势,未来发展将沿着硬件平台、基础软件、控制算法及系统接口规范等核心维度实现深层次国产化演进。首先,在底层硬件层面,应由具备嵌入式系统研发能力的本土控制器制造企业牵头,基于飞腾、龙芯等国产高可靠性处理器,配套部署国产高实时性操作系统,并通过实时内核裁剪与中断响应优化设计,构建具备毫秒级任务调度精度的嵌入式控制平台,实现控制器在温控、电磁兼容性等工业现场关键指标下的稳定运行。其次,在工程组态软件构建方面,应开发兼容 IEC61131-3 标准、具备多语言支持(如 LD、FBD、SFC、ST)的自主组态平台,强化对复杂过程逻辑图形化建模、分布式 IO 管理及高频数据采集任务调度功能的支持,并引入可扩展控制块库以支撑多行业多工况下的控制策略配置需求。第三,在控制算法自主实现路径中,应构建基于国产数学库(如天河并行矩阵库)与具备高保真度物理建模能力的 Modelica 国产平台(如 ModSim)集成的控制算法仿真验证框架,支持模型与算法双向闭环验证、控制律时域/频域性能分析以及嵌入式部署优化流程,确保算法在复杂工业过程控制精度与稳定性要求下的适配性。最后,在系统接口标准体系构建方面,应基于本土工业通信场景,制定覆盖控制器间同步通信、跨厂商系统互操作性与边缘计算协同控制需求的标准协议栈(如面向工业以太网的定制 OPC UA 映射层),逐步实现自主平台间的统一通讯与控制语义一致性。

4.3 控制系统安全性防护体系纵深构建

伴随着我国工业控制系统向智能化、自主化快速发展,DCS 控制系统的安全防护体系也需要朝着结构化重组和纵深加固的方向发展,以应对新的网络威胁场景以及更复杂的攻击。结合 DCS 控制系统的整个生命周期,一方面需要在硬件层面上引入基于国家密码算法的 TPM2.0 平台,在其基础上使用基于加密散列的可信启动,对控制过程中的控制器固件加载、内核初始化和接口调用进行完整性校验及安全引导,以保证设备运行环境源头可信;另一方面在控制网络通信架构上,通过基于工业协议特征构造细粒度访问控制规则,利用流量指纹识别技术和 DPI 深度解析技术,通过对

Modbus、OPC UA、Profinet 等工业协议数据流的语义级解析和合法性判定,阻隔非法的命令指令及跨域访问行为,同时在网络交换节点处部署具有实时响应处置能力的工业防火墙。此外,针对控制逻辑执行层搭建白名单行为建模入侵检测系统(ICS-IDS)开展在线分析,利用自学习建模的方法确定正常工作状态下控制逻辑运行模式,利用 TAX 分析算法进行状态转移异常、控制指令频率异常、控制路径偏离行为进行在线监测,并结合时序分析算法提升对低频慢性攻击的识别准确性^[9]。最后,系统平台层上搭建包括数字签名验证及哈希校验在内的版本安全认证框架,实现对每一个版本的控制逻辑发布前签名与执行前验签操作,并增加控制逻辑审计、回溯等模块,依据事件链来记录每一个策略被加载和修改的行为,进一步强化 DCS 控制系统策略追查、行为取证的能力,从而提升系统安全性。

5 结语

综上所述,DCS 控制系统是流程工业智能制造体系的关键组成部分,其智能化升级和发展路线不仅是提高我国工业自动化水平的关键一环,同时也是实施制造强国战略的技术要素之一。对此,上文提出针对控制架构、边缘协同以及数据治理等方面的升级路径,并从系统融合、国产替代和安全纵深等方面展望 DCS 其未来发展路径。面向未来,中国 DCS 系统的智能化演进将持续以工业现场需求为导向,以关键核心技术突破为支撑,形成更加自主、高效、开放与智能的控制平台体系,为流程制造业数字化转型奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 崔仁泰 王莉 孙迎春.分布式控制系统(DCS)在化工自动化中的优化与升级策略[J].今日自动化, 2024(3):121-122.
- [2] 杨希民,王泽彪,李红军,等.DCS控制系统升级改造实践[J].中国水泥, 2023(1):87-89.
- [3] 蒿云鹏.工业自动化运行中DCS控制系统研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2023.
- [4] 王琦.DCS自控系统运行管理现状及优化措施研究[J].中国科技期刊数据库 工业A, 2023(011):000.
- [5] 章海峰,高瞳.基于深度学习的工业自动化控制DCS系统维护方法[J].自动化应用, 2025(6).

Research on Intelligent Diagnosis and Prediction of PLC-HMI Integrated Monitoring Platform for Railway Signal Power Supply System

Peichang Gao

Baotou Railway Vocational and Technical College, Baotou, Inner Mongolia, 014030, China

Abstract

In this paper, the basic architecture and main functions of the intelligent diagnosis and prediction platform based on the PLC-HMI integrated monitoring platform are summarized. An intelligent diagnosis method based on feature extraction and model construction was proposed for fault feature extraction and fault diagnosis model construction. The selection of data prediction algorithm and the evaluation and optimization of prediction results are discussed, and the real-time prediction of railway signal power supply system is realized. The research results of this paper are of great significance for improving the stability and reliability of railway signaling power supply system.

Keywords

railway signal power supply system; PLC-HMI integrated monitoring platform; Intelligent diagnosis; Fault feature extraction; Fault diagnosis model; Data prediction

铁路信号电源系统的 PLC-HMI 一体化监控平台智能化诊断与预测研究

高培畅

包头铁道职业技术学院, 中国 · 内蒙古 包头 014030

摘 要

本文对基于 PLC-HMI 一体化监控平台的智能化诊断与预测平台的基本架构和主要功能进行了概述。针对故障特征提取和故障诊断模型构建提出了基于特征提取和模型构建的智能化诊断方法。针对数据预测算法选择和预测结果评估与优化进行了探讨, 实现了对铁路信号电源系统的实时预测。本文的研究成果对于提高铁路信号电源系统的稳定性和可靠性具有重要意义。

关键词

铁路信号电源系统; PLC-HMI 一体化监控平台; 智能化诊断; 故障特征提取; 故障诊断模型; 数据预测

1 引言

随着铁路智能化发展, 传统监控方式已难以满足需求, 而 PLC-HMI 一体化监控平台凭借强数据处理能力、良好人机交互及高集成性, 在工业自动化领域应用广泛。将其引入铁路信号电源系统, 可实现实时监测、故障诊断与状态预测。

本文聚焦该平台的构建, 研究内容包括基本架构设计、功能实现、故障特征提取、诊断模型构建、预测算法选择及结果优化, 旨在为系统智能化管理提供新思路, 提升铁路运输安全性与可靠性。

2 铁路信号电源系统 PLC - HMI 一体化监控平台概述

2.1 平台的基本架构

铁路信号电源系统的 PLC - HMI 一体化监控平台在保障铁路信号电源稳定运行方面起着至关重要的作用^{[4][5]}。其基本架构的合理设计与构建是实现高效监控和管理的基础^[10]。

该平台的基本架构主要由硬件层、数据传输层、数据处理层和人机交互层构成。硬件层是整个平台的物理基础, 它包括各类传感器、PLC(可编程逻辑控制器)和 HMI(人机界面)设备^[3]。传感器负责实时采集铁路信号电源系统的各项运行参数。PLC 则作为控制核心, 接收传感器传来的数据, 并按照预设的程序进行初步处理和逻辑控制。它能够根据采集到的数据判断系统是否处于正常运行状态, 并在出现异常及时采取相应的措施。HMI 设备为操作人员提供了直观的操作

【作者简介】高培畅(1984-), 男, 中国内蒙古包头人, 硕士, 副教授, 从事自动化、铁道信号自动控制研究。

界面,方便他们对系统进行监控和控制^[7]。

数据传输层承担着将硬件层采集到的数据准确、及时地传输到数据处理层的任务。数据处理层是平台的智能核心,它对从数据传输层接收到的数据进行深入分析和处理。人机交互层则是操作人员与平台进行交互的重要界面。

铁路信号电源系统的 PLC - HMI 一体化监控平台的基本架构是一个有机的整体,各个层次相互协作、相互配合,共同实现对铁路信号电源系统的智能化监控和管理。

2.2 平台的主要功能

铁路信号电源系统的 PLC - HMI 一体化监控平台在保障铁路信号电源稳定运行方面发挥着至关重要的作用,其具备多方面的主要功能。

实时数据采集功能是该平台的基础性功能之一。平台能够对铁路信号电源系统中的各类关键数据进行实时采集,如电压、电流、功率等。这些数据是反映电源系统运行状态的重要指标,通过准确、及时地采集,为后续的分析 and 处理提供了可靠依据。

状态监测功能是保障系统安全的关键。平台可以对铁路信号电源系统的各个设备和环节进行全面的状况监测。它不仅能够监测设备的运行状态,如是否正常工作、有无故障发生,还能对系统的整体运行状况进行评估。通过对设备的温度、湿度等环境参数的监测,结合设备自身的运行参数,判断设备是否处于正常的工作环境和运行状态。一旦发现异常状态,平台会立即发出警报,提醒工作人员及时处理,防止故障扩大化。

故障诊断功能是平台的核心功能之一。当系统出现故障时,平台能够快速、准确地诊断出故障的类型和位置。它利用先进的智能化诊断技术,对采集到的数据进行深入分析,结合预设的故障模型和规则,判断故障的根源。例如,通过对电流变化特征的分析,判断是否存在短路故障;通过对设备运行参数的对比,确定某个设备是否出现性能下降等问题。这种精准的故障诊断功能能够大大缩短故障排查时间,提高维修效率^[1]。例如,当发现某个设备出现异常时,可以远程控制设备的启停,避免造成更大的损失。

数据存储与管理功能为后续的分析 and 决策提供了有力支持。平台会将采集到的大量数据进行存储,并进行有效的管理。这些数据可以用于历史数据查询、统计分析等。通过对历史数据的分析,可以总结出系统运行的规律和趋势,为设备的维护和升级提供参考。同时,数据的存储也便于在出现问题时进行追溯和复查,为故障原因的进一步分析提供依据。

远程控制功能增加了平台的灵活性和便捷性。工作人员可以通过网络远程对铁路信号电源系统进行控制和操作。在某些紧急情况下,即使工作人员不在现场,也能及时对系统进行调整和干预,确保系统的安全稳定运行。

综上所述,铁路信号电源系统的 PLC - HMI 一体化监控平台的这些主要功能相互协作,共同保障了铁路信号电源

系统的稳定、可靠运行。

3 智能化诊断技术在平台中的应用

3.1 故障特征提取方法

在铁路信号电源系统 PLC - HMI 一体化监控平台中,故障特征提取是智能化诊断的关键基础步骤,它对于准确识别故障、保障铁路信号电源系统的稳定运行至关重要^[11]。

首先,时域分析方法是故障特征提取的常用手段之一。通过对采集到的信号在时间域上进行分析,可以获取信号的均值、方差、峰值等统计特征。此外,还可以采用时域波形分析的方法,观察信号的波形形状、周期等特征,以识别特定类型的故障。

其次,频域分析方法也是故障特征提取的重要途径。将采集到的信号通过傅里叶变换等方法转换到频域,可以得到信号的频谱特性。不同类型的故障往往会在特定的频率范围内产生特征频率分量。

再者,基于机器学习的故障特征提取方法近年来得到了广泛应用。此外,神经网络也可以自动学习数据中的复杂特征,通过训练得到能够准确识别故障的模型。

最后,还可以结合多传感器信息融合的方法进行故障特征提取。铁路信号电源系统通常配备有多个传感器。通过融合多个传感器的数据,可以获取更全面、准确的故障特征信息。通过综合分析多个传感器的数据,可以更准确地判断故障的类型和严重程度。

综上所述,采用多种故障特征提取方法相结合的方式,能够更全面、准确地提取铁路信号电源系统的故障特征,为后续的故障诊断模型构建提供有力支持,从而提高平台的智能化诊断能力,保障铁路信号电源系统的安全稳定运行。

3.2 故障诊断模型构建

在铁路信号电源系统 PLC - HMI 一体化监控平台中,通过构建有效的故障诊断模型,能够准确识别系统中的故障,为及时维修和保障铁路信号电源系统的稳定运行提供有力支持^[12]。

构建故障诊断模型首先要考虑模型的类型选择。常见的故障诊断模型有基于规则的模型、基于机器学习的模型以及基于深度学习的模型等。基于规则的模型是根据专家经验和系统的先验知识制定一系列规则,当系统的运行参数满足这些规则时,就判定为相应的故障。

在构建故障诊断模型时,还需要对模型进行训练和优化。训练过程就是使用历史故障数据对模型进行学习,调整模型的参数,使其能够准确地识别故障。优化过程则是通过不断地调整模型的结构和参数,提高模型的性能。可以采用交叉验证、网格搜索等方法来选择最优的模型参数。

此外,为了提高故障诊断模型的准确性和可靠性,还可以采用多模型融合的方法。将不同类型的故障诊断模型进行融合,综合各模型的优点,能够得到更准确的故障诊断结果。

4 平台的预测功能实现

4.1 数据预测算法选择

目前,有多种数据预测算法可供选择,每种算法都有其特点和适用场景。首先是时间序列分析算法,它是一种基于历史数据的统计分析方法,通过对时间序列数据的特征提取和建模,来预测未来的趋势。该算法适用于具有明显周期性和趋势性的数据。时间序列分析算法可以通过对这些规律的挖掘,较为准确地预测未来一段时间内的参数值,从而提前发现系统可能出现的异常^[8]。

神经网络算法也是一种常用的数据预测算法。它模拟了人类神经网络的工作原理,通过对大量数据的学习和训练,建立输入和输出之间的非线性映射关系。神经网络算法具有很强的自适应能力和泛化能力,能够处理复杂的非线性数据。在铁路信号电源系统中,系统的运行状态受到多种因素的影响,这些因素之间可能存在复杂的非线性关系。神经网络算法可以通过对这些因素的综合分析,对系统的未来状态进行准确预测^[9]。

支持向量机算法同样在数据预测领域具有广泛的应用。它通过寻找最优的分类超平面,将数据进行分类和预测。支持向量机算法在处理小样本数据时具有较好的性能,并且能够有效地避免过拟合问题。在铁路信号电源系统中,某些故障数据可能比较稀缺,支持向量机算法可以在有限的样本下,建立准确的预测模型。

在选择数据预测算法时,需要综合考虑铁路信号电源系统的特点、数据的特征以及预测的精度要求等因素。不同的算法在不同的场景下可能具有不同的优势,因此可以根据实际情况选择单一算法或者组合使用多种算法,以提高预测的准确性和可靠性。同时,还需要对选择的算法进行不断的优化和调整,以适应系统的动态变化。通过合理选择数据预测算法,能够为铁路信号电源系统的智能化诊断与预测提供有力的技术支持,保障铁路运输的安全和稳定。

4.2 预测结果的评估与优化

在铁路信号电源系统 PLC - HMI 一体化监控平台的预测功能实现中,对预测结果进行评估与优化是确保平台可靠性和有效性的关键环节。通过科学合理的评估与优化,能够提高预测的准确性,为铁路信号电源系统的稳定运行提供有力保障。

预测结果的评估是对预测准确性和可靠性的量化分析。首先,需要确定合适的评估指标。常见的评估指标包括均方误差、平均绝对误差、决定系数等^[8]。

除了指标评估,还可以采用对比分析的方法。将预测结果与实际发生的情况进行对比,观察预测的趋势是否与实际相符,以及预测值与实际值之间的差异分布^[6]。同时,还可以与其他预测方法或模型的结果进行对比,以判断当前预测方法的优劣。

在评估的基础上,对预测结果进行优化是进一步提高预测性能的重要步骤。优化的方法有多种,其中一种是调整

预测算法的参数。不同的参数设置会对预测结果产生不同的影响,通过不断尝试和调整参数,找到最优的参数组合,从而提高预测的准确性。

另一种优化方法是引入更多相关数据。铁路信号电源系统的运行受到多种因素的影响,如环境温度、湿度、负载变化等。将这些相关数据纳入预测模型中,可以丰富模型的输入信息,提高模型对复杂情况的适应能力,进而改善预测结果。

5 结语

本研究构建了基于 PLC-HMI 一体化监控平台的铁路信号电源系统智能化诊断与预测体系,明确了平台架构与功能,优化了故障特征提取、诊断模型及预测算法,有效提升了系统稳定性与可靠性。

研究存在局限性:复杂工况下故障特征提取与诊断可靠性需提升,预测算法对突发情况的适应性不足。

未来将聚焦三方面:优化故障特征提取与诊断模型以适应复杂工况;增强预测算法对突发情况的应对能力;探索人工智能、大数据技术的应用,推动系统智能化升级,为铁路运输安全提供更强保障^[2]。

参考文献

- [1] 郝志强.煤矿井下掘进机电设备故障诊断与维护[J].矿业装备, 2024-12-10
- [2] 刘一鸣.基于大数据技术的中压配电网接线模式研究[J].《华中科技大学硕士论文》- 2021-05-01
- [3] 王曼卓. 基于PLC平台的模分复用系统关键器件研究[D]. 吉林: 吉林大学,2024.
- [4] 张永安,李玉芬. 智能化通信电源系统的运行维护技术研究[J]. 通信电源技术,2024,41(20):107-109. DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2024.20.036.
- [5] 马力君,张明,童乔凌,等. 行星、卫星探测器用移动供电平台电源系统技术研究[J]. 电源技术,2024,48(3):371-376. DOI:10.3969/j.issn.1002-087X.2024.03.003.
- [6] 张蓓蓓. 一体化电子侦察系统中分布数据通信平台的研究与实现[D]. 安徽:中国科学技术大学,2015.
- [7] 徐敬国,任晓东. 基于光电转换技术的通信电源干接点信号传输监控系统研究[J]. 通信电源技术,2024,41(11):32-34. DOI:10.19399/j.cnki.tpt.2024.11.011.
- [8] 杨南飞. 基于监控指标和日志跟踪的微服务系统细粒度故障预测方法研究与实现[D]. 山东:山东大学,2024.
- [9] 罗强骏. 可视化锅炉四管泄漏智能诊断及预测系统的研究与应用[J]. 电力设备管理,2024(20):98-100.
- [10] 刘明晏,严涵,阮璇,等. 电网调控一体化智能监控系统研究及应用[J]. 云南电业,2024(12):18-21.
- [11] 陈泽君. 通信基站的智能化监控系统设计与优化[J]. 现代科技研究,2024,4(3). DOI:10.12373/xdkjyj.2024.03.13329.
- [12] 宋坤桃,王艳超. 绿色建筑智能化监控平台的研究[J]. 智能建筑与智慧城市,2024(11):86-88. DOI:10.13655/j.cnki.ibci.2024.11.027.

Construction and Application of Knowledge Graph for Smart Education—Taking Computer System Architecture as an example

Jun Liu

School of Computer, Electronics and Information, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China

Abstract

Against the backdrop of advancing smart education strategies, the deep integration of artificial intelligence (AI) technology with higher education has become a pivotal direction in contemporary educational reform. This study takes the “Computer System Architecture” course as its research subject, employing knowledge graph technology to systematically integrate and visually present course content. This approach aims to optimize teaching effectiveness and enhance learning efficiency.

Keywords

intelligent education; curriculum knowledge graph; construction principle; teaching application; computer system structure course

面向智慧教育的课程知识图谱构建与应用——以《计算机系统结构》课程为例

刘峻

广西大学计算机与电子信息学院, 中国·广西南宁 530004

摘要

在智慧教育战略不断推进的大背景下, 人工智能技术和高等教育的深度融合已然成为当下教育改革的关键方向。本文把《计算机系统结构》课程当作研究对象, 借助知识图谱技术达成课程知识的系统化整合以及可视化呈现, 以此来优化教学效果并且提高学习效率。在具体实施方面, 本文首先确立了兼顾学科特性与智慧教育需求的图谱构建原则, 以此保证其科学性与实践价值, 接着系统阐述了知识抽取、关系识别以及图谱构建等核心技术流程, 最后涉及教学实践, 以验证课程知识图谱在促进知识共享以及提升教学效能方面的有效性。

关键词

智慧教育; 课程知识图谱; 构建原则; 教学应用; 计算机系统结构课程

1 引言

在信息技术快速发展的时代大环境下, 智慧教育已成为现代教育体系转型的关键途径, 借助前沿信息技术, 智慧教育实现了教育资源的精准配置以及教学流程的智能化管控, 还为学习者营造了高度个性化且成效较大的学习环境。课程知识图谱作为智慧教育体系的核心技术支持, 能对学科知识点进行系统梳理并关联映射, 构建出直观的知识网络结构, 提升学生对课程内容的理解深度与掌握程度。本文将《计算机系统结构》课程作为研究对象, 着重探讨了课程知识图

谱的构建方法以及在智慧教育中的具体应用策略, 以为智慧教育实践提供理论依据与方法指导。

2 面向智慧教育的课程知识图谱构建原则

2.1 系统化和多源融合原则

在智慧教育课程知识图谱构建进程里, 系统化与多源融合原则成为关键的指导准则。系统化原则主要体现在对课程知识体系整体架构以及层次关系进行系统性把握, 知识图谱要完整呈现课程核心概念和基础理论, 还要准确刻画各个知识点之间的逻辑关联与层级结构, 构建起层次清晰、结构严谨的知识体系, 以此促进学习者对知识内在关联形成系统性认知以及网络化理解^[1]。多源融合原则强调在构建知识图谱时要实现多元数据源的有机整合, 借助综合运用教材内容、网络资源、学术研究成果以及领域专家经验等多渠道信息, 提升知识图谱内容的丰富程度与准确程度, 同时有效规

【基金项目】2025年广西大学本科教学内涵主要指标倍增计划立项建设项目(项目编号: 2025ZHKC009)。

【作者简介】刘峻(1974—), 男, 中国广西贵港人, 博士, 副教授, 从事人工智能研究。

避单一数据来源可能引发的认知偏差和局限性问题。

2.2 体系完整与结构清晰原则

构建知识图谱时,要严格依照体系完整以及结构清晰这两个基本原则。说到体系完整,需保证知识图谱可以覆盖课程涉及的所有核心知识要素,既包括基础理论方面的内容,还覆盖关键技术以及实际应用案例等具体部分,这种完整性不光要求全面覆盖知识点,更注重各知识点之间建立紧密逻辑关联,形成有内在联系的知识网络,给学生提供系统化学习框架,有效防止知识盲区出现,最终达成学生对课程内容的整体掌握。从结构清晰角度看,知识图谱里的节点和边要有明确语义定义,这种设计能帮学生直观掌握知识点间的逻辑关联,实现从宏观知识框架到微观知识点的逐步学习,同时也给教师开展教学设计提供了可视化工具,让教师能依据图谱有效引导学生构建完整知识体系。

2.3 精准化评价与个性化学习原则

知识图谱的精准化评价机制借助构建知识点间的语义关联网络,不仅可动态追踪学习者的认知轨迹,还可以对其跨领域知识掌握程度开展量化分析,建立实时学习状态监测体系,这种评估范式给教师提供了诊断学习障碍与需求的科学依据,还可以生成个性化的学习诊断报告,有力推动学习者的元认知能力发展以及学业表现提升。在个性化学习方面,知识图谱运用机器学习算法对学习行为数据进行建模,可智能推荐和学习者认知水平以及兴趣偏好相匹配的学习资源,提高知识获取效率,这种自适应学习系统充分考虑学习风格、先验知识水平以及认知发展速率等个体差异变量,借助动态优化学习路径与资源配置策略,最终达成智慧教育环境下的精准教学干预。

3 面向智慧教育的《计算机系统结构》课程知识图谱构建步骤

3.1 课程框架定义

课程框架作为知识图谱逻辑结构的顶层架构,在智慧教育背景下发挥着基础性构建的作用,因此其设计要综合考虑课程目标体系、内容架构以及学习者认知特征等多方面因素。以《计算机系统结构》课程为例,框架界定要明确其核心概念体系、基本原理框架、关键技术谱系以及应用领域范畴。在知识深度方面,处理器结构模块要涉及指令集架构与流水线技术等基础性内容,还要拓展至多核处理器架构、异构计算单元等前沿研究领域,存储系统模块除了传统内存/外存体系,还需系统讲解高速缓存机制、虚拟存储技术以及新型非易失性存储解决方案。从知识广度来讲,该课程框架应重视与相关学科的交叉融合,比如在输入/输出系统模块中融合操作系统设备管理理论与网络数据传输原理,同时要紧密关联行业应用实践,像云计算环境下的体系结构优化策略以及大数据处理场景中的存储计算协同架构设计等。

3.2 教学资源收集

为保证课程知识图谱在智慧教育应用中的质量和实用性,教学资源的系统性采集成为其核心基础部分。以《计算机系统结构》课程为例,要构建多维度资源采集体系,基础性文本资源应包含传统教材、课程讲义以及教学大纲等结构化材料,为知识体系提供框架支持。还要整合学术论文、技术白皮书以及行业规范等研究性文献,用来阐明课程知识在学术前沿和产业实践中的具体应用。除文本资源外,还需纳入视频教学资源、动态演示动画以及虚拟实验等多媒体素材,依靠视听结合的方式达成抽象概念的可视化展示,利用网络开放教育资源、慕课平台内容以及专业社区互动讨论等数字化资源,既能拓宽知识图谱的广度,又能提供多元化的学习视角与教学方法参考^[2]。

3.3 知识点设计

《计算机系统结构》是一门有理论深度且具有实践要求的专业课程,其教学内容包含计算机硬件系统的组成原理、工作机制以及设计方法等核心领域。在构建课程知识体系时,教师要依据教学大纲和教材内容,运用“章-节-知识点”三级分类体系对课程知识做系统梳理,以此确立关键知识要素以及它们的内在逻辑关联与层次架构。以这门课程来说,首先要依据教材章节划分出“计算机系统概述”“数据表示与运算”“存储系统”等宏观知识模块,接着在每个模块下再细化出“计算机系统的基本组成”“计算机系统的分类”等中观知识单元,最后在微观层面明确“运算器的功能与结构”“控制器的工作原理”等具体知识要点。为契合学生个体差异化的学习需求,知识体系的构建要按照知识要点的难度系数和关键程度进行分级处理,为教学实践和学习活动提供系统化的指导框架。

3.4 知识结构可视化展示

与传统文本表述方式相比较而言,知识图谱借助可视化手段可更有效地呈现出课程知识体系中的多维关联结构,这项技术主要运用节点来表示离散知识点,凭借有向边连接构建起知识网络,让学生可直观地掌握课程内容的整体框架以及其内在逻辑关联,提升复杂知识系统的可理解程度^[3]。以《计算机系统结构》课程为例,知识图谱可以把“计算机系统基本组成”模块中的运算器、控制器等核心概念,和“数据表示与运算”“存储系统”等章节内容之间的层级关系进行图形化的表征。

3.5 学习路径设计

依据知识点的逻辑关联以及学习者的认知水平和兴趣特点,构建个性化学习路径是为不同学生打造定制化学习方案,以激发学生兴趣,提高教学实效。以《计算机系统结构》课程来说,教师要先对课程知识体系的难度层次和逻辑顺序做系统分析,其中像“计算机硬件基础”这类基础性内容应作为学习路径的起始模块,为后续高阶知识学习打下必要基

础。针对学生群体存在的认知差异,要采取分层设计策略,对于学习能力较强且有深度学习需求的学生,可增加“高性能计算机体系结构”等拓展性内容来推动其专业发展;对于基础薄弱的学习者,需依靠强化基础训练并适度降低认知负荷的办法,保证其能逐步掌握课程核心知识体系。学习路径设计还要注重知识结构的系统性和连贯性,把关联知识点整合为模块化学习单元来优化知识组织,以深化知识理解,有效培养学习者的实践能力和创新思维。

4 面向智慧教育的《计算机系统结构》课程知识图谱的教学应用

4.1 课前准备

知识图谱的课程设计方法可为教师带来系统化教学规划工具,即借助剖析《计算机系统结构》课程知识点的内在逻辑关联,教师能搭建出层次清晰的知识体系框架,对知识点开展多维评估,像难度系数与关键程度等方面,制订出有差异的教学目标以及教学策略。在学情分析上,知识图谱能帮教师辨别学生的认知水平以及学习能力差别,依此实行分层预习设计,如针对高阶学习者,教师安排拓展性任务,探究计算机系统结构的前沿进展;对于基础薄弱的学生则设定认知性任务,让其掌握计算机基础组件的功能特性。从学生角度讲,学生可借助图谱标注存疑知识点,形成问题意识,这种带着明确问题进入课堂的学习形式能让学生更好地掌握课程知识架构,精确找准学习重难点,达成目标导向的预习进程,提升知识获取效率。

4.2 课中赋能

教师将知识图谱应用于课程教学,可推动学生对知识体系形成结构化认知,以可视化形式呈现知识点之间的逻辑联系。例如在教学“指令系统的设计”这一章时,教师利用知识图谱技术,把指令系统与计算机硬件架构、操作系统等核心概念进行系统关联呈现,让学生直观地了解指令系统在计算机体系里的功能定位。并利用知识图谱动态模拟指令执行时CPU运算单元、控制单元与内存的交互机制,把抽象的指令译码和执行流程转变成可视化演示,实施动态教学策略,当学生出现理解障碍时,借助知识图谱回溯相关知识点间的内在联系。比如针对寻址方式理解的困难,教师可引导学生从已掌握的内存管理和数据存储知识着手,构建系统的认知框架。学生则借助知识图谱的实时展示,动态跟踪教师的教学进度,全面地掌握知识体系的拓扑结构以及内在联系。在学习“指令系统的设计”这一章时,通过可视化工具准确找到指令系统在计算机学科知识框架里的坐标位置,并

且精准辨别其与相邻知识领域的逻辑连接关系。在教学演示过程中,学生依靠动态可视化情形,深入分析指令执行流程里涉及的各个环节,像译码阶段以及执行阶段中CPU功能单元和存储系统之间的协同工作原理。知识图谱还为学生提供了自主剖析的学习途径,当碰到特定指令操作原理的疑问时,学生依据知识节点间的关联网络,系统查找相关的底层硬件实现机制或者上层应用实例,达成知识的纵向深入以及横向扩展。

4.3 课后巩固

在课程结束后,借助课程知识图谱的构建,教师可实现多维度的课后延伸学习支持。具体来说,教学活动完毕后,教师可把各类教学资源整合起来上传至课程平台,为学生搭建起系统化的知识拓展体系。依据不同学生的知识掌握状况,教师可凭借知识图谱设计差异化的作业任务,比如为指令系统寻址方式理解有困难的学生专门设计针对性训练题目,教师能建立线上协作学习社群,推动学生在课后进行知识交流与探讨。以《计算机系统结构》课程中的存储系统章节来说,当学生在社群中提出关于高速缓存映射方式的疑问时,掌握较好的同学可借助知识图谱的系统化呈现,对直接映射、全相联映射以及组相联映射等概念进行对比解析。学生也可自主利用知识图谱开展学习评估,凭借构建小型知识网络来检验各知识点的掌握程度以及它们之间的关联。

5 结语

在智慧教育背景下开展《计算机系统结构》课程知识图谱的构建与应用,要依照系统性方法论,先明确知识图谱构建的基本准则,接着经由课程框架界定、教学资源整合、知识点体系设计、知识网络可视化呈现以及学习路径规划等关键步骤达成图谱构建,在教学实践中,立足课前预习、课堂互动以及课后复习教学流程,构建出个性化学习支持体系。通过构建知识图谱,不仅学生建立了知识点间的逻辑联系、提高效率,教师也提供了精确的教学决策支持,达成差异化教学指导。随着智慧教育理念的深入发展,课程知识图谱技术会持续迭代更新,其创新应用会为教育现代化转型提供新动力,帮助培育符合数字时代要求的复合型人才。

参考文献

- [1] 李霞.面向智慧教育的在线课程知识图谱构建与应用研究[J].广州开放大学学报,2025,25(1):48-5571
- [2] 龚晓君,张奉静.智慧教育背景下课程知识图谱构建与精准教学实践[J].计算机时代,2025(6):63-67
- [3] 薛茹,贺雯静,张静,崇宁.面向智能教育的大学计算机基础课程知识图谱构建研究[J].信息与电脑,2024,36(17):83-85

Design and research of intelligent assistance system for welfare and elderly care based on computer vision technology

Gang Hou

Changchun University of Humanities, Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract

To address the growing demand for elderly care services in an aging society, this study develops a smart elderly care assistance system utilizing computer vision technology. The system employs image recognition, behavioral detection, and environmental sensing technologies to provide real-time safety monitoring, daily activity analysis, and health assessment for seniors. Through modular design principles tailored to user needs, the system architecture and functional modules were developed during research. Results demonstrate that the system accurately captures behavioral patterns of elderly individuals, significantly enhancing the intelligence level of elderly care services and improving their quality of life.

Keywords

welfare pension; intelligent auxiliary system; modular design

基于计算机视觉技术的福祉养老智能辅助系统设计与研究

侯刚

长春人文学院, 中国 · 吉林 长春 130000

摘 要

为应对人口老龄化背景下养老服务需求的不断增长, 基于计算机视觉技术设计了一种福祉养老智能辅助系统。该系统通过图像识别、行为检测和环境感知技术, 为老年人提供实时安全监测、生活行为分析和健康状况评估功能。在研究过程中, 采用模块化设计原则, 结合用户需求开发系统架构及功能模块。研究表明, 该系统能准确捕捉老年人的行为特征, 有效提升养老服务的智能化水平, 改善老年人生活质量。此研究为推动养老服务技术创新及智慧福祉系统的进一步开发提供了参考与支持。

关键词

福祉养老; 智能辅助系统; 模块化设计

1 引言

全球人口老龄化恶化, 至 2050 年 65 岁及以上人口会达到 16%, 中国老年人口可能超过 5 亿, 养老问题转变为重要议题。传统养老模式遭遇医疗、护理和生活质量保障等挑战, 对智能化、高效的技术建议需求。计算机视觉技术借助图像识别和行为分析在养老领域展现出潜力, 可以达成老年人行为识别、健康评估和风险预警。现有养老软件和系统依旧具有功能不完备、实时性不够等问题。为了提升现状, 本研究建议基于计算机视觉技术的福祉养老智能辅助系统, 运用图像识别、行为检测及环境感知为老年人给予安全监

测、生活行为识别及健康评估服务。

2 背景与技术概述

2.1 人口老龄化及智能化养老需求分析

在全球范围内, 人口老龄化现象逐渐恶化, 关于养老服务需求的关注水平持续提升。伴随老年人口比例的增长, 传统养老方式很难适应日益繁杂的需求, 智能化养老慢慢转变为应对此挑战的关键方向。智能化养老借助运用尖端的科技手段, 为老年人给予更加便利、可靠和定制化的服务体验。详细体现为借助智能系统开展健康监测、行为分析、紧急情况处理等, 在保证老年人日常起居可靠的同时改善其生活质量。

2.2 计算机视觉技术在养老领域的应用现状

计算机视觉技术应用于养老领域, 涵盖了许多关键方面, 能够有效处理老年朋友在日常生活中面临的各种实际困难, 带来实实在在的技术支持。图像识别技术被运用到老年人看护系统里面, 利用摄像头实时监控老年朋友的活动状

【课题项目】长春人文学院福祉专项基金项目(项目编号: FZKY2024045)。

【作者简介】侯刚(1976-), 男, 中国吉林长春人, 博士, 教授, 从事计算机通信, 人工智能, 大数据研究。

态,如果察觉到摔倒或者遇到其他危险状况,系统会立刻做出应对措施。行为检测技术大大提升了系统辨别老年朋友日常动作的能力,帮助留意那些不正常的举动或者生活习惯上的明显变化。智能感知技术通过采集周围环境的相关数据,辅助构建一个更加安全的生活空间,时刻留意环境变化,预防可能出现的各种潜在危险。

2.3 福祉养老智能辅助系统的技术基础与可能性

福祉养老智能辅助系统的技术基础依赖于现代计算机视觉技术的发展。这种技术能够分析图像和视频,辨认老年人的行为特点,感应周围环境的变化。它的优点是能与日常生活的观察相结合,完成监控任务,还能分析老年人的健康风险和生活中的各种需求。在养老服务领域,计算机视觉技术的使用提高了智能化水平,提供了可靠的技术支持,促进了智慧福祉系统的不断创新和改进,保证老年人的生活质量得到提高,符合日常生活的各种需求。

3 系统功能架构与模块设计

3.1 功能模块划分与技术路线概述

智能养老辅助系统的功能模块划分和技术路线属于搭建整个系统的核心部分。明确满足不同用户的独特需求,模块化设计理念构成清晰的核心思路,功能模块分为图像识别、行为检测、环境感知和安全监测四部分。所有模块分别承担特定任务,基于技术方法有效整合,形成完整系统结构。图像识别模块采用先进深度学习算法,清晰识别老年人的面部特征和身体姿势数据。行为检测模块借助动作捕捉技术,观察和分析老年人的日常活动,目标是发现异常举动并发送警报信号。保证系统顺畅运行,所有模块设计都经过完善,关注老年人的实际需求,给予安全可靠的养老辅助服务。环境感知模块运用传感器和网络技术,检测居住环境的具体变化,保证安全隐患能够及时被察觉,安全监测模块充当系统的防护屏障,通过分析融合多种数据流和通信协议,达成对老年人的安全可靠保护,技术路线依照从数据采集到模型训练,再到系统集成的闭环路径,保证每个模块紧密协作运作,提升系统整体的可靠性和稳定性。区分和规划逻辑为创建智能化养老服务设立了稳固的基础。

3.2 图像识别与行为检测模块的设计原理

图像识别和行为检测模块对福祉养老智能辅助系统至关重要。模块借助先进的计算机视觉技术构建,摄像设备采集老年人日常活动的画面信息,画面信息进行认真的解析和处置。深度学习算法从画面中识别并区分老年人的各种具体动作和行为方式,行为检测是使用时空特征提取技术,对短暂的动作及长时间的行为习惯进行抓取。在算法设计时要对老年人行为在不同场景下的复杂多变特点进行考虑,研发阶段尤其注重模型精度的提升和快速响应的能力。图像识别和行为检测模块为系统的智能化和高效运行提供了坚实的基础,让整个系统运转得更加顺畅和值得信赖,完全贴合老年

人的实际需要,维护好老年人的生活质量,真正为老年人带来便利和安心。

3.3 环境感知与安全监测模块的实现逻辑

环境感知与安全监测模块福祉养老智能辅助系统发挥无可替代重要作用。这个模块通过传感器网络采集各种环境信息,依靠深度学习算法将信息进行详尽解析和加工,达到异常情况早期精确察觉效果。使用摄像头和麦克风等设备,系统可以识别房间可能出现危险物品和不安全行为,比如摔倒或者长时间没有活动,马上快速发出警报,警示护理人员实施恰当应对措施。依靠温湿度传感器和空气质量传感器等设备,完成居住环境彻底观察,保证老年人生活空间格外安全和舒适。智能化监测机制大大提高安全问题应对速度,优化老年人生活感受。

4 性能优化与实验验证

4.1 行为特征提取算法的优化策略

行为特征收集算法对福祉养老智能辅助系统非常关键,因为算法能精准捕捉老年人行为,确保系统运行稳定。优化策略可以提高系统精确度和实时性,使系统表现更出色。应该对老年人的特殊行为模式进行研究是优化过程的关键,使用 CNN 对数据进行处理,对多层次特征进行提取。引入强化学习机制,使系统能自我调整参数,以应对不同环境下的行为变化。用感知层和决策层的结合来驱动整个系统,让信息获取和判断决策形成一个高效的循环机制,确保反应速度快且结果值得信赖。组织很多次实验,改进模型的参数设定,验证算法是否真的管用,目的是满足智能化养老服务对精确监控的具体需要。在持续优化的过程中,结合最新技术进行创新和深入研究显得非常重要,这样能有效提升算法的整体效果,提供强有力的技术支持,力求技术更符合实际应用场景,适应各种不同需求,展现出更好的灵活性。

4.2 系统准确性与实时性的测试方案

想要检查系统的准确性和快速处理能力,设计了一套很完整的测试计划,尽量把所有可能发生的情况都考虑进去。特意收集了老年人在日常生活中做出的各种行为数据,利用这些数据搭建一个测试用的数据集合,用来判断图像识别和行为检测功能的精准水平。这个测试计划设计了两种操作方法,一种是离线批量处理测试,另一种是即时信息流测试。离线测试的时候,拿事先录好的行为视频让系统进行识别,记录下识别的准确率,判断系统处理固定数据的能力表现如何。即时测试的场景中,依靠摄像设备监控老年人在家里的行为,仔细研究行为的详细特点,确保系统在环境不断变化的情况下依然能保持精准水平,在测试过程中记录延迟时间和处理效率,确保达到快速处理的要求,能够适应实际使用的具体需要,力求测试结果真实可靠。实验结果即将用来调节算法参数和改进系统架构,用以提升整体性能。对于不同行为特征,实施误差分析,更深入证实系统于复杂环境

中的稳定性能,给后续开发给予技术支持。

4.3 用户体验数据汇总与反馈调整

用户体验数据归纳和反映优化环节中,采集到的用户体验数据聚焦在系统的简便性、反应速度以及动作辨识精确性。对于系统界面的友好性评估较高,操控简易直觉。在实时性层面,部分用户反映出现短促的滞后现象,特别是复杂环境中动作辨识的精确性需改进。借助改良算法逻辑性和优化摄像头配置以提升效能,并且强化硬件支撑用以保证系统稳固性。用户提议提出添加定制化设置选项的必要性,优化之后系统整体满意度明显提升,给后续研发提供重要参考。

5 应用前景与发展趋势

5.1 福祉养老智能辅助系统的应用价值评估

福祉养老智能辅助系统在现代养老服务中具备很高的应用价值。这个系统使用先进的计算机视觉技术,能够细致捕捉和深入分析老年人的行为特征,确保监测工作做到实时和安全,给予非常可靠的技术支持和保障。这个系统还可以识别出老年人跌倒或者长时间久坐等可能出现的危险行为,及时发出紧急警报,尽力减少意外事故发生的可能性,不断提升老年人在家养老的安全保障水平。这个智能辅助系统会针对老年人的日常生活行为进行数字化管理和细致分析,让护理人员和家人可以清楚了解老年人的身体健康状况以及日常生活的规律特点,从而有利于设计并提供符合个人需求的个性化护理和贴心支持服务。

这个技术系统带有评估健康状况的功能,能够帮助老年人完成身体各项指标的监测,及时发现可能存在的健康问题,支持远程医疗服务的顺利运行。建立一个智能化的数字化辅助平台,这个系统明显改善养老服务的效率和准确性,同时也帮助传统养老方式实现升级转变,提供强大的技术力量作为支撑,推动了福祉养老领域的智能改革,带来了很好的社会价值和经济收益。系统用在社区养老、居家养老以及医疗机构等不同场合的前景非常宽广,面对人口老龄化带来的各种难题,能够提供强有力的解决方法。

5.2 技术集成与跨领域合作的潜力分析

技术融合和跨学科合作在推动福祉养老智慧辅助系统发展方面表现出很大的可能性。计算机视觉技术一直在进步,带动养老领域的智能化需求发生变化,过去只依靠单一技术的方式已经不够,现在更需要把多种技术结合起来。通过将计算机视觉、云计算、大数据分析和物联网技术整合到一起,可以进行全面的数据分析和智能决策支持,从而让系统的反应速度更快,准确性更高。跨学科合作也成为提升

福祉养老系统效果的重要方法。把医学、心理学、社会学等不同领域的知识结合起来,能够让系统功能更加完善,实现对老年人健康状况的全面评估,并提供个性化的服务。邀请各领域的专家参与其中,可以在技术创新和实际应用场景的扩展上取得突破,推动养老服务模式的创新和改进,为老年人带来更加优质、周到的智慧辅助服务,真正满足老年人的需求。

5.3 面向未来的福祉智能系统升级方向

面向未来的福祉智能系统提升方向,取决于强化系统的自调节学习能力,以适应持续变迁的老年人生活需求和健康状况。系统需改善多模态数据融合能力,达成视觉、音频和环境传感信息的完整融合,以增进决策的准确性和安全性。推进依托人工智能的个性化健康管理方案,会有利于预先辨别潜在风险,因此改进干预措施。新技术的运用,同样如5G和边缘计算,会促进系统的即时交互能力和处理效率,为老年人供给更加便利的智能服务解决方案。

6 结语

通过研究开发了一套基于计算机视觉技术的养老智能辅助系统,集成了图像识别、行为检测和环境感知的功能,非常适合用来提高养老服务的智能化水平,能够协助记录老年人的行为习惯,实施安全监控,详细研究日常生活的各种情况,并且评估身体健康状况,进而让生活质量得到提升。这套研究成果给出了技术理论的支持和全新的思路,但系统在复杂环境中的行为识别精准度、数据的整合处理以及个人隐私的保护方面还存在不足,需要改进完善,还要核实是否能够适应不同地区的养老服务需求。未来的研究方向可以重点关注算法的优化升级,多模态数据的综合处理,隐私保护技术的研发设计,以及针对不同需求的个性化解决方案的制定,面对人口老龄化带来的各种问题,促进智慧养老系统的普及应用,力求让更多老年人享受到科技带来的便利和保障。

参考文献

- [1] 添彩凤.基于计算机视觉的检测系统设计与实现[J].市场周刊·理论版,2020,(48):0190-0190.
- [2] 陈宏涛,杨军,吕彦霖.基于计算机视觉的智能安全驾驶监测系统设计[J].电脑编程技巧与维护,2023,(10):128-131.
- [3] 郑城锟,黎晋源,郭玲敏,周子期,林裕盛.基于计算机视觉智能阅卷系统的设计[J].科技经济导刊,2021,29(21):6-8.
- [4] 焦治鑫.基于计算机视觉的辅助驾驶系统设计研究[J].信息与电脑,2022,34(23):117-119.

Application of refined management methods in R&D expense management of construction enterprises Research on asynchronous digital circuit design method based on low-power optimization

Mingzhong Liu

Guizhou Aerospace Control Technology Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550009, China

Abstract

In the era of nanotechnology, asynchronous digital circuits have attracted much attention. Based on this, the article first analyzes the low-power characteristics of asynchronous digital circuits, and from the perspective of topology, analyzes the causes of the low-power characteristics of asynchronous digital circuits. Then, from four aspects: selection of design style, handshake protocol and communication mechanism, layout and physical design, and power management strategy, the key points of low-power design of asynchronous digital circuits are discussed. The process of low-power design of asynchronous digital circuits is introduced, including requirement analysis and architecture design, logic design and optimization, timing verification and power consumption analysis, physical design and prototype verification. Combined with current design problems, the future development is also discussed.

Keywords

asynchronous digital circuit; Low power consumption; design method

基于低功耗优化的异步数字电路设计方法研究

刘明忠

贵州航天控制技术有限公司, 中国·贵州 贵阳 550009

摘 要

纳米时代, 异步数字电路备受关注。文章基于此, 首先分析了异步数字电路的低功耗特性, 并从拓扑结构的角度, 分析了异步数字电路低功耗特性的成因, 继而从辑风格选择、握手协议与通信机制、布局布线与物理设计、电源管理策略四个方面, 探讨了异步数字电路低功耗设计的要点, 介绍了异步数字电路低功耗设计的流程: 需求分析与架构设计、逻辑设计与优化、时序验证及功耗分析、物理设计与原型验证, 并结合当前的设计问题, 对其未来发展做了展望。

关键词

异步数字电路; 低功耗; 设计方法

1 引言

当前, 集成电路已经步入纳米时代, 功耗问题成为制约电子设备性能提升及应用拓展的核心问题。同步数字电路主要依靠全局时钟信号实现时序同步, 时钟树功耗占总功耗的比重在 30% 以上。并且, 受芯片规模扩大、时钟频率提升的双重影响, 同步数字电路时钟偏移、抖动的问题日益显著, 已难以满足纳米级工艺下的能效需求。异步数字电路通过本地握手协议实现模块间通信, 不受全局时钟、事件驱动的限制, 具有天然低功耗、高鲁棒性、低电磁干扰等特性^[1]。因此, 要从低功耗优化的角度出发, 做好异步数字电路设计,

满足纳米时代电子设备性能提升及应用拓展的需求。

2 异步数字电路的低功耗特性与拓扑结构

2.1 异步数字电路的低功耗特性

同步数字电路功耗由动态功耗、静态功耗以及时钟树功耗三大部分构成。时钟树在全局同步中发挥着关键性的作用, 不仅能驱动全芯片所有寄存器, 且开关频率与系统时钟一致。时钟树的特性, 决定了时钟树功耗在同步数字电路总功耗中占比较高, 且为确保时钟信号同步, 同步数字电路需保留大量时序裕量, 因此, 空闲状态下, 时钟仍然翻转, 造成无效功耗。异步数字电路通过请求信号 Req、应答信号 Ack 等握手信号, 实现模块间通信, 摆脱了对全局时钟的依赖, 从根源上消除了时钟树功耗。异步数字电路的动态功耗, 仅和数据活动率有关, 当模块无数据处理时可自动进入休眠

【作者简介】刘明忠(1990-), 男, 布依族, 中国贵州贵阳人, 硕士, 助理工程师, 从事伺服系统数字电路研究。

状态,开关活动近乎为零。此外,有别于同步数字电路对时序裕量的需求,异步数字电路的延迟,由电路本身的逻辑路径决定,可在较低电源电压下稳定工作,而无需时序裕量,这进一步降低了动态功耗。综上,异步数字电路能从消除时钟树功耗、降低动态功耗两个方面,控制总功耗,具有显著的低功耗特性。

2.2 异步数字电路的拓扑结构

异步数字电路的低功耗特性,和其拓扑结构有着紧密的关系。当前,异步数字电路的主流拓扑结构有三:一是捆绑数据结构。该结构将延迟线生成的完成信号与数据信号捆绑传输,通过延迟线模拟逻辑路径延迟,从而实现简化的握手协议。捆绑数据结构可复用同步电路的逻辑单元,具有设计简单的优势,但延迟线的固定延迟可能导致额外功耗。二是非捆绑数据结构。该结构无需预设延迟,而是采用独立的握手信号与数据信号并行传输,通过 Muller C 元素等互斥逻辑检测数据有效性,可实现静态功耗,但其逻辑单元复杂度较高。三是多阈值电压异步结构。该结构在关键路径/非关键路径采用不同阈值器件,适用于深亚微米工艺下的静态功耗优化。

3 基于低功耗优化的异步数字电路设计要点

3.1 逻辑风格选择与优化

逻辑风格是影响异步数字电路功耗特性的主要因素,设计中需根据应用场景选择并优化。当下,常用的优化方式有三种:一是 NCL 逻辑的低功耗优化。NCL 逻辑采用双轨信号表示数据状态,通过阈值门实现逻辑运算,具有内在的抗干扰能力。可通过简化阈值门结构、动态调节阈值以及双轨信号平衡设计实现低功耗优化,如减少晶体管数量,如用三输入阈值门替代复杂组合逻辑,降低寄生电容。二是 PCHB 逻辑的改进。PCHB 逻辑为捆绑数据结构的典型逻辑风格,可通过预充电时钟门控、不对称缓冲设计、多阶段求值拆分等方式,改进逻辑风格。三是绝热逻辑的应用。绝热逻辑通过缓慢充放电减少能量耗散,在超低功耗场景中有广阔的应用空间。可结合握手协议,优化绝热逻辑,实现能量回收与低开关损耗。

3.2 握手协议与通信机制优化

握手协议作为异步数字电路的核心,其效率对功能有着直接的影响。因此,应将握手协议与通信机制的优化作为异步数字电路设计的关键,并从三个方面采取好措施:一是四项握手与两相握手的权衡。四相握手逻辑简单,但翻转次数多,两相握手虽然翻转次数少,但信号完整性要求高。对高可靠性场景,可采用四相握手,并引入 Early Acknowledge 机制,在数据稳定后提前结束握手,减少翻转次数^[3]。采用两相握手时,可利用差分信号传输降低噪声干扰,确保协议可靠性。二是异步互连网络的低功耗设计。围绕总线编码、自适应缓冲以及片上网络异步化等,做好异

步互连网络的低功耗设计。以总线编码为例,为减少总线信号翻转率,实现功耗下降的目的,可采用 One-Hot 编码或 Gray 编码。三是冗余握手消除。构建 LSTM 模型,利用历史传输数据训练模型,预测数据有效性,并在确定性场景中,省略部分握手步骤,减少控制信号翻转。

3.3 布局布线与物理设计优化

物理层设计,特别是布局布线设计,对异步数字电路功耗影响极大。应围绕寄生参数控制、多阈值电压分配、布线优化等方面,采取好措施。寄生参数控制方面,采用短路线优先布局,通过减少长导线带来的寄生电容,实现信号传输功耗降低的目标。对称布局 Data/NULL 线或 Req/Ack 线,减少串扰导致的无效翻转。多阈值电压分配方面,在握手信号通路等关键路径,采用低阈值电压器件,确保速度,而在非关键路径,则采用高阈值电压器件,减少漏写电流。多阈值电压技术的合理运用,可显著降低静态功耗。布线优化方面,异步数字电路虽然消除了时钟树,但握手信号的布线仍存在过度拥挤的现象。对此,可采用层级化布线结构,将握手信号约束在局部模块内,减少全局布线长度,以布线优化来达成功耗下降的效果。

3.4 电源管理策略优化

高能效片上系统,资源高度动态分配,对电源管理的粒度有着很高的要求^[4],而异步电路的模块独立性,则为细粒度电源管理创造了良好的条件。对此,可从三个方面优化电源管理:一是动态电压调节。依据模块工作负载,动态调整供电电压,在确保性能需求得到满足的前提下,使功耗最小化。举例而言,若传感器数据输入率下降时,异步处理模块的供电电压同步下调,从而达到降低功耗的效果。二是电源门控。异步数字电路中,模块无需等待时钟同步,可独立进入休眠状态。可利用睡眠晶体管,切断空闲模块的电源电路。也可设置活跃、轻休眠、深休眠等多模式电源状态,根据模块空闲时间自动切换,降低漏写功耗。三是亚阈值操作。无时钟特定,使得异步数字电路在亚阈值区也能稳定工作,解决了同步数字电路时钟失效的问题。在无线传感器节点等超低速、超低功耗场景,可将电源电压降至阈值电压以下。此时,电路仍保持工作状态,但功能则大幅下降。

4 基于低功耗优化的异步数字电路设计流程与展望

4.1 基于低功耗优化的异步数字电路设计流程

突破时序约束,是异步数字电路设计的重点。低功耗优化视域下的异步数字电路设计,主要包括四个环节:

一是需求分析与架构设计。明确异步数字电路的功耗及性能指标,结合应用场景,选择适宜的拓扑结构,划分功能模块并定义模块间握手接口,形成异步数字电路的整体架构。

二是逻辑设计与优化。利用 Verilog、SystemVerilog 等

硬件描述语言建模,结合低功耗设计的目标,借助 Synopsys Design Compiler 的异步扩展模块,实现功耗优化,重点减少冗余逻辑及信号翻转。

三是时序验证及功耗分析。时序验证方面,通过事件驱动仿真,验证握手协议的正确性,分析最大延迟路径是否能够满足异步数字电路的性能需求,若不能,则需返回上一环节,进行优化设计。功耗分析方面,使用 PrimePower 等工具统计基于信号翻转率的动态功耗以及基于泄漏电流模型的静态功耗,迭代优化高功耗模块。

四是物理设计与原型验证。以布局布线作为物理设计的核心,将短路径、多模式电源作为布局布线的优先选择项,通过 Cadence Innovus 等工具完成寄生参数提取与功耗反标。采用 FPGA 原型验证平台验证设计功能,通过 Tektronix PA4000 实测关键模块功耗,与仿真结果对比校准。

4.2 基于低功耗优化的异步数字电路设计方法展望

基于低功耗优化的异步数字电路设计面临着多重挑战,一方面,异步数字电路设计采用的多为同步综合工具,但同步综合工具以直接适配异步逻辑风格,另一方面,异步数字电路的延迟取决于数据模式,传统静态时序分析不再适用。人工智能以及新兴器件的发展,为异步数字电路的优化设计提供了支持。

一是人工智能辅助设计。人工智能以模拟和延展人类智能为主要特点,为异步数字电路低功耗设计提供了技术支持。传统异步电路设计依赖工程师经验进行逻辑风格选择、握手协议优化和电源管理策略制定,存在设计周期长、功耗优化不全局的问题。人工智能辅助设计可通过数据驱动的方式实现设计流程的自动化与智能化,显著提升低功耗设计效率。逻辑结构方面,可基于海量历史设计数据,开发深度学习模型,自动生成适配特定功耗目标的异步逻辑拓扑,合强化学习算法以能量延迟积为奖励函数,快速迭代出最优逻辑结构^[5]。电源管理方面,可通过 LSTM 神经网络功耗预测模型,动态调整供电电压或启动电源门控。

二是新兴器件应用。纳米时代,传统的硅基 CMOS 器件已接近物理极限,难以满足当前低功耗设计的需要。碳纳米管场效应管、二维材料晶体管、忆阻器等新型器件的诞生与发展,为低功耗设计提供了极大的支持。碳纳米管场效应管具有弹道输运特性和近理想亚阈值斜率,同尺寸下,其开关功耗仅为同尺寸硅基 CMOS 器件的 1/5-1/10。将碳纳米管场效应管应用于异步电路的握手信号通路,可在保持相同速

度的前提下,显著降低控制逻辑功耗。碳纳米管场效应管的管径可精确调控,便于实现多阈值电压设计,为异步模块的细粒度电源管理提供硬件支持。二维材料晶体管的厚度为原子级,在超低电压工作时仍保持稳定性能,与异步数字电路的亚阈值操作需求。基于二维材料晶体管的异步绝热逻辑电路,能量损耗仅有传统 CMOS 电路的 5%。忆阻器具有非易失性与计算存储一体化的特性,将其集成到异步数据处理模块,可在本地完成存储与计算,避免数据搬运带来的功耗开销。

三是标准化。设计标准的统一,是异步数字电路低功耗设计规模化应用的前提。针对工具链碎片化、接口协议不兼容、IP 核稀缺等问题,应建立统一的异步电路设计规范,制定异步接口协议标准,定义模块间握手信号的电气特性与时序约束,确保不同厂商设计的异步 IP 核可互操作。同时,针对主流逻辑风格,制定标准化的单元库接口与功耗评估指标,为跨平台设计提供基础。

5 结语

当前,电子器件已进入纳米时代,低功耗设计成为数字电路设计的重点。与同步数字电路相比,异步数字电路摆脱了对时钟树的依赖,具有天然低功耗特性。现阶段,异步数字电路设计中,仍然面临着设计复杂度高、时序验证困难、工具链不完善等问题,这对异步数字电路的大规模应用形成了阻碍。应在把握异步数字电路低功耗设计要点、流程的基础上,围绕人工智能辅助设计、新兴器件应用以及标准化三个方面,推动异步数字电路低功耗设计的深入开展。

参考文献

- [1] 崔梓琳.异步电路关键逻辑模块的设计与实现研究[D].重庆大学,2023.
- [2] 张景伟,李若仲,肖宇,等.基于FPGA的全局异步局部同步四相单轨握手协议实现[J].电子技术应用,2012(04):37-39,42.
- [3] 张奇惠,曹健,曹喜信,等.异步低功耗RSA电路结构的设计和实现[J].北京大学学报(自然科学版),2018(06):1351-1354.
- [4] 中国科学院半导体研究所.数字低压差稳压器技术的回顾和展望[EB/OL].http://www.semi.ac.cn/2017xshd_136831/202012/t20201225_5842715.html
- [5] 张巍.基于智能算法的电子电工与计算机技术应用[J].电子技术(上海),2025(02):280-281.

Level protection and reinforcement strategy of cloud computing platform data storage in the context of Internet security

Zhixiu Gao Jiawei Li

Jinan Sanze Information Security Evaluation Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250101, China

Abstract

In the context of continuous digital economic development, cloud computing has become a core technological support for information system construction. However, with the constant evolution of cyber threats, data storage security issues have become increasingly prominent. As a crucial regulatory framework for China's cybersecurity, the graded protection system provides institutional basis and implementation guidelines for cloud platform security. This paper examines current internet security environments, thoroughly analyzes major risks in cloud platform data storage, outlines key requirements under the Graded Protection 2.0 standard, and explores technical strategies for data storage security reinforcement including identity authentication, access control, data encryption, and backup recovery. Research demonstrates that systematic advancement of graded protection alongside technical reinforcement constitutes an effective approach to enhance cloud platform data storage security, carrying practical significance for safeguarding cyberspace security and data sovereignty.

Keywords

cloud computing; data storage; graded protection; information security; reinforcement strategies

互联网安全背景下云计算平台数据存储的等级保护与加固策略

高志修 李佳蔚

济南三泽信息安全测评有限公司, 中国 · 山东 济南 250101

摘 要

在数字经济持续发展的背景下, 云计算已成为信息系统建设的核心技术支撑。然而, 随着网络威胁的不断演化, 数据存储安全问题愈发突出。等级保护制度作为我国网络安全监管的重要制度体系, 为云平台安全防护提供了制度依据和实施框架。本文立足当前互联网安全环境, 深入分析云计算平台数据存储所面临的主要风险, 梳理等级保护2.0标准下的关键要求, 并探讨数据存储安全加固的技术策略, 包括身份鉴别、访问控制、数据加密、备份恢复等方面。研究表明, 系统性等级保护建设与技术加固并行推进, 是提升云平台数据存储安全水平的有效路径, 对保障网络空间安全与数据主权具有现实意义。

关键词

云计算; 数据存储; 等级保护; 信息安全; 加固策略

1 引言

伴随信息技术深度渗透于社会各领域, 云计算凭借弹性扩展、高可用性与资源共享优势, 已成为政府、企业和科研机构普遍采用的基础架构形态。然而, 云环境下数据脱离本地控制、运行环境多租户共用、安全边界模糊等特性, 使得传统信息安全体系面临挑战。

近年来, 针对日益严峻的网络安全问题, 我国陆续颁布《网络安全法》《数据安全法》等法律法规, 并于 2019

年发布《信息安全技术网络安全等级保护基本要求 (GB/T 22239-2019)》, 提出等级保护 2.0 标准。该标准在继承传统等级保护制度框架的基础上, 扩展了对云计算、大数据、移动互联网等新兴技术形态的适配要求, 为新时代信息系统安全建设提供了规范依据。

在这一背景下, 如何围绕等级保护制度的核心要求, 构建针对性强、执行力高的数据存储安全体系, 已成为云计算平台安全防护工作的关键内容。本文以云平台数据存储为研究对象, 围绕其在等级保护体系下的合规建设与技术加固问题展开系统探讨, 旨在为云平台运营主体提供可行性强、适应性广的安全提升策略。

【作者简介】高志修 (1998-), 男, 中国山东菏泽人, 本科, 中级网络工程师, 从事网络安全研究。

2 云计算平台数据存储面临的主要安全风险

在云计算技术迅猛发展的背景下,越来越多的企业和组织选择将数据存储、处理和管理迁移至云平台,以降低IT成本、提升资源利用效率和增强系统弹性。然而,云计算环境下的数据安全问题也随之愈发突出,尤其是数据泄露、数据完整性和可用性风险、安全管理体系不健全等问题日益成为阻碍云计算深入应用的核心障碍。深入剖析云计算环境下的数据安全风险,对于构建健全的数据保护体系、提升企业数字化治理能力具有重要意义。

2.1 数据泄露风险频发

云计算架构具有高度开放性和资源共享性,数据通常被存储于第三方云服务提供商的基础设施中,数据在传输、存储和处理等环节面临诸多安全隐患。由于多租户共享环境下的资源隔离问题,系统一旦存在漏洞,便可能被攻击者利用实现越权访问,从而导致不同用户之间的数据泄露。例如,某租户通过边界验证绕过手段,访问本不应有权限查看的另一租户数据,进而造成敏感信息外泄。

此外,权限控制机制的不完善也是数据泄露的重要诱因。在实际运维过程中,部分云服务平台未能实施精细化的权限划分,用户权限设定过宽或存在默认账号未修改等问题,为不法分子提供了攻击入口。一旦攻击者获得管理员权限,不仅可随意访问、下载数据,甚至能控制平台操作,导致大规模泄露事件。

值得注意的是,云平台所承载的不仅是用户的日常业务数据,还包括大量涉及隐私的个人信息和企业核心资产,如财务报表、商业合同、知识产权文件等。一旦发生数据泄露事件,不仅会直接损害用户权益、引发法律纠纷和监管问责,还将对企业品牌形象与社会声誉造成难以挽回的负面影响。因此,如何在开放共享的云架构中确保数据安全,是当前亟须解决的重要问题。

2.2 数据完整性与可用性受到威胁

除了数据泄露风险,云计算环境下的数据完整性与可用性同样面临严峻挑战。数据完整性是保障数据可信性的前提,一旦数据被恶意篡改或意外损坏,将严重影响业务运行的准确性和科学性。现实中,不法分子可能通过注入恶意代码、伪造请求或利用管理员权限修改、删除关键数据,使系统产生错误决策,甚至导致业务瘫痪。例如在金融领域,篡改交易数据将直接威胁资金安全,带来重大损失。

近年来,以勒索病毒为代表的攻击方式日益猖獗。攻击者通过入侵云平台系统、加密存储在云中的重要数据,然后向用户索要赎金换取解密密钥。这类攻击不仅导致数据短期内无法使用,还可能造成长期的数据不可恢复风险,严重破坏数据可用性。

值得警惕的是,部分数据可用性问题并非源于外部攻击,而是由于平台内部运维管理不善或技术设施不完善所致。例如,服务器硬件故障、存储介质损坏、网络中断、电

力异常,甚至是运维人员操作失误,均可能导致数据丢失或系统长时间无法访问。尤其是在未建立有效备份和容灾机制的云环境中,一旦发生灾难性故障,用户数据将面临永久性损毁的风险。因此,加强数据冗余备份、建立自动容灾机制和应急响应流程,是确保云计算环境下数据可用性和业务连续性的关键所在。

2.3 安全管理体系不完善

云计算数据安全问题的深层原因往往在于安全管理体系的滞后与不完善。部分云平台仍处于“以功能优先、安全滞后”的建设思路,缺乏统一、系统的安全管理制度与流程。例如,对用户权限边界缺乏精细化控制,对系统行为未实施持续监控和日志审计,导致安全事件发生后无法有效追踪和溯源。此外,安全事件处置流程不明确,导致攻击行为难以及时发现与阻断,影响了整体风险应对能力。

技术与策略的脱节也是常见问题。某些平台虽部署了防火墙、入侵检测、加密传输等技术措施,但在实际运行中未能与运维管理策略形成联动,导致系统无法动态调整防护策略,对新型攻击手段响应迟缓。此外,不同层级安全控制策略分散、缺乏统一协调,也导致防护效果不佳。

同时,云服务提供商与用户在安全责任划分上的模糊界限,也为数据安全带来新挑战。在“责任共享”模式下,云服务商负责基础设施安全,用户则需自行负责应用和数据层的安全管理。但在实际操作中,部分用户错误地将全部安全责任推给服务商,忽视了自身安全配置与管理职责,从而埋下安全隐患。此外,云服务商未能为用户提供完善的安全服务选项与配置指导,也加剧了风险暴露。

3 等级保护 2.0 标准下的数据存储安全要求解析

3.1 制度背景与政策框架

等级保护制度是我国信息系统安全管理的基本制度,按照信息系统对国家安全、社会秩序、公共利益的影响程度,将信息系统划分为五个安全等级,提出相应的技术与管理要求。2019年发布的等级保护2.0标准在原有框架上新增了对云计算、大数据、物联网等技术形态的适配内容,明确了等级保护对象不再局限于传统实体系统。

对于云平台而言,不论作为服务提供方或租用方,都需按系统定级开展等级保护测评与整改,确保安全控制点的全面覆盖与有效执行。特别是在数据存储方面,标准强调了数据分类分级保护、访问权限控制、传输加密、存储加密、备份与恢复、安全审计等关键控制点。

3.2 数据安全保护的基本要求

等级保护2.0在数据安全层面提出“分类分级、全生命周期保护”的理念。对于不同敏感等级的数据,应采取差异化保护措施,实现“重要数据重点保护”的原则。技术措施应覆盖数据生成、传输、处理、存储与销毁全过程,形成闭环式管理。

标准对数据加密存储提出明确要求,敏感数据应采用国家商用密码算法进行加密处理,同时必须配置数据完整性校验机制,以防数据篡改与伪造。对于高等级系统,还需部署专用加密机与密钥管理系统,保障加密体系安全性与可靠性。

3.3 云环境下的差异化保护策略

等级保护 2.0 对云平台特性进行了细化适配,如要求平台运营方具备虚拟化安全、资源隔离、镜像可信验证等能力,用户方则需对其租用服务的系统级别进行定级备案,并按等级要求落实数据保护措施。

此外,标准还强调云平台应具备灵活的资源动态调整能力与统一的安全策略推送机制,以应对复杂多变的网络安全威胁。

4 云平台数据存储加固的关键技术路径

4.1 强化身份认证与访问控制

云平台数据存储安全,首先要筑牢访问者身份识别这道防线。建立基于多因子认证(MFA)的用户身份验证机制是关键,可引入动态令牌、生物识别等先进手段。动态令牌能提供一次性密码,生物识别如指纹、面部识别等具有唯一性,二者结合可极大增强登录安全性,有效抵御暴力破解等攻击。

对于高敏感操作,需设置严格的行为审计与授权审批流程。通过详细记录操作行为,对异常操作及时预警,同时要求多级审批,防范内外部人员越权访问,确保数据操作在可控范围内。

在访问控制上,推行最小权限原则至关重要。基于角色(RBAC)或属性(ABAC)的访问控制模型,可实现精细化权限分配与动态调整。RBAC根据用户角色分配权限,ABAC则依据用户属性、资源属性等综合判断,二者都能确保每位用户仅能访问与其职责相符的最小范围资源,避免权限过度分配带来的安全风险。

4.2 完善加密与备份容灾机制

加密是保障数据存储安全的核心手段。对静态数据采用国密对称算法:SM4

等对称加密处理,可有效防止数据在存储过程中被窃取或篡改。对于传输数据,运用SSL/TLS等协议保障链路安全,确保数据在网络传输过程中的保密性和完整性。同时,引入哈希算法(如HMAC-SM3)生成数据摘要,通过对比校验结果实现完整性验证,及时发现数据是否被篡改。

为保障数据可用性与业务连续性,构建多级备份体系必不可少。包括本地实时备份、异地异构备份与云端热备方案,备份数据独立加密存储,并定期进行恢复演练,验证备份文件完整性与恢复路径可行性。在容灾方面,通过主备切换、负载均衡、容器化部署等方式提升系统弹性,对关键

数据节点部署RAID阵列、分布式存储与副本机制,提高物理层安全性与系统抗故障能力,确保云平台数据存储稳定可靠。

5 等级保护落地中的实践路径与管理机制

在技术加固之外,制度建设与流程规范同样是等级保护工作成功的关键。一方面,组织应成立安全管理委员会,明确等级保护责任人,制定信息管理制度与应急预案。另一方面,应通过定期安全审计、自查整改与第三方测评等手段,持续优化安全措施。

此外,还需强化人员培训与安全意识教育,确保操作人员理解等级保护政策与具体操作流程,减少因人为失误导致的安全事件。对于云平台运营商而言,还应建立与用户的安全责任边界协议,明确数据处理权限与安全服务内容。

云平台服务商可借助“安全即服务”(Security as a Service, SECaaS)模式,为客户提供包括数据加密、审计日志、异常监控等在内的托管安全服务,提升整体安全运维效率,缓解中小客户的安全建设压力。

6 结语

在互联网高速发展与数字化转型深入推进的背景下,云计算平台承载的数据类型日趋多样、数据价值日益攀升,数据存储安全问题愈加重要。等级保护 2.0 的出台为新技术环境下的信息系统安全建设提供了清晰框架和标准指引。在此基础上,针对云计算平台的特性,制定系统化的数据存储安全加固策略,是提升平台安全水平与风险应对能力的关键。

本文从风险识别、标准要求、技术路径与管理机制四个层面,系统探讨了云平台数据存储的等级保护实施逻辑与加固措施。实践证明,制度建设与技术手段协同并进,才能构建稳定、高效、合规的数据存储安全体系,为数字经济的健康发展提供坚实保障。未来,需进一步研究人工智能、区块链等新兴技术在数据安全领域的应用,持续推动安全理念与能力的协同演进。

参考文献

- [1] 穆端端.提升安全配置管理能力,保障云计算基础设施算力安全[J].中国信息安全,2024,(09):83-86.
- [2] 刘秋月,刘佳良.基于云计算的SecaaS发展态势研究与建议[J].网络安全技术与应用,2024,(09):84-87.
- [3] 李紫赚.基于云计算的动态网络体系优化与智能路由算法研究[D].昆明理工大学,2024.
- [4] 刘菁.基于技术控制能力的云计算服务提供者法律义务分类配置[D].北京化工大学,2024.
- [5] 简振城.云计算行业上市企业的投资价值研究[D].广东财经大学,2024.

Application of AoIP technology in intelligent monitoring system of wireless transmitting station

Wangniandong

Taizhou Radio and Television Station, Taizhou, Jiangsu, 225300, China

Abstract

AoIP technology offers unique advantages in signal transmission and centralized processing, supporting the IT-oriented and intelligent evolution of broadcast monitoring. In 2021, Taizhou Radio and Television pioneered its application in retrofitting wireless transmitter monitoring systems, achieving real-time data collection, analysis, presentation, and emergency control as expected. The new system is simple, efficient, fully functional, stable, safe, and reliable, serving as a successful case for intelligent wireless transmitter monitoring. This article introduces Taizhou's AoIP-based intelligent broadcast monitoring system to provide technical reference for peers.

Keywords

AoIP technology; full coverage of data collection; full elements of data analysis; full routing of monitoring and surveillance

AoIP 技术在无线发射台（站）智能监控系统中的应用

王念东

泰州广播电视台，中国·江苏 泰州 225300

摘 要

AoIP 技术在信号传输、集中处理等方面拥有独特的优势，这给广播监控走向 IT 化、智能化创造新的技术基础和发展空间。2021 年，泰州广电在调研的基础上，率先启用 AoIP 技术对无线发射台监控系统进行改造，实现了实时数据采集、分析、呈现以及应急控制等预期功能。新系统简洁高效，功能齐备，运行平稳，安全可靠，是无线发射台（站）智能监控系统建设的成功案例。本文主要介绍泰州广电无线发射台基于 AoIP 技术的广播智能监控系统，以为同行提供技术参考。

关键词

AoIP 技术；数据采集全覆盖；数据分析全要素；监听监看全路由

1 AoIP 技术简介

AoIP（Audio over IP）是指数字音频信号通过 IP 网络进行传输的技术^[1]。从广义的角度来看，所有以 IP 方式进行传输的音频均能被称作 AoIP，如点播、流媒体音频、网络广播等。本文所阐述的 AoIP 有其特定含义，是一种非压缩、低延时的音频网络传输技术，其主要特征有：

1.1 高保真

AoIP 所指的广播级音频信号通常是全频带和低噪声的无压缩音频数据流，大部分采样率等于或高于 CD 的 44 100 Hz、16 bit，无损的压缩编码。

1.2 低延时

网络传递只需极短的数据包交付时间。典型 AoIP 网络总时延通常在 100μs~10ms，每个数据包的音频采样值为 6~192 个/通道。

1.3 严格同步

高质量流化音频运行的设备需要实现数字音频的时钟同步。这种时钟同步确保网络中的任何一台接收设备都能与其他的发送设备和接收设备同步，因此不会出现信号接收缓存溢出或清空现象^[2]。AoIP 网络同步机制的确立，在于引入了精确的时钟同步协议 --PTP（Precision Time Protocol），这是一个由 IEEE 制定和发布的国际标准，标准号是 IEEE1588。

1.4 兼容 IP 协议

基于三层 IP 协议设计的 AoIP 网络音频传输技术，建立在公开、统一、兼容、开放的标准技术之上。其利用传统的以太网实时传输高质量、低延时、多通道、无压缩、不失真的实时流化音频信号^[3]。在此基础上，AoIP 引入 QoS 机制进行流量控制，将时钟、音频数据以及其它数据标记上不同的优先级后在网络中传输，确保时间敏感数据优先通行。

2 AoIP 技术在泰州广电无线发射台的应用

2016 年，参照 AES67 标准，广电行业标准 GY/T 304-

【作者简介】王念东（1970-），男，中国江苏泰州人，助理工程师。

2016 正式发布；2019 年，参照 AES70-2015 协议，广电行业标准 GY/T 322-2019 颁布实施。两个广电行业标准的正式颁布，扫清了困扰已久的 AoIP 协议标准不统一问题。过去的 10 年间，AoIP 技术迅速发展。在官网的产品展示中，支持 AoIP 技术的产品已经多达几千款，几乎覆盖所有品类^[4]。在这样的技术背景下，泰州广电无线发射台的智能监控系统改造项目选择了 AoIP 技术体系。

在这一体系中，音频流的传输是通过 RTP（实时传输协议：Real-time Transport Protocol）来实现的，通过 RTP 流的单播和组播机制，可以将一个节点的 RTP 流送往另一个节点或组播到多个节点，而同一节点的 RTP 流可以来自不同的信源节点。这种音频分配方式是隐藏在局域网物理拓扑结构下的一种虚拟结构，物理意义上的网络线缆只是接入通道，管道内持续不断流动的音频流在各自的源和目标间组成了一张虚拟的网——虚拟路由。

这种虚拟路由虽然看不见摸不着，却可以像传统矩阵一样完成路由切换，实现诸如手动切换、定时切换、策略切换等功能。也可以通过 **AoIP** 端口监听网络上的所有信号，这是以往监听矩阵无法实现的。这样的构架让无线发射台的监控系统顿时“鲜亮”起来。

2.1 利用 AoIP 技术实现数据采集全覆盖

早期的广播监测使用电平表头、幅度监测仪（彩条）等技术手段，此后又有利用声卡或 MADI 卡采集多路音频到 PC 电脑进行实时分析和显示的方案。这一方案往往需要布置大量的音频电缆来完成集中采集。再后来，网络化的广播监测监控系统出现：采用分布式架构，使用嵌入式终端，将音频信号在远端进行采集，然后经局域网回传，进行集中的分析和展示。这种构架下，信号在嵌入式终端要进行反复转换，使监测系统变得十分复杂，监测设备的不稳定和故障也会导致伪监测的发生，给正常的技术维护和运行保障带来更大的工作量。

AoIP 的出现改善了这种困境：既然大部分音频设备都有 AoIP 接口，那么直接通过这些接口采集相应的音频信号，就可省去大量插入采集设备和中间环节。系统能从每个 AoIP 设备中获取大量的音频原始信息，通过网络路由和设备路由的设定，几乎可以跟踪到所有 AoIP 接入设备的所有输入和输出信号。AoIP 是一种无损透传技术，用于监测的 AoIP 信号一般直接取自设备核心单元，没有进行任何的压缩处理和数据转化，消除了伪监测发生的可能。图 1 是泰州广电发射台信号监控流程图。

管理人员从图1中可获取到如下信息：一是传输链路异态：如出现故障，链路故障点处会有红色闪烁；二是信号异态：图中音频路由器前端、后端均有信号采集到监测平台，如有故障信号标识会改变颜色；三是设备异态：如果输入信号正常，输出信号失常，可以判定设备故障。在算法支持下，系统还能自动调度传输链路。以信号质量、

设备质量、网络质量等元素为考量标准,系统的算法模型通过对动态传输元素的计算,自动划分出链路等级,自动调度最佳链路用于信号传输。为应对特殊情况的发生,系统还设计了断电直通、手动切换、跳线切换功能模块。

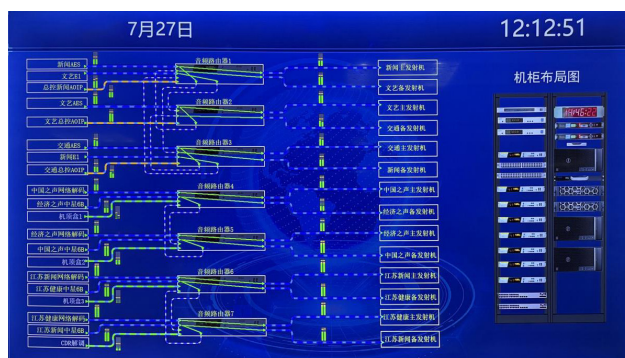


图 1 泰州广电无线发射台智能监控系统信号实时传输流程图

2.2 利用 AoIP 技术实现数据分析全要素

信号质量的实时监测分析直接关系到收听的音质和节目的效果,也是应对播出事故的关键措施,播出过程中的声音质量问题主要表现在以下几个方面:

信号中断: 播出信号的中断、通常为静音或完全的噪音、杂音;

信号质量差：有信号，但质量欠佳，常见的现象有信号弱、削波、缺声道或声道失衡、立体声反相、混有杂音、响度不一致等；

内容不一致：最终播放的内容与起始信号源不一致，主要原因有非法插播、设备路由错误等。

传统的停播报警器、多通道音频幅度监测仪（彩条）判断信号异常的手段几乎都是基于电平分析的：先将原始音频信号处理成 VU 表、PPM 表、立体声相关表等慢速特征数据，然后在展现这些数据的同时，对其进行分析和判断。例如：当 VU 电平低于某阈值一定时间后就会触发停播报警，PPM 表的统计值高于某个阈值就会触发削波报警，声道相关性的统计值低于某个阈值就触发反相报警等。

这些做法有误判和伪监测的可能。例如：当停播表现为不规律的杂音时，电平表的变化不足以提供停播的证据，会出现漏报。而当声音信号经过分频、均衡、压限等处理后，信号的波形出现了畸变，电平的变化规律与原始信号电平变化已不成比例，很难据此判定其相似性。

AoIP 监测系统是能提供这类高级分析服务的智能化载体:

首先, AoIP 采集和传送的音频信号就是最原始的波形数据, 没有经过任何有损压缩处理, 可达到 48KHZ/24bit 的演播室质量, 拥有全部的信息。其次, AoIP 分布式网络化的特征能够将位于不同地点、不同设备的音频信号汇聚到一起, 进行集中的展示和分析, 且系统容量足够大, 同一信号还能被不同处理单元共享。



图2 泰州广电无线发射台智能监控系统的空收信号和信源信号监测界面

图2空收信号来自2台收音头设备,信源信号来自音频路由器的前端,通过系统的数据可视化算法,真实反映在监控系统中。值班员可以直观发现信号故障并判断故障原因。

2.3 通过 AoIP 技术实现监听监看全路由

监听监看子系统对监测系统来说是必不可少的,传统总控机房往往配置专用的监听切换器或监听矩阵,以供监听选择。所有的要被监听的设备均被连接到了监听切换器,如果某设备没有专门的监听输出端口,则需要插入音分去截取相关信号用于监听。这种方式的最大缺点是随着监听音源数的增加,系统变的越来越复杂,需要更多的连线 and 音分以及更大规模的监听切换器。且如果切换器故障,则全部监听功能“失聪”。

基于 AoIP 技术的无线发射台监控系统改变了这一状况:系统通过的虚拟路由,轻易获得了 AoIP 网内所有节点的输入信号,而且这些信号是无损的。在已组建的 AoIP 总控监测网内,只需要定义监听节点和监听输出通道即可,根本不需要配置专用的监听切换器,甚至连专用电缆都不需要添加。



图3 泰州广电无线发射台智能监控系统监听频率选择界面

统一的监控平台为选择监听源提供了简洁可靠的操作界面。例如当需要对某个输出源进行监听时,传统方式需要

两步操作,其分别作用于主矩阵和监听子系统,而在 AoIP 监控平台上用户只需一键操作,然后由系统在后台操控设备完成监听音源的切换。从图3中还可以看到监听模式支持手动选择、自动轮听、故障时自动切至故障点监听等。

高质量数据采集和全要素数据分析,让监听监看的范围更广,时效更高,预防和处理突发事件的能力也更强。泰州广电新系统的监听监看范围已延伸到发射机的输出端,事实上,泰州广电的监测的范围已覆盖整个传输链路,这对传统监听监看系统而言几乎是不可能完成的任务。

3 系统创新点及优势

基于 AoIP 技术的无线发射台智能监控系统投入使用以来,性能稳定,安全可靠,实现了广播音频系统调度播出、应急响应、监听监看等功能要求,为地级市无线发射台(站)监控系统的 IT 化、智能化建设提供了泰州样板:

- (1) 音频数据与监控数据能使用相同的媒介和传输路径,极大简化了系统,同时也促进了各子系统的相互融合;
- (2) 在现有的网络音频设备基础上直接构建基于 AoIP 的监控系统,消除了传统采集转换环节,同时实现了基于真实音频流的信号质量分析,从而有效降低了伪监测的风险;
- (3) AoIP 监控系统的安全性得到提升。首先,监测网不会对核心设备如音频路由器、音频处理器等构成致命的影响。因为在这些设备内部,AoIP 接口基本上都是独立的。网络的拥塞甚至崩溃均止步于 AoIP 接口板,不会经机内的音频接口造成这些设备的死机或输出中断;其次,还有主备冗余、QoS 流量管理、分域路由、网络及软硬件的实时监测等一系列的网络安全措施来保障监测网的安全。

4 结语

近年来,广电 IP 化的历程与发展呈现标准化和 IT 两大趋势。“广播电视中心未来的发展将遵循‘从模拟到数字,再经由 IP 化,最终达到 IT 所代表的云化和智能化’的必由之路”^[5]。在媒体走向融合发展的应用场景下,“Everything over ip”是未来,是方向。

参考文献

- [1] 钱岳林 邓纶晖 AoIP原理与实践[M] 北京:中国传媒大学出版社,2020。
- [2] 蒋莲杰 向楠 AoIP技术在广播系统中的设计与应用[J].科技与创新 2024 (17): 177-179, 182。
- [3] 姜海 基于Dante协议的AoIP技术在互联网播出中的应用[J].广播电视信息2023 (373): 74-76。
- [4] 徐树昊 王刚 循序渐进推动AoIP技术在广播播控系统中的应用[J].广播电视信息2023 (376): 66-68。
- [5] 曾剑锋 AES67和ST2110标准的广播播控系统实践[J].西部广播电视2024 (15): 187-191。

A new generation of intelligent dispatching automation computer room design scheme

Hongjuan Ma Rui Wang Yanli Gu Jing Xu Jiaxing Guo

Jiangsu Keneng Electric Power Engineering Consulting Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210036, China

Abstract

With the continuous development of the new power system, it is bound to bring about the explosive growth of the data of the power grid automation system, and put forward higher requirements for its massive data storage, analysis, processing and computing resource allocation ability. Therefore, it is necessary to further optimize and expand the basic environment and infrastructure resources of the power dispatching automation machine room, so as to ensure the availability, stability and security of the machine room operation. In order to better support the efficient development of scheduling businesses. This paper puts forward the construction scheme of intelligent automatic machine room by using high-frequency modular UPS, intelligent bus wiring system, modular cabinet and other technologies.

Keywords

Intelligent, machine room, modularization

新一代智能调度自动化机房设计方案

马鸿娟 王瑞 顾艳莉 徐晶 郭家兴

江苏科能电力工程咨询有限公司, 中国 · 江苏 南京 210036

摘 要

随着新型电力系统持续发展, 势必带来电网自动化系统数据爆发增长, 对其海量数据存储、分析、处理以及计算资源调配能力提出更高要求, 因此需要进一步优化、扩展电力调度自动化机房的基础环境、基础架构资源, 保障机房运行的可用性、稳定性、安全性, 以便更好地支撑调度各项业务的高效开展。本文通过采用高频模块化UPS、智能母线配线系统、模块机柜等技术, 提出智能自动化机房的建设方案。

关键词

智能、机房、模块化

1 引言

随着新型电力系统的持续发展, 势必会带来电网自动化系统数据爆发增长, 对其海量数据的存储、分析、处理以及计算资源调配能力等提出了更高的要求, 因此需要进一步优化、扩展电力调度自动化机房的基础环境、基础架构资源, 保障机房运行的可用性、稳定性、安全性, 以便更好地支撑调度各项业务的高效开展。

2 智能机房的发展趋势

目前, 绿色节能技术日趋成熟, 现有标准数据中心 PUE 在 1.8 左右, 能耗较高。采用高频模块化 UPS 技术, 效率值可达 96%, 提高了供电效率; 采用冷通道封闭、冷

冻水空调、变频水泵、空调智能群控等手段, 提高了制冷效率, 由此 PUE 可降低至 1.4 以下。

机房模块化将成为主流方向。模块化是将机柜、配电、制冷、布线、通道、天窗以及管理系统等多个部件组合形成一个单元模块。模块机房较传统机房, 更利于节能降耗, 支持快速部署, 扩展灵活。

高密度是未来发展的趋势。国外调研报告表明, 北美数据中心单柜平均功率密度 7.4kW, 其中单柜功耗在 12kW 以上的占 27%; 国外新设计的数据中心可以支持机柜功率密度平均为 15kW; 而国内一般单柜平均功率密度 4-5kW, 近年来呈上升趋势。

3 智能机房建设方案

3.1 机房建设内容

3.1.1 电源系统

电源系统是整体数据中心机房高可用性的后盾。计算机及网络通讯设备投入服务后如无一个长期稳定的供电系

【作者简介】马鸿娟 (1985-), 女, 中国江苏苏州人, 本科, 工程师, 从事电力系统通信和调度自动化等方面的设计研究工作。

统来保证计算机及网络通讯设备和有关外围设备正常运行,势必造成严重的后果。机房的电源系统是一个综合性供电系统,在这个系统中不仅要解决计算机等微电子设备的用电问题,还要解决精密空调等其他设备的用电问题。

3.1.2 空调系统

空调系统是机房运行环境的保障。计算机主机及通讯设备是高精密的电子设备,对机房环境有严格的要求,其中最重要的是温度、湿度和洁净度,即是所谓的三度要求。

3.1.3 安防监控系统

安防监控系统主要是针对主机房的动力环境进行监控,包括动力环境监控系统、门禁管理系统、视频监控系统和安全防范系统等,确保机房基础环境的安全运行和便捷管理。

3.1.4 机房微模块

机房微模块包括:精密列头柜(可选)、服务器机柜、行间空调(可选)、机柜桥架、设备底座、封闭通道及消防联动等内容。

机房选择用微模块方式建设。标准机柜由工厂预制,机房机柜采用面对面、背靠背方式布置,完成冷通道封闭和智能化监控系统集成。模块单元系统包括机柜、桥架及线缆等。

3.2 机房建设方案

机房建设方案以智能自动化机房(A级)进行设计为案例,对机房空调系统、安防监控系统、模块机柜和UPS电源系统等主要系统的配置要求、设备参数计算和功能选择等方面进行了设计。

本案例智能自动化机房建设拟按以下条件进行设计。机房总面积为750m²、电源室面积为200m²、蓄电池室为400m²,机房放置260架标准机柜,机柜负荷按5kW/单柜考虑,同时采用可靠性高,易于安装维护智能母线配电方案。机房母线布置示意详见图1。

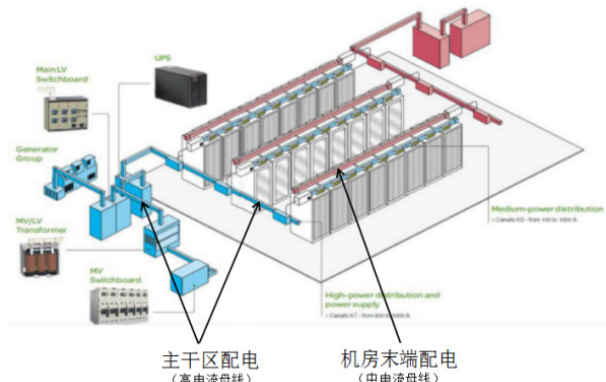


图1：机房母线布置示意图

3.2.1 空调系统

目前,主流方式包括水冷冷冻水、风冷冷冻水和风冷直膨式三种制冷方式,其中,冷冻水系统PUE更低,且可利用自然冷源,减少机组运行时间,本案例机房采用冷冻水

型精密空调,送风方式采用下送上回方式,配合冷通道封闭方式,冷空气通过静电地板送至冷通道,通过冷通道将冷气从柜前送入机柜内,热气从柜后输出,形成冷热循环。冷冻水精密空调按照面对面方式进行布置,提升冷通道内冷量均衡,配置满足GB50174要求。

3.2.2 安防监控系统

规范GB50174按照A级机房进行设计,机房应设置环境和设备监控系统,对机房视频监控、环境监测、安全防范、火灾报警及门禁等子系统进行整合,建立一套完善的机房动力环境监控系统对其进行全面集中监控,以达到“集中监控、精确定位故障、高效管理”的建设目标。

中心监控管理平台可以对所有采集数据进行汇总,并由平台作为唯一报警网关出口进行故障报警,报警方式多样(含短信报警、电话拨号报警、多媒体语音报警、邮件报警、声光报警、微信报警等报警方式)、准确、可靠;并能对监控数据进行趋势分析,生成多种数据报表,为机房运维人员提供决策依据。

安防监控系统主要包括视频监控系统、门禁系统、动环监控系统等子系统设备。设备根据机房实际情况进行配置。安防监控系统示意详图2。

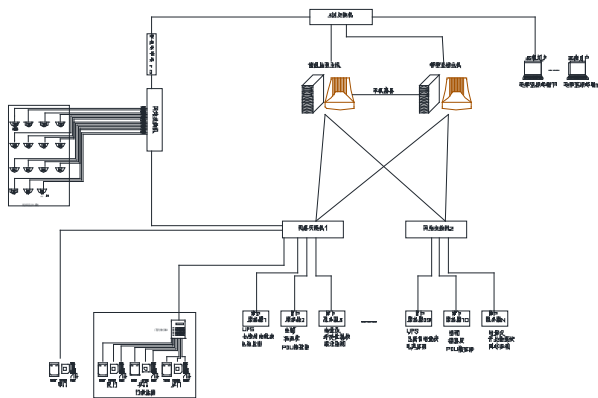


图2：安防监控系统示意图

3.2.3 机房微模块

机房微模块由封闭冷通道单元和封闭冷通道系统组成。

封闭冷通道单元:由天窗、端门与机柜连接组合而成,包括单元入口,天窗、灯具和线槽等。

封闭冷通道系统:包括IT柜、PDU、列间空调(可选)、动环监控系统、综合布线系统等组成。

(1) 封闭冷通道单元

封闭冷通道单元采用模块化架构设计,为提高机房制冷效果,分隔冷热气流,形成良好的气流组织,前进风机柜采取冷通道封闭的措施,以提高空调的制冷效率。

封闭冷通道,单个模块内须一体化集成机柜系统、供电配电系统、制冷系统(可选)、管理系统、布线系统,采用双排布置,双排间距1200mm,双侧安装IT柜,模块内所有柜体须搭配结构密封件使高度统一。

密闭冷通道由端门、天窗、密封板及其他安装附件构成。密闭通道宽度为 1200mm。

天窗控制器控制电磁锁打开旋转天窗，烟感、温感安装在通道顶部，与消防控制系统对接，中间天窗可固定、可翻转（由电磁锁自动控制开启）。天窗开启实现与通道内消防告警信号联动，在消防状态下电磁锁打开，旋转天窗在重力作用下自动打开，保证灭火气体进入密封冷通道。

（1）封闭冷通道系统

1）服务器机柜

服务器机柜为前进风、后出风机柜，内部使用空间不少于 42U。

机柜尺寸（高度 H×宽度 W×深度 D）=2200mm×600mm×1200mm。

机柜门和侧板为可拆卸式结构，门的开合转动灵活、锁定可靠、施工安装和维护方便；门的开启角应不小于 110°。后门应采用外开门方式，前门单开，后门双开，支持通孔率不小于 70%。后门带锁，也可根据用户需要更换为独立门锁。门锁可设定锁定和非锁定两种状态，在非锁定状态下，钥匙拔下时不影响正常的开关门。

2）PDU

每个机柜标配 2 条国标 PDU，为设备 A/B 路供电使用。两条 PDU 应为同一规格，互为备份。

PDU 每位插孔间须保留一定的间距，应根据机柜高度与机柜 U 位刻度对应，以方便设备接线整齐美观。

两条 PDU 须安装在机柜后侧，PDU 与机柜的固定方式应灵活、方便，利于安装和拆卸。

3）机房微模块动环监控系统

动环监控系统实现对机房微模块基础设施的集中管理，包括动力设备、环境设备、视频、门禁等，发现部件故障或参数异常，即时进行报警，记录历史数据和报警事件，所有监控信息提供给管理平台集成接入。

为提升运维效率，微模块应配置不小于 40 英寸触摸大屏，直观展示智能特性。

4）综合布线

综合布线系统是机房微模块单元间数据信号的传输通道，主要由配线架、配线单元和线缆组成。综合布线主要为弱电布线，目前，根据业务需求布置多模光纤和网线，布线时应注意在每个机柜、设备后面都有相应的线缆，并应考虑以后的发展需要，各种线缆应分门别类用尼龙扎带捆扎好。综合布线不仅须满足当前的业务处理需求，更需要考虑今后

网络发展的需求。

3.2.4 电源系统

机房配电及 UPS 电源规划应采取“统一规划，分期设施”的设计思想。容量规划和系统设计要求“一步到位”，即：在设计时可以规划机房全部负载和终局电源系统的容量；在使用过程中可以随着业务发展逐步分期建设，动态扩容。

IT 主设备由不间断电源系统 UPS 供电，制冷机组、末端空调、照明等其他负荷正常由市电直供，在市电全失情况下，末端空调可切换至 UPS 电源供电。

UPS 电源系统设备包括 ATS 切换柜、旁路开关柜、UPS 输入开关柜、UPS 主机、蓄电池控制柜、蓄电池组、UPS 输出开关柜等。

UPS 电源系统示意详见图 3。

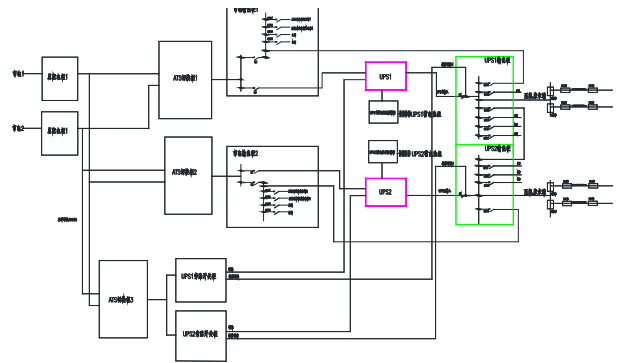


图 3: UPS 电源系统示意图

4 总结

新一代智能调度自动化机房的建设能够满足调度自动化远景业务和机房的发展需要，更利于节能降耗，支持快速部署，扩展灵活，进一步优化、扩展机房的基础环境、IT 基础架构资源，保障机房运行的可用性、稳定性、安全性，以便更好地支撑各项业务的高效开展。

参考文献

- [1] 刘大为、刘梦成、韩玉仲、董美智、张培等.不同制冷方式对数据中心PUE值影响分析[J].智慧建筑与智慧城市,2021(11):77-78. DOI:10.13655.
- [2] 何莹,韦凌霄,王豪强.智能电力调度自动化机房方案与实现[J].中国电力教育,2008(S1):152-154.
- [3] 蔡君.调度自动化机房UPS供电系统的设计与维护[J].通信电源技术,2013,30(03):38-40.
- [4] 刘晓放.精密空调技术在调度自动化机房的应用[J].贵州电力技术,2014,17(08):50-51+18.

The application path of multimedia digital information technology in radio and television engineering projects

Yue Wu

Xinjiang Uygur Autonomous Region Radio and Television Bureau, 91613, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

With the advent of the 5G era and the acceleration of media integration, the radio and television industry is gradually upgrading from analog to fully digital. At present, there are still problems such as low content production efficiency, incomplete transmission coverage, and poor user interaction experience in radio and television engineering, and multimedia digital information technology is the key means to solve these problems. From the perspective of technical path, this paper analyzes the application value of technology integration in content production process optimization, transmission coverage upgrade, service scenario expansion, etc., and sorts out the three core issues of technology adaptation, cost control, and security protection, so as to provide feasible samples for the construction of radio and television digital projects. Help promote the high-quality development of the radio and television industry.

Keywords

multimedia digital information technology; radio and television engineering projects; application path; artificial intelligence

多媒体数字信息技术在广电工程项目中的应用路径

吴越

新疆维吾尔自治区广播电视局九一六一三台, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要

随着5G时代的到来和媒体融合步伐的加快, 广电事业正逐步实现从模拟向全数字化的升级。当前广电工程中仍存在内容生产效率偏低、传输覆盖范围不完整、用户交互体验欠佳等问题, 而多媒体数字信息技术正是解决这些问题的关键手段。本文以4K/8K超高清电视、云计算、人工智能、IP化网络等4种核心技术, 以及电视台改造、融媒体中心建设、传输覆盖工程等3种代表性广电工程项目类型为研究视角, 从技术路径角度出发, 分析技术融合在内容生产流程优化、传输覆盖升级、服务场景拓展等方面的应用价值, 并梳理技术适配、成本控制、安全防护三类核心问题, 为广电数字化工程建设提供可行样本, 助力推动广电行业高质量发展。

关键词

多媒体数字信息技术; 广电工程项目; 应用路径; 人工智能

1 引言

当前媒体格局正在发生天翻地覆的变化, 行业对内容的清晰度、互动性、即时性要求愈发增高, 广电工程的分散化建设模式及传统硬件体系已无法适应“多屏分发、全屏覆盖、智慧互动”的媒体融合潮流。在广电工程建设中, 演播厅传统设备老旧、系统操作繁琐, 融媒体中心存在数据壁垒导致无法实现一体化生产, 传输线路难以支撑高清信号“全网覆盖”等问题, 均要求广电工程通过技术革新冲破发展壁垒。多媒体数字信息技术是一个集成化技术体系, 其包含的超高清、云数据、人工智能等技术, 能够革新生产流程、重组生产流程与服务模式; 将其应用于广电工程建设, 是广电

媒体数智升级的必然选择, 也是广电媒体从传统模式向数智化模式转型升级的破壁之举。

2 核心多媒体数字信息技术与广电工程项目的适配性分析

2.1 核心技术的功能特性梳理

从广电全流程生产、传输、服务实践来看, 4K / 8K 超高清、云计算、AI 技术、IP 化全网 4 种技术的功能属性与广电工程的核心诉求基本契合。4K / 8K 超高清技术通过对像素密度的提升、色域的升级, 能够实现画面细节的还原, 摆脱传统广电标清、高清内容画面细节模糊不清的问题, 符合广电项目工程“高品质生产”的核心诉求; 云计算的虚拟、弹性可伸缩特性, 能够将散落的计算、存储资源集中化, 摆脱传统广电项目工程硬件“一机一配”的束缚, 符合广电项目工程“资源共享、减少浪费”的诉求; AI 技术能够通

【作者简介】吴越（1995-），女，中国甘肃武威人，本科，助理工程师，从事广电工程研究。

过图像识别、语音识别、智能抠像等功能算法,替代人工重复性劳动,符合广电项目工程“解放人工、减少用工成本”的诉求;IP化全网技术通过IP方式,统一承载视频信号、控制信号、数据信号,符合广电项目工程“多源接入、全程互联”的诉求^[1]。

2.2 与典型广电工程项目的适配逻辑

针对不同广电工程项目的建设侧重点,技术对接需坚持“需求导向”。新建或者改造电视台,侧重点在生产能力的扩大,4K/8K超高清技术可应用于演播厅摄像机、编辑设备等,人工智能可应用于非编端系统智能编辑,可组合形成“一次采集、多源生成、多端分发”的集群式生产模式;融媒体中心建设,侧重点在内容生产打通数据壁垒,云计算可搭建云端内容管理平台,实现各部门素材的融合,IP化网络可实现对记者采集端、编辑制作端、内容分发端的实时数据交互,可组合形成“一次采集、多源生成、多端分发”的集群式生产模式;传输网覆盖工程,侧重点是实现超高清信号的稳定传输与广域覆盖,IP化网络可完成传输体系重构,实现从核心网到接入网的IP化改造,云计算可部署边缘计算节点,缩短传输路径,可组合实现全网覆盖超高清内容传播。

3 多媒体数字信息技术在广电工程项目中的具体应用路径

3.1 电视台新建与改造项目:构建“超高清+AI”智能制作体系

电视台新建与改造项目本质上属于内容制作能力提升,需要以“提高制作效率、保障内容品质”为原则,将4K/8K超高清与AI技术融合应用分三阶段推进。

3.1.1 前期筹备阶段

确定技术规格、选取技术装备。根据电视节目的制作需求(新闻事件直播、综艺娱乐节目)确定超高清技术的规格点,比如新闻节目采用4K、50fps规格即满足需求;综艺娱乐节目可考虑选用8K规格,以增强视觉体验感;选取支持AI功能的超高清技术器材,如支持AI自动调焦的4K摄像机、支持智能剪辑算法软件插件的非编工作站等,确保硬件具备技术可拓展性^[2]。

3.1.2 中期建设阶段

构建全链路技术平台。在演播厅建设方面,通过4K超高清摄像头采集信号,借助AI图像检测技术对图像构图、亮度进行检测并完成相机调参;在后期制作方面,将信号传输至非编系统,加载AI算法,由AI算法自动完成语音转字幕、去除镜头画面中的尘土等瑕疵,同时结合用户观看记录,自动剪辑高光内容并生成短视频;对于播出端,通过AI流量预估,自动调整4K超高清信号的码流大小,避免信号卡顿。

3.1.3 后期运营阶段

构建技术提升机制。在AI运维系统支持下,对超高清制作所用的摄像机、温度传感器以及非编系统等设备的使用率进行实时监测,实现设备故障提前预警;通过反馈制作方的技术使用情况,提升AI剪辑技术的应用效率,例如针对新闻节目,对“抓关键句—找素材”的算法逻辑进行优化,进一步提升技术效率。

3.2 融媒体中心建设项目:打造“云计算+IP化”协同生产网络

“内容、数据、渠道”的打通,是融媒体中心建设的核心,需围绕“融资源、高共享、快协同”构建“云计算+IP化”技术体系,通过三阶段建设,最终实现这一核心目标。

3.2.1 资源归并期

搭建云存储平台。采用大数据云技术,将融媒体中心的文字素材、视频素材、音频素材归并至云端,为记者、编辑、分发人员配置虚拟算力,避免因硬件性能差异导致的工作效率不均衡;同时在云端搭建数据中台,将各部门采访数据、用户数据、分发数据通过IP网络接入数据中台,以统一的IP标准规范数据格式,打通数据壁垒^[3]。

3.2.2 流程再造期

构建联合生产链路。以IP化网络搭建“采-编-审-发”联合生产链路:记者通过5G+IP终端采集素材并上传至云端,编辑通过IP终端查看云端素材并完成内容制作后提交审核,审核人员通过IP审批系统在线完成审核,审核通过后分发系统自动将内容分发给电视端、APP端、短视频端,实现“一次生产、多地发布”;全程通过云端记录每个环节的操作数据,并生成数据化看板,为管理人员调度提供支持。

3.2.3 服务拓展期

开拓交互服务模式。在云端数据中台基础上结合IP化网络,拓展用户交互服务场景,例如:通过APP端收集用户的内容需求,依托云端数据挖掘用户偏好,为内容创作提供选题参考;在直播节目中,借助IP化网络实现电视画面与用户互动的同步衔接,用户发送的弹幕经AI审核通过后,可在屏幕下方的滚动栏中显示,增强用户参与感^[4]。

3.3 传输网络覆盖工程:构建“IP化+云计算”超高清传输体系

传输网络覆盖工程以保障超高清信号稳定传输与广域覆盖为重点,遵循“减时延、广覆盖”原则,以IP网络为传输载体,以云计算技术为支撑,从网络覆盖层、传输层、承载层三个层面推进建设。

3.3.1 架构重构期

实现传输网IP化。打破广电传统SDI传输网络,采用IP技术构建“核心网、汇聚网、接入网”三级传输架构:核心网通过IP地址承载超高清信号,汇聚网利用IP光设备将核心网信号分配至各区域节点,接入网采用5G+IP网络

将信号分发至家庭电视、移动终端；在传输链路中部署 IP 化网关，避免 SDI 设备与 IP 设备的重复投资。

3.3.2 效率跃升期

部署边缘计算节点。在云计算环境下，于用户集中区域（如城市、园区）部署边缘计算节点，将超高清信号的编码、缓存任务部署在边缘节点。用户观看超高清内容时，信号从核心节点传输至边缘节点，传输时延可缩短至 50ms 以内；同时，边缘节点实时缓存热点节目信号，可提前对热点节目进行预处理，有效避免网络拥塞。

3.3.3 质量保障阶段

建立智能监测平台。通过 IP 化网络流量监测，将各链路的信号传输速率、丢包率等数据信息上传至云平台，云平台采用 AI 算法对数据进行分析检测，若某区域链路丢包率超过设定阈值，便自动启用备用 IP 链路传输信号，保证信号传输流畅；实时监测超高清信号画面，利用 AI 图像质量识别算法对信号画面可能出现的马赛克、卡顿等问题提前进行预警。

4 多媒体数字信息技术应用的价值与挑战

基于多媒体的数字信息技术在广电项目建设中得到应用，其在推动广电工程技术发展的同时，能够产生可观的收益以及社会效益，但在客观上，依然存在着技术、经济、安全等方面的问题，需要我们加以科学研判，进而推动其持续应用。

4.1 应用价值分析

从行业应用来看，技术应用的价值表现为三方面。在生产效能方面，人工智能+超高清技术取代人工剪辑、字幕处理等重复性劳动，平均缩短 30%-40% 的广电工程内容生产制作周期，并加快制作流程，如某电视台引入 AI 新闻节目内容智能生产系统，新闻节目内容日生产量从 15 条增加为 30 条；在资源配置方面，云计算、IP 化网络技术实现资源整合和动态调度，打破原有广电工程“重复投入，资源浪费”的局面，某电视台融媒体中心引入云端资源后硬件采购费用减少了 25%，存储资源利用率提高到 85%；在服务供给方面，超高清、IP 化技术的应用能够开拓广电服务的使用场景，如采用超高清+VR 技术生产的新闻节目内容，用户通过 VR 设备实现“沉浸式体验”，提升新闻内容传播的用户体验感；采用 IP 化传输网络研发的“电视政务服务”平台，用户通过电视终端查询社保、交通违章等内容，使广电媒体从“播新闻”转向“播服务”^[5]。

4.2 面临的主要挑战

尽管其技术应用价值较高，但在广电工程项目中的应

用，还面临技术适配性不足、成本过高、安全隐患突出等问题。其中，技术适配性不足主要是指广电现有设备大多仅兼容 SDI 协议，与 IP 化网络技术不兼容，部分广电工程项目中使用的设备无法兼容 IP 化技术，须更换或改造，给广电工程项目施工建设带来难度，如某电视台 20 多台 SDI 摄像机须加装 IP 转换模块，仅改造成本高达 1 亿多元人民币；成本过高主要是指 4K/8K 超高清设备、云计算服务器等设备采购成本较高，且技术维护需专业人员支撑，导致广电工程项目前期投入和后期维护成本居高不下，很多县级广电单位往往难以承担足额经费全面推广应用；安全隐患突出主要是由于 IP 化网络、云计算技术的应用，导致广电工程系统接入互联网的端口数量增加，面临被攻击、数据泄密等诸多风险，如云库中的素材可能被非法使用、篡改，进而影响广电媒体公信力。

5 结语

多媒体数字信息技术是广电工程的数字技术升级的必由之路，通过本文对 4K/8K 超高清、云计算、人工智能（AI）、IP 化网络四种核心技术的解析，探索了在电视台改造、融媒体中心建设、传输网络覆盖三种应用场景下，即针对各场景关键需求，推动技术与业务深度融合，并应用于“设计—建设—运营”全流程，其应用技术成果为广电工程的数字化制作、传输提供了优质的用户体验与高效的技术效果，为行业的发展提供了更多的可能。同时也要看到，技术适配问题、成本问题、安全问题是需要产业协作解决的：广电企业可与设备厂商联合制定技术适配规范，降低设备更换成本；政府可以提供专项资金，协助基层广电单位提升技术应用水平；行业需要加强网络安全研发，构建“云+端”双重防护体系。随着 5G-A、6G 等技术的发展成熟，多媒体数字信息技术将持续迭代更新，广电工程要持续创新应用，促进行业向“全场景智能媒体”方向发展，服务社会大众需求。

参考文献

- [1] 田丹.多媒体数字信息技术在广电工程项目中的应用路径[J].中国新通信,2025,27(07):74-76.
- [2] 支俊峰.多媒体数字信息技术在广电工程项目中的应用[J].家庭影院技术,2023,(20):40-43.
- [3] 刘轩园.战略转型背景下广电运通数字化并购动因与绩效研究[D].广东工业大学,2022.
- [4] 吕立刚.数字音频技术在广电工程中的应用[J].中国高新科技,2020,(12):34-35.
- [5] 蔡瑞琦.广播电视工程中数字音频技术的实践与探讨[J].西部广播电视,2019,(02):188-189.

Data desensitization and re-identification risk prevention mechanism under the information innovation platform

Lanbo Chen

China Electronics Technology Group (Taiji Computer Co., Ltd.), Beijing, 100000, China

Abstract

With the application of Xinchuang platform in finance, government affairs, power and other industry departments, ensuring data desensitization of important and sensitive information has become an important need. However, due to the immature development of the domestic software and hardware ecosystem, there are certain defects in the matching degree of desensitization methods, dynamic protection and audit traceback in the information and innovation environment, so that there may be the risk of data re-identification in complex business scenarios. Based on this, the following analyzes the types of data desensitization technology, as well as the problems and optimization strategies of data desensitization technology under the information innovation platform at this stage, and proposes a risk prevention mechanism under the information innovation platform, hoping to lay a methodological foundation for later technology upgrades and compliance reviews.

Keywords

information innovation platform; data desensitization; re-identify risks; guard against

信创平台下数据脱敏与重识别风险防范机制

陈兰波

中国电子科技集团（太极计算机股份有限公司），中国·北京 100000

摘 要

伴随着信创平台在金融、政务、电力等行业部门的应用，保障重要敏感信息的数据脱敏已成为重要需求。但由于目前国产软硬件生态发展不成熟，在信创环境下脱敏手段的匹配程度差、动态防护及审计回溯都存在一定缺陷，以至于在复杂业务场景下数据还可能会出现重识别的风险。基于此，下文针对信创环境下的数据安全需求，分析数据脱敏技术类型，以及现阶段信创平台下数据脱敏技术存在的问题与优化策略，并提出信创平台下重识别风险防范机制，希望能为后期技术升级与合规审查奠定方法论基础。

关键词

信创平台；数据脱敏；重识别风险；防范

1 引言

信创战略的持续推进，使得由国产软硬件组成，并依赖于自主可控环境作为运行底座的大批信创产品列装，成为关键信息系统的运行基础。一旦遇到大规模交互便会暴露大量敏感信息，仅靠通过静态规则进行数据脱敏的传统方式无法满足高并发、多种复杂角色访问以及跨系统的高要求。并且随着攻击手段的升级，即使已经进行过初步脱敏的数据集仍可以通过属性相关、外部分配等手段进行重新识别而暴露内容。所以必须要按照信创环境下特有的技术特点打造适应性强、实时更新，可追踪性高的脱敏及防护体系来确保整个信创环境下敏感数据安全。

【作者简介】陈兰波（1972-），男，中国北京人，硕士，从事软件工程与信息工程监理方向的研究。

2 数据脱敏技术分类

2.1 静态脱敏

静态脱敏是针对存量数据做的一种处理，通过替换、置换、泛化或扰动数据库或文件中敏感字段，是其在共享或者使用环节不具有直接敏感性。这种方法主要是用于数据分发或者构建测试环境以及在外部提供数据的时候使用，通过形成和真实数据结构相同，却不含敏感字的信息集合，让业务系统在良好的状态下运行，且不会出现重要数据的泄露^[1]。在实际应用环节静态脱敏要同时考虑数据一致性以及性能的损耗，防止由于不合理设计而引发数据分布异常，降低业务逻辑验证的有效性。

2.2 动态脱敏

动态脱敏的原理是利用中间层拦截与策略引擎执行的方式来实现在数据访问过程的实时脱敏。当授权用户向系统发出查询指令后，系统根据其访问身份与权限规则将输出结果

进行过滤、遮挡、替换等操作，在维持底层数据库存储结构的前提下进行差异化脱敏控制，不但能够有效避免数据泄露或者滥用，还不会过多干扰核心生产系统，因此在金融、政务、医疗等多角色、多层次的应用场景下十分适用。但是动态脱敏会显著提升系统负载能力，因此对系统架构有很高要求，需要构建稳定的高并发处理能力，并且还要精细化管控策略配置与权限的划分。

2.3 加密衍生

加密衍生主要是利用密码学原理，把包含着一些需要保护的敏感字段信息用不可逆或受控可逆的方式经过加密算法转换为其它信息的表示形式。在保证数据安全的基础上可以通过密钥管理体系实现数据的解密和还原。因为不同的场景下对于解密的需求也是不同的，所以加密算法的选择、密钥分级以及更新，都将成为其重要的技术要点。

2.4 隐私模型

隐私模型是指基于统计学和数学建模的技术手段降低数据被重识别风险的方法，主要的方式包括 **k-匿名**、**I-多样性**、**t-接近性**和差分隐私等技术。以上方法均通过对数据集中的敏感属性去标识化，或者向数据中添加噪声，以此来减少攻击者凭借背景知识或者多源信息关联推断出准确数据的几率。信创环境下，隐私模型常被用在数据共享开放、大数据分析或 **AI** 训练过程中，用于调和数据可用性与隐私保护之间的关系。隐私模型在设计过程中往往会根据业务要求以及数据分布情况选择不同的参数值，以避免数据价值损耗过大或保护强度不足^[2]。

3 信创平台下数据脱敏技术存在的问题

3.1 适配性差

在信创平台下，软硬件基础架构具备了自主可控的能力，但与之相匹配的兼容性及生态尚不够成熟，导致了目前大部分数据脱敏工具部署到信创平台上无法很好的适配。一方面由于不同数据库内核有不同的索引方式、存储方式以及的执行引擎，所以很难把某一套脱敏规则应用在不同类型的数据库上。另一方面由于一部分脱敏算法是基于脱敏对象本身的执行，在我国相关国产化操作系统的框架中，或者一些国产化中间件中运行比较慢，甚至有些存在运行卡顿的现象，消耗较多的机器资源，容易造成闲置。在不同平台间，无法做到完全一致的数据格式转换，也难以做到对应的接口协议标准一致，会造成规则失效及数据一致性降低的问题，导致脱敏技术在信创平台下较难形成高效的适配能力，安全防护也会因此而受到影响。

3.2 动态防护不足

信创平台对于数据的实时访问有着很大的需求，对于高并发的金融、电力、政务等场景，用户的访问行为较为复杂，也在不断发生变化。在这种情况下，现有的动态脱敏手段只能做到通过少量静态规则进行配置，但是无法进行自适应

式的访问方式的管控，不能够做到在一个比较复杂的场景下达到一种灵活的防护的目的。比如当有多角色的用户同时访问相同的敏感数据的时候，系统无法根据实时上下文动态调整脱敏强度和范围，导致有些结果输出之后仍然存在一些比较敏感的信息^[3]。此外还有一部分脱敏的中间件本身就不具备在高并发情况下能够满足业务需求的能力，使得它的防护的效果降低。更重要的原因还在于动态脱敏与入侵检测、异常访问识别等相关联的功能融合度较差，难以针对用户访问行为进行多层次的实时防护。

3.3 审计缺失

数据脱敏实施过程中，审计机制缺陷是一个突出的问题。目前大部分已有系统的侧重点在于规则配置和执行效果上，并没有很好的考虑到在执行过程中的可回溯性和行为留痕等问题，在发现数据泄露或者重识别攻击之后很难第一时间恢复出访问路径以及脱敏处理流程，给事件应急处理带来困难。尤其是信创情况下，

监管部门的数据安全合规性严苛，如果没有一个完整的审计链条，可能导致合规风险和责任界定模糊。另外一些平台的日志采集不够完整、日志存储安全性较差、审计联动跨系统不畅等，也可能导致日志缺失、日志篡改或者因为脱敏规则的变化而无法获得实时追踪，不但不利于后期数据治理的实现，还会降低脱敏技术运行状态的长期监控能力，难以形成完善的安全闭环。

4 优化信创平台下数据脱敏技术的策略

4.1 脱敏技术与信创硬件的协同优化

信创平台下脱敏技术在软硬件兼容性、生态成熟度上依然存在一定不足，因此需要依靠技术适配、体系联动来进一步完善。一是为国产处理器和操作系统提供国产化产品适配开发接口；二是对脱敏算法进行优化，在 **CPU** 指令集、内存调度方式、文件系统等方面开展深入适配，降低由于调用机制的不同所引起的性能损耗；三是推动数据库厂家和脱敏工具厂商共同配合开发出符合信创平台要求的接口适配层，采用抽象化中间件适配框架统一索引调用、执行计划及事务处理逻辑，实现不同的数据库内核下脱敏规则可迁移；四是在跨平台数据交互场景中采用规范的数据接口协议和格式转换模块，保证脱敏处理的一致性和稳定性，防止由于数据结构的不同引起规则失效。

4.2 构建信息熵的风险量化模型

针对信创平台动态防护能力不足的问题，应用信息熵理论建立风险量化模型，提高实时场景下脱敏机制的灵活度和精确度。第一，对于多角色并发访问的数据，系统可根据用户行为特征、访问频次、上下文依赖关系等信息计算出信息熵值，进而判断该数据在不同访问路径下的暴露程度。当该数据的信息熵值大于阈值时，就可利用动态脱敏引擎自动增强脱敏强度，通过脱敏粒度的自适应调整实现更高效的数

据保护。第二,借助信息熵模型,可将访问方式的变化转换成量化的风险指标,并根据风险指标的不同数值为敏感信息的输出设置相应的脱敏动态阈值,从而使静态规则无法解决的问题迎刃而解。第三,与入侵检测、异常行为分析等功能安全模块结合,运用信息熵模型可基于熵值判定是否存在异常访问链路,既能够实现数据脱敏,又能起到行为监测作用,能够形成数据脱敏和行为监控双管齐下态势。

4.3 零信任审计的透明日志注册表设计

针对信创平台下的脱敏过程无审计链路的问题,可引入零信任理念,搭建基于透明日志注册表的审计链路,实现实时、完整的审计并满足法律法规要求。第一,零信任思维强调“永不默认信任”,在审计过程中可通过多源身份核验以及对脱敏操作的签名控制保证每次脱敏都有责任人,确保访问行为可控。第二,

透明日志注册表以链的形式存储脱敏策略变更,规则调用、数据访问路径等信息,只要生成日志条目,就无法被篡改,便于之后溯源分析时查证。第三,为解决跨系统跨数据库环境下复杂审计的问题,可以统一制定日志标准接口,不同模块的日志数据自动汇集并进行多种方式的交叉比对验证。对于彼此之间相对孤立的记录可能会出现追踪断点的问题,通过在日志中加入时间戳、哈希值、加/解密校验等方法,可以很好的弥补这一问题带来的安全隐患,在保障存储的同时实时查看和监控。透明日志注册表作为审计日志在监管端的体现,除了实现数据的真实留痕,也将为日后有关行业管理部门的监督检查提供可靠的监管抓手。

5 信创平台下重识别风险防范机制

5.1 基于信息熵的脆弱性建模

在信创平台敏感数据保护框架下,可以利用信息熵来进行重识别风险量化建模的实践探索。信息熵是刻画不确定性的特征量之一,可以通过分析数据分布的均匀性得到数据在不同维度上的暴露情况。对单一属性字段而言,可以通过该字段取值概率分布推导得到其熵值大小,进而判断该属性字段的信息强度,并据此来确定在脱敏环节中的扰动或泛化处理强度大小。若针对多属性联合场景分析,则需要考虑条件熵、联合熵的变化趋势,找到组合状态下可能出现的一些隐匿关联链路,从而判断数据集整体面临的安全威胁状态。除此之外,建模的过程中需要将数据集进行熵值变换后的风险矩阵划分成不同的敏感程度等级,设置阈值驱动的风险监控机制,在属性分布发生变化时实时更新风险程度值。

5.2 实施重识别风险动态评估

在建设信创平台的数据安全体系过程中,要求综合考

量多维度参数来动态量化重识别风险的动态评估机制。第一,从数据属性分布、访问行为特征及外部辅助信息中选取关键性指标并联合作用构建联合评估模型,然后通过观测数据应用频率以及访问路径等属性变量是否存在偏差,判断是否存在潜在重识别风险。第二,采用时序分析技术,把用户的交互过程中行为的变化纳入到风险评估当中,通过观察并判断出趋势的变化幅度以及是否存在异动的现象,来动态调整脱敏的等级。第三,风险评估模型还需要与其他的平台审计日志、会话监控等功能模块进行对接,并以多方数据为依据来判定风险水平,以防出现因为单一因素而得出结论的情况发生。

5.3 绘制信创场景风险热力图

重识别风险的空间化表达是指利用风险热力图直观表达出不同的业务场景下的薄弱区域(比如交易数字最为集中的位置),高危节点(比如高并发多业务场景汇聚点、跨库联合查询或多接口调用入口)。在实际应用过程中,需根据信息剩余的数据量以及关联性构建风险指标体系,并以权重映射到业务流程每一个环节。通过分析访问日志、交互流量和角色权限的内容构建出风险数值矩阵,再将数值矩阵的内容转化为可视化的热力图。工作人员能够根据风险热力图的颜色强度代表风险发生的频率高低,来判断诸如高并发交易、跨库联合查询或外部接口调用等不同应用对于风险发生程度大小的不同影响。

6 结语

信创平台下的数据脱敏与重识别防范机制是技术层面的创新任务,同时也是数据安全治理体系的一个重要环节。通过协同优化脱敏算法与国产软硬件、建立信息熵驱动的脆弱性模型、引入动态风险评估与透明审计框架,并辅以风险热力图的可视化表达,可以逐步形成覆盖全链路的立体化防控体系。以此能够弥合现有脱敏工具与信创平台间存在的差异问题,为今后的敏感数据安全增加一道防线,也为有关行业未来的制度化与规范化经营,以及与时俱进的技术迭代进化提供正确的发展思路。

参考文献

- [1] 刘圣龙,黄秀丽,江伊雯,等.面向多方数据融合分析的隐私计算技术综述[J].网络与信息安全学报, 2024, 10(6):24-36.
- [2] 龚安.信创平台数据备份与恢复系统[C]//2021年国家网络安全宣传周网络安全产业发展论坛.中国网络安全产业联盟中国电子技术标准化研究院, 2021.
- [3] 付威.信创领域的数据库应用及创新[J].软件和信息服务(原:软件世界), 2021, 000(8):2.

Sustainable Development Pathway of Lifelong Education Digital Platform under Artificial Intelligence

Wei Yonggang

Nanjing City Vocational College (Nanjing Open University), Nanjing, Jiangsu Province, 210002, China

Abstract

In the era of deep integration between digitalization and intelligentization, the concept of lifelong education has gradually become a widely recognized fundamental principle in contemporary social development. With the popularization and advancement of artificial intelligence technology, new possibilities have emerged for building and improving digital platforms for lifelong education. However, how to effectively balance educational principles with technological innovation while ensuring stable and sustainable platform operations remains an urgent issue to address. Based on this context, this article analyzes the current status of AI-empowered digital platforms for lifelong education, and explores development pathways from institutional, technological, resource, governance, and learner perspectives to provide reference.

Keywords

Artificial Intelligence; Digital Platforms for Lifelong Education; Sustainable Development

人工智能下终身教育数字化平台的可持续发展路径

魏勇钢

南京城市职业学院（南京开放大学），中国·江苏 南京 210002

摘 要

在数字化与智能化深度融合的时代背景下，终身教育理念已经逐渐成为当下社会发展普遍认同的基本准则。而伴随人工智能技术的普及与发展，为构建和完善终身教育数字化平台提供了新的可能。但是如何寻求教育规律以及科技创新二者间的有效平衡，且实现平台运行的稳定与持久，是现阶段亟须解决的问题。基于此，文章将对人工智能赋能终身教育数字化平台的现状进行分析，并从制度、技术、资源、治理以及学习者层面探讨人工智能驱动下终身教育数字化平台的发展路径，以供参考。

关键词

人工智能；终身教育数字化平台；可持续发展

1 引言

知识经济和智能时代的到来使得教育的边界已经突破了学校的范畴，形成了一种可以贯穿于人一生、终身受用的学习形式——终身学习，而这对于社会成员能力的提高以及变革的应对起到了积极的促进作用。而人工智能的发展是推动终身教育数字化的一大机遇，其不但可以对资源加以精确匹配并推送，实现个性化学习，并且还可以凭借学习行为数据分析来加快教育治理方式改革创新进程。但是人工智能支持下的终身教育数字化平台如何进行可持续化的发展，还有待深入研究。

【作者简介】魏勇钢（1981-），男，中国江苏南京人，硕士，高级工程师，从事计算机信息技术、数字化学习平台建设、信息安全研究。

2 人工智能赋能终身教育数字化平台的现状

2.1 学习资源的智能整合

基于人工智能，教育资源的整合不再是简单的多维聚合信息呈现，而是运用自然语言处理、语义分析和知识图谱的相关算法和技术手段，从概念到主题再到逻辑结构都从点到线，从点到面，建立不同来源的课程、教材、研究成果和实践案例之间的语义联系。在数字化平台上为用户呈现出以用户需求为导向搭建的学科知识地图，并通过可视化的方式将彼此之间所存在的关联揭示出来，使得学习者检索到的信息更准确，并可在学习的过程中随时根据需求拓宽相关的知识点面，最终形成系统的知识结构^[1]。

2.2 学习过程的个性化支持

结合基于机器学习与用户画像的分析机制，数字化平台可以实现对学习者的

学习数据进行动态建模，建模维度涉及学习频次、知识点掌握情况、互动情况等。通过对学情数据分析的过程中

不断地予以改进和优化,从过程中获得结果,最终根据分析的结果不断判断是否需要提升课程难度,或推荐一些更适合该学生来阅读的资料,体现学习设计的个性化与差异化^[2]。比如,学生基础较为薄弱的情况,可以为其推送一些最基本的讲解及具体的案例分析;如果学生具有一定基础则可以在阅读资料的基础上给出一定的延展资料和实践任务,实现因材施教。通过该类差异化支持机制有效转变了过去单一化的学习过程,并且构建起与学习者能力发展阶段高度契合的动态演进模式。

2.3 学习评估的智能化转型

人工智能对教育评估模式的改造是从单纯的结果测评到多方多维的过程测评的重构。在线平台可动态捕捉并量化测评指标,具体包括:学生的学习过程中点击频次和时长、互动频次以及在线作业提交情况和知识点的掌握路径等,由此构建起学习进程动态化的过程测评,测评结果将生成学生个人的学习情况测评报告,并标识知识弱项、提出有针对性的改进策略。不仅如此,利用人工智能驱动的评价系统也可以实现对同一学习阶段的大范围学习群体的水平评测,总结出该学习阶段的学习群体的整体学习效果、此阶段中的薄弱知识模块以及群体共性的错误知识点等信息。

2.4 学习生态的开放化构建

在人工智能赋能之下,终身教育数字化平台逐步打破传统的教育机构边界,汇聚各类主体,组成多元参与的开放式生态体系。其中高校和高职院校主要是提供各类学术资源和专业课程,企业、行业协会主要是提供以实践为导向的培训内容及典型案例等,而社会组织和第三方教育服务机构更多的是补充部分灵活多样的学习模块以及个性化的学习服务等,作为枢纽的人工智能资源则是针对学习者需求及行业发展趋势对多种渠道来源的资源开展精准匹配,并将其推送给相应对象。不仅如此,借助于平台的智能推荐功能,使得各方面的学习者在多方面的学习过程中相互促进、相互联动,在真正意义上使资源能够流转起来,同时在平台功能的搭建中也赋予了更多内容的板块和类型,更加广泛地涉及终身教育的内容,并且使终身教育的服务更加精准与及时。

3 人工智能下终身教育数字化平台面临的挑战

3.1 数据安全与隐私保护问题

终身教育数字化平台在运行时会对学习者进行全面的数据采集,比如学习偏好、所学知识、互动行为轨迹、身份信息,如果存储或传输期间出了漏洞,很容易造成信息外泄,因而产生身份盗用或消费欺诈的风险。人工智能算法在抓取并挖掘数据后往往会产生大量的学习行为记录,在这种场景下则需要更加安全的数据保护措施,如果缺乏有效的加密、权限保护,那么容易遭到黑客的入侵或出现数据交易与算法滥用的现象。当数据采集边界越发模糊时,对于隐私的保护也日趋艰难,比如是否将自己的数据放入模型?是否有

拒绝或者删除的权利?这些基本的伦理和法律都需要进一步探讨和完善。

3.2 教育资源供给的不均衡

当前人工智能是基于知识图谱以及推荐系统来串联起各种资源,不过依旧存在较为明显的资源分布不均的问题。对于经济发达地区而言,因为其自身教育资源积累丰厚,会及时把优质课件或学习内容接入到平台当中。但部分经济薄弱地区因为其教育投入局限、数字化设施薄弱,所以其资源供给水平无法与发达地区相同步。除此之外,不同行业间的差异也极为显著,部分新兴技术领域具有较多的在线课程和实践性的案例,而传统产业或是技能型领域资源则相对较少。并且由于学习者的数字素养与终端操作使用能力的不同,使得人工智能平台很可能进一步扩大“知识鸿沟”,造成教育的不公平性问题。

3.3 平台商业化与公益性的矛盾

终身教育数字化平台兼具社会公共服务的公益性质和靠市场化手段维系的经营性性质,在此性质并存的状态下,利益平衡问题是无法回避的问题。一是平台通过缴纳年费、充值平台服务项目、支付平台上投放的各类广告费用来获得运转、升级与更新迭代的资金,以便能够升级应用人工智能技术、维护系统的正常运转。二是平台的过度商业化可能会背离让大部分人都能得到教育的理念,只关注付费高的群体,忽视贫困者或者弱势群体的学习权益;有些平台甚至可能为了更多的商业模式而不惜使用各种极端的大数据算法增加用户留存时间去获得更多的商业收益而忽视提升用户的学习成效。如何在盈利模式设计中兼顾普惠性与可持续性,是平台发展过程中必须面对的制度性难题。

3.4 学习动机与参与度不足

人工智能可以在学习路径推荐、学习反馈、智能辅导等方面发挥作用,但是学习者个体的学习动机不足以及学习积极性不高是影响终身教育平台效果的关键。很多学习者在第一次使用平台时都存在浓厚的兴趣,但由于不断接触难度较大的学习内容和受到更多的外部干扰,所以容易出现间断学习或者浅尝辄止的现象,甚至还会中途放弃。

4 人工智能下终身教育数字化平台的可持续发展路径

4.1 制度层面,健全政策与标准体系

长期稳定运行的人工智能赋能的终身教育数字化平台需要一定的制度作为支撑保障。一是要建立有关数据安全、隐私保护和信息使用等方面的法律法规,厘清平台在数据采集、数据存储、数据共享中所需要承担的责任,使学习者享有知情权和数据处置权;二是要出台相关的技术规范和技术标准,例如统一的数据接口格式、学习资源标注规则、算法透明度等要求,为各平台之间的互通互融打下基础,避免出现新的“信息孤岛”;三是要由政府牵头成立具有公信力的

教育质量监测和评价机构,对平台上线的课程内容、学习效果、用户满意度等情况进行动态监督管理,并建立起结果公开、意见反馈制度等,促进制度执行。

4.2 技术层面,强化智能引擎与开放架构

借助人工智能手段,要想长久健康地发展终身教育数字平台,首要条件是打造一个先进性、开放性的技术架构。第一,持续改进自然语言处理、深度学习、知识图谱算法等核心技术,使得系统实现更加精准的语义理解、更加合理的学习路径规划以及更加智能的资源推荐,充分加强智能引擎的分析和预测能力,让平台能够精准、高效地处理大规模数据,以保证个人化学习服务质量。第二,开发开放型系统架构,各个渠道输入的不同类型教育资源和服务可以高效互通互联,还可以利用模块化设计和标准接口将不同来源的高校、企业培训系统或第三方教育工具等纳入平台范畴,赋予平台更强的功能补充性和可扩展性。第三,在技术的不断发展迭代过程中,还应使平台保持相应的兼容性和开放性,以适用于以后的各种教育教学方式、各种新型学习模式下的教学支持需要^[3]。

4.3 资源层面,推动教育资源的均衡共享

借助于人工智能技术支撑的终身教育数字化平台要想实现长期平稳运行,则离不开教育资源均衡配置这一根本问题。一是需通过国家或区域层面的公共教育资源库建立,建构覆盖基础教育、职业教育及继续教育的多层次、多维化的资源体系,在此基础上经由平台实现优质资源调度至不同地区和人群的流通;二是需要高校、科研机构 and 行业企业开放课程成果和实践案例,在此基础上依托人工智能算法将其结构化加工并加以整理分类;三是除了各地开展智慧课堂构建的工作外,对于偏远落后地区的人民和弱势群体也应该给予同样的关注,利用智能推送和本地上报手段,减少其获取资源的门槛,避免数字鸿沟出现的问题。四是可以针对整个共享平台建立资源互享激励制度,吸引不同的教育机构和社会组织将优质的课程服务共享进平台中,并通过区块链等技术来保障各家机构的版权及所授职务,通过共享平台进行取用的信息追查,保证多主体间合理的资源流动。

4.4 治理层面,构建多元参与的协同机制

人工智能背景下的终身教育数字化平台,在治理模式上要打破单一主体主导局面,形成多方协作配合的治理运行体系。第一,政府要在政策、标准制定、资源投放等方面给

予指引,保证平台能够依法依规开展运营,并加强监管工作,防止出现教育不公平及造成不良社会影响。第二,教育机构要作为教育供给和学术研究的主体,持续向平台输送高质量的学习内容,参与平台的学习资源评价和质量把控,保证资源本身有学术价值且可以满足学习需要。第三,企业或行业协会可以助力职业能力培训、岗位实训等方面的业务拓展,通过企业的合作让平台可以更好地对接产业。第四,社会组织可以针对具体的技术使用,弥补平台的部分不足,在开展学习服务、公益课程、学习群组等方面加以补充,来强化平台的应用便捷度和多样化。第五,学习者本身也可纳入治理体系中来,基于人工智能给予

的便利,使得学习者可以通过自身学习感受来进行反馈与决策,在课时评判、平台改进等方面拥有表达权。

4.5 学习者层面,增强学习动机与自我驱动

在人工智能支持的终身教育数字化平台上,学习者学习行为与学习效果的主体。平台基于行为数据与学习轨迹对学习者的学习兴趣偏好、知识掌握情况与学习习惯进行建模,并应用于学习路径的设计,以个性化的推荐及动态调整作为引导手段;与此同时,基于人工智能的应用场景,在学习者对任务完成、答题或是互动学习时都可以给予学习者精准地提示和相应练习的机会,将学习者的能力提升体现在整个周期内。除此之外,平台可以借助于游戏化设计、积分体系、学习成就认证等方式强化学习参与感,借助社群互动、同伴评价等促进学习者相互间良性竞争与协作,通过社群互动与同伴评价机制,形成学习者间的正向竞争与协作。

5 结论

人工智能为终身教育数字化平台的建设提供了前所未有的机遇,但其可持续发展不能仅依赖技术本身,而需在政策制度、技术架构、资源供给、治理机制与学习者主体性方面形成合力。

参考文献

- [1] 袁松鹤 孙雨 谭伟.教育数字化战略行动背景下的终身教育平台架构研究[J].中国远程教育, 2023(7):57-66.
- [2] 邓秋湖.数字化教育背景下自主学习和终身学习探讨[J].广东教育(职教), 2024(3):21-23.
- [3] 周佳琦;钱小龙.服务全民终身学习的在线教育具身化转型:理论构想与实践路径[J].成人教育, 2024(10).

A Review of Full Coverage Path Planning Algorithms Based on Metaheuristic Algorithm

Jiahao He Ting Yang*

Xuzhou Medical University, Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

Abstract

The Fully Coverage Path Planning (CCPP) algorithm currently serves as a core technology in autonomous driving, cleaning robots, and agricultural production. This paper provides a systematic review of CCPP algorithms based on meta-heuristic approaches, aiming to organize existing meta-heuristic algorithms and outline their main principles along with improved variants. First, it clarifies the current status of fully coverage path planning algorithms based on meta-heuristics, categorizing them into two types: conventional meta-heuristics and enhanced meta-heuristics. Second, it focuses on analyzing the advantages and limitations of genetic algorithms and particle swarm optimization, while examining improvement strategies for ant colony optimization, firefly optimization, and grey wolf optimization. Finally, it looks forward to future enhancements of CCPP algorithms based on meta-heuristics, providing references for subsequent theoretical research and practical applications of CCPP algorithms.

Keywords

Meta-heuristic algorithms; Fully coverage path planning algorithms; Genetic algorithms; Robot mobility; Simulation algorithms

基于元启发式算法的全覆盖路径规划算法综述

何佳濠 杨婷*

徐州医科大学, 中国 · 江苏 徐州 221000

摘要

全覆盖路径规划(CCPP)算法目前是自动驾驶、清洁机器人以及农业生产等领域的核心技术。本文对基于元启发式算法的CCPP算法研究进行系统性综述,旨在整理现有的元启发式算法,并概述其主要原理和改进算法。首先,明确基于元启发式算法的全覆盖路径规划算法的现状,将全覆盖路径规划算法分为常见的元启发式算法以及改进后的元启发式算法两类。其次,重点分析了遗传算法、粒子群算法的利与弊,蚁群算法、萤火虫算法、灰狼算法的改进方案。最后展望未来对基于元启发式算法的CCPP算法做出进一步改善,为后续CCPP算法的理论研究及实际应用提供参考。

关键词

元启发式算法; 全覆盖路径规划算法; 遗传算法; 机器人移动; 模拟算法

1 引言

全覆盖路径规划(Complete Coverage Path Planning)算法,简称CCPP算法,其主要是一类针对包括地面机器人在内的移动机器人决策算法,它的核心目标是在给定的二维或三维工作空间中,规划出一条可使机器人遍历所有可达区域或指定目标区域的途径。元启发式算法通过模拟自然现象或生物行为,为解决复杂全覆盖路径规划问题提供了有效途径。文献^[1]指出目前的路径规划算法大致分为四类即传统算法、基于采样的方法、类元启发式算法、人工智能算法。

【作者简介】何佳濠(2005-),男,中国江苏南通人,本科,从事全覆盖路径规划算法研究。

【通讯作者】杨婷(1985-),女,中国山东日照人,博士,讲师,从事路径规划算法研究。

常见的元启发式算法如遗传算法(Genetic Algorithm)、粒子群算法(Particle Swarm Optimization)、蚁群算法(Ant Colony Optimization)等借助群体智能协同寻找全局最优解,对全覆盖路径规划展现出良好的应用潜力。本文旨在系统综述基于元启发式算法的全覆盖路径规划算法研究进展,对不同算法的特点与优势进行分类阐述,展望该领域未来的发展方向,为相关研究提供参考。

2 基于常见元启发式算法的全覆盖路径规划研究

2.1 遗传算法

遗传算法(Genetic Algorithm,GA)是由美国的 John holland 于 20 世纪 70 年代提出,是一种基于生物进化理论的元启发式优化算法,其核心思想是模拟自然界中生物“物竞天择、适者生存”的进化过程,通过模拟基因的选择、交叉、变异等操作,在解空间中迭代搜索最优解。算法流程如图 1^[2]所示;

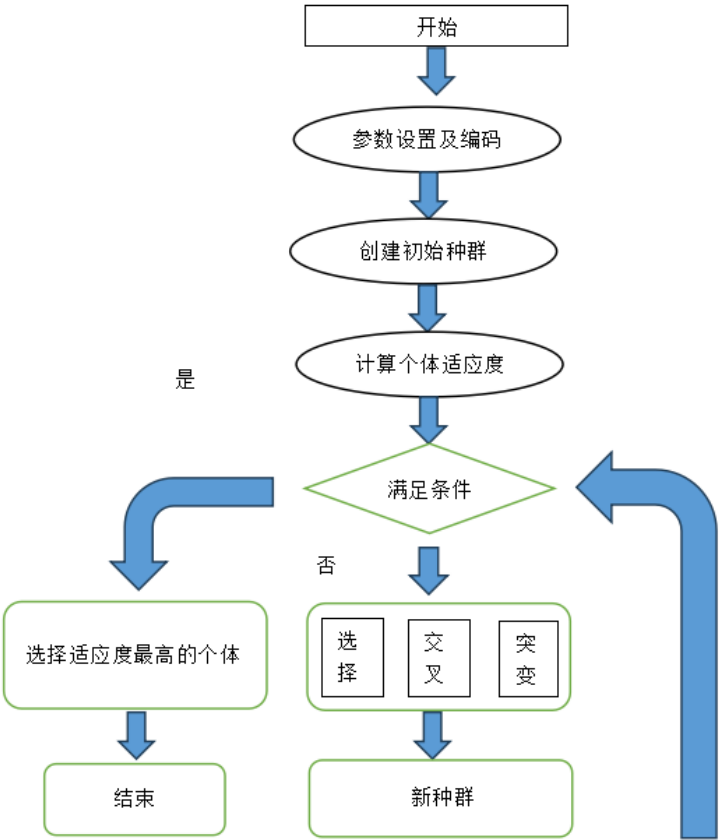


图 1 遗传算法流程图

此算法全局搜索能力强，在复杂函数优化中，传统算法可能陷入局部最优，而遗传算法通过选择、交叉、变异等操作，能在解空间中广泛探索，更容易找到全局最优解。

2.2 粒子群算法

粒子群算法（Particle Swarm Optimization，简称 PSO）由 Kennedy 和 Eberhart 于 1995 年提出的一种基于群体智能的优化算法，灵感来源于鸟群觅食时的群体行为。其核心思想是把优化问题的每个可能解看作一个“粒子”，多个粒子组成一个群体在解空间中进行搜索。粒子通过两种信息调整自己的运动：一是自身历史找到的最优解，二是整个群体找到的最优解，不断迭代逼近问题的最优解。Han 等在文献^[3]中提出了一些优化粒子群算法的想法，对于粒子群算法结构简单、前期收敛速度快及全局并行寻优能力好等优点，将粒子群分群，丰富了搜索方式的多样性，减少了算法陷入局部最优的可能性。

3 基于改进元启发式算法的全覆盖路径规划研究

3.1 蚁群算法

蚁群算法（Ant Colony Optimization, ACO）是一种受自然界蚂蚁觅食行为启发的启发式优化算法，由意大利学者 Marco Dorigo 于 1992 年提出。其核心思想是模拟蚂蚁在寻找食物时会在路径上留下信息素，路径越优，信息素浓度越高，同时，信息素会随时间自然挥发，避免算法陷入局部最

优。其机理如 Wang 在文献^[4]中的图 2 所示；

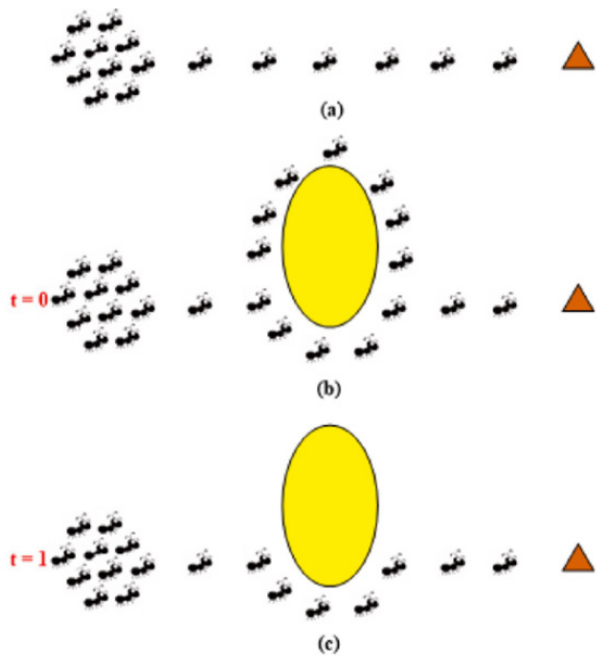


图 2 蚁群行为演示图

蚂蚁可以感知被释放的信息素簇，并在进食时会表现出一定的智能行为，如图所示，蚂蚁在碰到障碍物时会随机爬到路径的任意一侧，经过一段时间后，由于短路径上的信息素比长路径上的信息素多，蚂蚁可以根据信息素强度的不

同，找到一条到达食物的最短路径。Guo 等在文献^[5]中提到了一种反向学习思想应用于改进蚁群算法中，使 ACO 算法不再局限于局部最优解，避免了过早收敛并提高了其性能。Yuan 在文献^[6]中提出，在进行蚁群算法时，信息素在每次迭代结束后会进行更新，致使蚁群来不及利用迭代过程中产生的最优路径，从而影响后续蚂蚁的路径选择质量，其使用奖惩机制来对信息素更新策略进行改进，从而提高了算法收敛度。

3.2 萤火虫算法

萤火虫算法（Firefly Algorithm, FA）是一种基于自然界萤火虫发光行为的启发式优化算法，由英国剑桥大学学者 Xin-She Yang 于 2008 年提出。其核心思想是模拟萤火虫通过发光吸引同伴的自然现象，将优化问题中的潜在解比作萤火虫，通过“亮度”和“吸引力”两个关键指标引导搜索过程，其亮度对应解的质量，亮度越高表示解越优。Guo 等在文献^[7]中提出了一种反馈式步长萤火虫算法（FBFA），其主要采用了 Tent 映射处理初始种群，改善初始种群分布不均的问题，利用反馈式步长策略，在算法运行的不同阶段动态调整步长因子，并引入标准柯西分布对陷入局部最优的个体进行扰动，使个体有逃出局部最优的机会。Wei 在文献^[8]中提出了一种基于 GA 与 FA 的混合算法 GFA 针对萤火虫算法在路径规划中存在收敛速度过慢、容易陷入局部最优解等问题，将局部最优的萤火虫视为一个群体在遗传算法中进行二次优化，并通过一些改进方法来防止算法过早收敛，从而得到最优的萤火虫个体。

3.3 灰狼算法

灰狼优化算法（Grey Wolf Optimizer, GWO）是一种受灰狼群体捕食行为为启发的元启发式优化算法，由 Seyedalil 和 Mirjalili 等人于 2014 年提出，该算法凭借着结构简洁性、

低参数依赖性等特征在全覆盖路径规划等领域展现出良好的全局寻优能力而被广泛关注。其核心思想是模拟灰狼群体社会的等级结构和狩猎机制，设灰狼群体分为 α 、 β 、 γ 、 δ 4 个等级，如图 3[9] 所示狼群 α 领导狼群 β 、 γ 、 δ ，狼群 β 领导狼群 γ 、 δ ，依次往下，根据这 4 类等级，狼群在进行路径规划过程中进行的搜索、避障、寻求路径最优解，这 4 类狼群寻找出的最优解也被称为 4 种最优解^[10]。该算法缺点在于局部开发能力较差，算法后期种群多样性下降，易陷入局部最优解。对此 Guo 等人在文献^[11]中由于在复杂环境下灰狼优化算法可能会陷入局部最优解、计算量过大等问题，提出了一种引入混沌序列增加智能机器人路径规划过程中搜索的多样性、全局搜索能力并能提高算法收敛速度的启发式混沌算子灰狼优化算法。通过对初始数学模型进行优化，利用 GA 算法、差分进化算法（DE）、PSO 算法改进灰狼优化算法，利用 GA 算法的群体演化思想去优化灰狼算法的搜索空间，使算法近似最优。

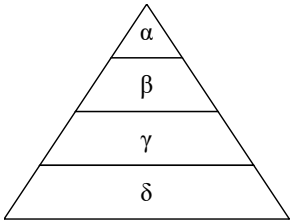


图 3 灰狼算法层级图

4 归纳

本文对于基于启发式算法的全覆盖路径规划算法进行了简单的整理介绍和归纳，并指出了各算法的工作原理、改进措施以及优点和局限性，结果如表 1 所示。

表 1 元启发式算法原理、优缺点及改进措施表

算法名称	工作原理	优点	局限性	改进措施
遗传算法 (GA)	通过模拟自然界“适者生存”的思想来寻求最优解	全局搜索能力强，适合处理复杂的非线性问题；有并行性，可对多个解同时搜索；鲁棒性好，受影响较少	局部搜索能力较弱，收敛速度慢；难以避免搜索过程中出现过收敛现象	将遗传算法和混沌算法的局部算法相融合，并采用种群的迁移机制替代算子筛选机制
蚁群算法 (ACO)	通过学习蚂蚁分泌并感知信息素这一特点，找出路径规划问题的最优解	适用于组合优化类问题；具有分布式计算特点，与其他算法具有较好相容性；鲁棒性较强于其他算法	收敛速度慢，初期难以在信息素缺乏的情况下搜索；易陷入局部最优	调整并优化算法中的自适应机制；对信息素限制优化参数进行增强
粒子群算法 (PSO)	通过群体协作和共享信息找到最优解	具有较好的全局搜索能力；易理解，计算成本低；收敛快，适合连续优化等问题	后期收敛速度较慢，不够精确；易在高维复杂问题上陷入局部最优	适当调节学习因子；采用混沌序列初始化代替随机初始化粒子的种群
萤火虫算法 (FA)	通过模拟萤火虫发光吸引同伴来寻找路径规划中的最优解	全局搜索能力强，适用于多峰函数优化问题；有自适应性，可通过控制荧光素浓度调整搜索行为	算法参数较多，难以调节，对参数的设置较为敏感；计算复杂度高，收敛速度慢	动态调整荧光素衰减系数以及吸引力系数；引入距离权重因子，减少无效搜索
灰狼优化算法 (GWO)	通过模拟自然界中狼群的领导机制寻找路径规划最优解	全局搜索能力较强，收敛速度快；易理解，参数少，易实现；不依赖初始值	局部搜索能力较弱，易陷入局部最优；面对复杂问题，收敛精度不足	引入一些反向学习方法；调整算法中参数问题，尽量避免陷入局部最优

5 结语

目前对基于元启发式算法的全覆盖路径规划算法而言,近年整体呈现出多技术融合、注重实时性及有效性、追求高质量等发展趋势,从以下两方面可见:

1) 算法优化及智能系统增强:通过引入混沌机制等新型机制来优化算法,增强了算法的全局搜索能力,避免了算法陷入局部最优,又通过智能系统,使算法具备更强的自主学习能力和更好处理复杂动态环境问题。

2) 适应更复杂的环境:通过对多算法的优势融合,面对复杂多变的环境,基于元启发式算法的全覆盖路径规划算法实现了路径选择的动态调整,提高了对复杂环境的适应能力,对于一些传统算法所无法克服的困难,进行对应方案处理。

综上,基于元启发式算法的路径规划算法正面向着智能化、动态适应化和高效计算方向发展,在将来有待在更复杂的应用场景中发挥关键作用。

参考文献

- [1] 刘清云,游雄,张欣,等. 移动机器人路径规划算法综述[J]. 计算机科学, 2025, 52(S1): 159-168.
- [2] 陈旭. 基于遗传算法的移动机器人路径规划研究综述[J]. 科技和产业, 2023, 23(08): 274-278.
- [3] 韩颜,于淼. 粒子群算法在机器人路径规划中应用的综述[J]. 制造技术与机床, 2024, (07): 85-90.
- [4] Wang L, Zhu D, Pang W, et al. A survey of underwater search for multi-target using Multi-AUV: Task allocation, path planning, and formation control[J]. Ocean Engineering, 2023, 278: 114393.
- [5] 郭城成,田立勤,武文星. 蚁群算法在求解旅行商问题中的应用综述[J]. 计算机系统应用, 2023, 32(03): 1-14.
- [6] 苑俊辉,王晓东,马盈仓. 基于改进蚁群算法的移动机器人路径规划[J/OL]. 南通大学学报(自然科学版), 1-9[2025-08-14].
- [7] 郭志军,王远,王丁健,等. 移动机器人反馈式步长萤火虫算法全覆盖路径规划研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2025, 39(04): 148-156.

Digital twin-driven research on the construction and path optimization of the intelligent information planning system for smart cities

Xin Lin

Chongqing Municipal Information and Communication Consulting Design Institute Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

Abstract

The new smart city is a major decision made by the Party Central Committee and the State Council based on the actual situation of China'sization and new urbanization development, and it is an important grasp to promote the development of smart society. The "14th Five-Year Plan" outline clearly States: "ote the innovation of urban and rural development and governance mode with digitalization, and comprehensively improve the efficiency of operation and livability. Classified and classified promotion of new smart city, the Internet of Things perception facilities, communication systems and other public infrastructure planning and construction, and promote the application of the Internet of Things in municipal public utilities, buildings and other, and intelligent transformation." Under the guidance of policies, this article first analyzes the core connotation of digital twin and the advantages of digital twin-driven smart city intelligent informatization, then focuses on the construction and path optimization of the planning system of digital twin enabling smart city intelligent informatization, hoping to serve the overall situation of national new urbanization digital economy development.

Keywords

Digital twin; Smart city; Intelligentization; Informatization; Planning system.

数字孪生驱动的智慧城市智能化信息化规划体系构建与路径优化研究

林鑫

重庆市信息通信咨询设计院有限公司, 中国 · 重庆 400000

摘 要

新型智慧城市是党中央、国务院立足于我国信息化和新型城镇化发展实际而做出的重大决策,是推进智慧社会发展的重要抓手。“十四五”规划纲要明确提出“以数字化助推城乡发展和治理模式创新,全面提高运行效率和宜居度。分级分类推进新型智慧城市建设,将物联网感知设施、通信系统等纳入公共基础设施统一规划建设,推进市政公用设施、建筑等物联网应用和智能化改造”。在政策导向下,文章先解析数字孪生的核心内涵与数字孪生驱动智慧城市智能化信息化的优势维度,后聚焦数字孪生赋能智慧城市智能化信息化规划体系构建与路径优化,期望为国家新型城镇化与数字经济发展大局服务。

关键词

数字孪生;智慧城市;智能化;信息化;规划体系

1 引言

我国城镇化建设进入高质量发展阶段,城市承载着人口、产业、资源等重要使命,面临优化空间布局、提升治理效率等多重挑战,迫切需要信息化、智能化规划手段。随着信息技术的飞速发展,数字孪生作为一种新兴技术,可为智慧城市建设提供智能化、高效化的解决方案。因此,数字孪生驱动的智慧城市智能化信息化规划体系构建与路径优化

研究具有重要的现实意义。

2 数字孪生的核心内涵解析

数字孪生作为深度融合物理世界与虚拟空间的技术范式,具有丰富的内涵。具体而言,体现在多维度映射、全生命周期交互与智能协同优化的有机统一。以建模与仿真引擎为依托,生成高保真虚拟镜像,再借助边缘计算与云计算技术,达成数据的实时交互与处理,最终形成“物理实体+虚拟模型+数据链路+应用服务”的闭环系统。

其本质特征具有一致性与可计算性。一致性要求虚拟模型在几何形态、物理属性、行为规律等方面始终同步物理实体;可计算性将多物理场耦合算法与机器学习模型嵌入其

【作者简介】林鑫(1984-),男,中国四川仪陇人,本科,高级工程师,从事智能化,信息化规划、咨询设计研究。

中,赋予虚拟镜像预测、诊断与推演能力。相较于传统数字建模,数字孪生不再局限于静态映射,而是通过实时数据驱动动态演化虚拟模型,形成“感知+建模+分析+决策+执行”的迭代优化机制。

站在系统论角度来看,数字孪生不是应用单一技术,而是集成多种跨域技术,将数字线程、区块链、数字孪生体管理等关键技术涵盖其中,其核心价值是通过虚拟交互,提升物理系统的效率与风险防控能力,为复杂系统的全要素、全流程智能化管控提供技术基座,与此同时,还有利于多源异构数据的深度融合与价值挖掘。

3 数字孪生驱动智慧城市智能化信息化的优势维度

3.1 数据要素深度融合的价值增益

数字孪生技术是城市数据要素深度融合的新型纽带,它通过物理空间与虚拟空间实时映射桥梁的搭建,为多源异构数据的无缝衔接与动态聚合提供助力。在城市运行中,不可避免会产生各类信息,它们在虚拟孪生体中凝结为有机整体,不再局限于传统数据孤岛造成的信息割裂,充分显现数据资源的内在关联。实际上,融合不是信息的简单叠加,而是借助时空关联规则与语义解析机制,为数据注入丰富内涵,使数据资产的整体价值密度得以提升。不仅如此,若是数据流转具备实时性与完整性,那么城市运行状态的全域感知便有了坚实基础,有利于充分挖掘隐藏在分散数据中的城市运行规律,进一步推动数据要素的转变,从零散化向体系化演进,最大程度释放信息势能。另外,不断拓展数据融合的深度、广度,也为城市各系统实现协同运作提供支撑,使城市的“数字神经”更加敏锐。

3.2 决策体系科学演进的效能提升

数字孪生可构建虚拟试验场,赋予城市决策体系的科学演进新动能,进而在决策过程中,避免过度依赖经验判断,逐步向基于全域模拟与多维推演的理性选择转变。在虚拟空间中,将城市系统的复杂交互关系复现出来,有利于决策主体进行前瞻性预判,捕捉不同情境下的城市响应,及时发现潜在的关联影响与连锁效应。决策模式的转变,其本质是在对城市系统动态规律的深刻认知上建立决策逻辑,显著增强决策方案的适配性与预见性。提升决策过程的科学化程度,不是对单次决策的精准性改善,而是在于形成持续优化的决策闭环,推动决策体系的转化,从被动应对变为主动调控,在一定程度上凸显系统性思维在城市治理中的重要作用。最终,决策的科学性赋予城市发展稳健性,因决策偏差带来的资源浪费与发展风险得以减少。

3.3 治理范式协同转型的内涵拓展

数字孪生技术整合能力极强,推动城市治理范式转型,向协同化方向演进,打破传统治理模式中的部门壁垒与层级隔阂,形成全域联动的治理格局。有了虚拟孪生体的助力,各类治理主体能够以统一的信息基底为依据,展开协同行

动,推动治理资源优化配置与治理流程高效衔接的实现。另外,协同转型还可增强治理过程的联动性,提升治理目标的整体性,为城市治理实现“碎片化—系统化”提供支撑,逐步从局部优化向全域协同演进,这样一来,治理现代化的内在要求与发展趋势得以彰显。通过不断延伸治理协同的广度与深度,可使城市治理成为精密运转的整体,在各个环节相互配合、高效联动模式下,城市应对复杂挑战的能力显著提升。

3.4 服务供给精准升级的品质飞跃

数字孪生技术可敏锐捕捉并深度解析城市居民需求,助力城市服务供给的精准化升级,以便精准匹配服务资源,动态调整服务模式。在虚拟孪生体的助力下,服务供给主体能够做到对不同群体差异化需求的精准把握,进而构建个性化、场景化的服务体系,推动服务供给从粗放式转变为精细化,从被动响应演进为主动预见。这种精准升级,在提升服务供给效率与质量的同时,亦增强城市居民的获得感与幸福感,彰显了以人民为中心的发展理念在城市建设中的具体实践。持续提高服务供给的精准化程度,使其覆盖城市生活的方方面面,助力提升城市服务对居民需求的响应度与贴合度,进一步营造温暖、活力的城市生活氛围。

4 数字孪生赋能智慧城市智能化信息化规划体系构建与路径优化

4.1 融合全域数据资源,夯实规划实施基底

数字孪生技术实时映射物理城市与虚拟空间,促成城市各类数据资源的全域汇聚与深度融合。以物联网感知设备为依托,对交通流量、能耗指标、环境参数等实时数据进行采集,并与政务系统沉淀的人口统计、经济运行、公共服务等结构化信息结合,共同组成覆盖城市全要素的动态数据库。通过融合处理多源数据,传统城市规划中部门数据壁垒造成的信息孤岛便被打破。因此,以完整的城市运行画像为基点,规划编制顺利展开。借助时空关联分析技术,可按照城市功能分区、生命周期阶段等维度,实现数据的智能归类,这样一来,为不同层级规划提供差异化的数据支撑。在虚拟空间中,数据经过标准化处理与动态更新后,推演规划方案能够与现实的参数输入更加贴近,助力提升规划实施的精准度与适应性。例如,于城市交通路网规划而言,将历史交通流量数据、实时路况信息、气象数据以及周边商业设施分布数据有机融合,数字孪生系统能对不同时段交通运行状态进行精准模拟,为优化交叉口、拓宽路网等规划措施提供参考,有利于避免传统规划中数据片面造成的决策偏差。与此同时,随着城市的动态发展,持续性更新数据,能使规划方案及时响应产业布局调整、人口迁移等变化,确保规划具备时效性与前瞻性。

4.2 搭建多维场景平台,提升规划决策水平

在数字孪生仿真建模能力助力下,城市规划可在虚拟空间搭建涵盖交通出行、应急管理、生态保护等多维场景的

模拟平台。在交通规划领域,复刻包括道路网络、交通工具与行人行为的动态模型,能将不同时段、不同交通政策下的路网运行状态模拟出来,为优化路网、调整公共交通线路提供依据。在生态保护规划层面,虚拟平台还原水系循环、植被生长、污染物扩散等自然过程,以便及时预测不同开发强度对生态系统产生的影响,最终科学划定生态红线。在城市更新规划中,可借助建筑能耗模拟、空间利用效率分析等场景,对改造方案的综合效益展开评估。通过构建这些模拟场景,可使规划决策发生转变,从经验判断变为数据驱动的科学分析。例如城市新区建设规划中,容积率、建筑密度不同,光照时长、通风效果、交通承载能力等也存在差异,利用数字孪生技术进行模拟,可综合评估居住舒适度与基础设施配套压力,为确定最优规划方案提供支撑。在应急疏散规划中,围绕火灾、地震等突发事件下人群的疏散路径与聚集点展开模拟,有利于应急通道设置与救援资源布局的优化,进一步提升城市应对灾害的能力。不仅如此,模拟平台具备多方案对比分析优势,规划人员可调整参数生成不同规划方案的虚拟场景,整合各方案的经济效益、社会效益与环境效益并实施比较,为最终决策提供参考。

4.3 重塑协同治理格局,强化规划实施效能

数字孪生技术驱动城市规划的协同治理获得全新载体,有利于推动政府、企业、公众等多元主体参与规划编制与实施全过程。首先,共享虚拟规划平台的搭建尤为必要,政府部门可将规划方案的空间布局与实施进度实时展示,企业以此为依据,反馈基础设施建设的实际需求,而公众通过可视化界面对公共空间的规划提出建议。这种协同模式不受传统规划中信息传递的层级限制,使规划信息实现实时交互与动态调整。于规划实施阶段而言,虚拟平台与城市运行管理系统对接,达成规划落地情况的实时监测,各个主体以反馈数据为参考,共同商讨解决方案。通过多元主体的深入参与,规划方案与城市的发展更加贴合,规划实施的协同性与有效性得以提升。以老旧小区改造规划为例,通过虚拟平台,社区居民可查看改造方案的三维模型,对停车位设置、绿化布局等细节提出修改意见;而施工企业可充分考虑自身技术能力与施工成本,从专业角度出发对改造方案的可行性提供建议;政府部门则整理各方意见并优化方案,保证改造工程在符合政策要求的同时满足居民实际需求。在具体的规划实施中,对于施工进度与工程质量数据,虚拟平台可实时更新,居民可随时查看,监督工程进展;企业将施工难题及时反馈给政府部门,使其协调资源解决问题,最终形成多方联动的

实施机制。这样一来,有利于避免传统规划中因信息不对称导致的矛盾冲突,助力规划实施效率与质量的提高。

4.4 统筹基础设施布局,保障规划落地实效

凭借数字孪生技术的虚拟映射,城市基础设施实现对交通、能源、水利等基础设施的全生命周期规划管理。于交通基础设施规划而言,对虚拟路网与实时交通流量的匹配关系展开分析,可进一步优化公交站点、停车场的空间布局,助力交通资源利用效率实现提升。通过虚拟电网模型,能源基础设施规划模拟不同区域的能耗需求与供电能力,实施变电站、充电桩等设施,促进能源供需平衡的科学布局。而水利设施规划则联动分析虚拟水系与降水、用水数据,优化水厂、管网的空间分布,确保供水的安全性。这种基础设施布局优化以虚拟映射为基点,使规划方案更加贴合城市空间结构、人口分布,赋予基础设施建设经济性与实用性。例如在新能源汽车充电桩布局规划中,数字孪生系统对电动汽车保有量、居民出行轨迹、停车场分布等数据进行融合,于虚拟空间中不同充电桩布局方案下的充电需求满足度与运营效率模拟出来,以此为依据,合理规划居民区、商业区、交通枢纽等区域的充电桩数量与位置,避免造成供给不足或资源浪费。在城市供水系统规划中,借助虚拟管网模型展开不同区域用水高峰与管网压力的模拟,

以便实现水厂选址与管网走向的及时优化,最大程度上降低输水能耗与漏损率,为城市供水的稳定性与经济性提供保障。

5 结语

综上所述,数字孪生驱动的智慧城市智能化信息化规划体系构建与路径优化是一项系统性工程。通过融合全域数据资源、搭建多维场景平台、重塑协同治理格局、统筹基础设施布局四种策略,可为智慧城市建设提供系统性的解决方案。该技术有利于解决城市发展中数据割裂、碎片化治理等难题,进而提升城市治理现代化水平。

参考文献

- [1] 张新长,廖曦,阮永俭.智慧城市建设中的数字孪生与元宇宙探讨[J].测绘通报,2023,(01):1-7+13.
- [2] 李超,刘君武,王理,等.数字孪生在智慧城市中的应用[J].中国检验检测,2022,30(04):42-46.
- [3] 斯瑜彬,姚佳琪,陆春杰,等.数字孪生城市内涵与典型应用场景[J].智能物联技术,2022,5(04):14-18.
- [4] 智慧城市发展态势及趋势分析[J].自动化博览,2021,38(10):24-28.

Research on Bidding and Procurement Management Strategies Based on the Whole Process Engineering Consulting Model

Wenjie Lu¹ Sitong Zhu²

1. Zhonghua Business Co., Ltd., Beijing, 100073, China

2. Beijing Engineering Consulting Co., Ltd., Beijing, 100025, China

Abstract

Currently, a large number of projects continue to use traditional procurement methods, which suffer from problems such as loose organization, fragmented information, and lagging risk response, making it difficult to meet the needs of integrated management throughout the entire process. How to reconstruct the procurement management system and achieve a deep alignment between procurement behavior and project objectives within the framework of full process consulting has become an important issue that urgently needs to be addressed in both theory and practice. This article is based on the concept of whole process engineering consulting, starting from multiple dimensions such as organizational mechanisms, planning methods, procurement methods, compliance control, and consulting capabilities, to construct a procurement management strategy system that adapts to the new situation, and promote the efficient, safe, and sustainable development goals of engineering projects. By combining theoretical analysis with practical cases, the positive role of whole process engineering consulting in improving the level of procurement management has been further verified.

Keywords

whole process engineering consulting; Bidding procurement; Procurement Planning

基于全过程工程咨询模式的招标采购管理策略研究

陆文劼¹ 诸思彤²

1. 中化商务有限公司, 中国·北京 100073

2. 北京市工程咨询股份有限公司, 中国·北京 100025

摘 要

当前, 大量项目仍延续传统招采方式, 存在组织松散、信息割裂、风险响应滞后等问题, 难以适应全过程一体化管理的需求。如何在全过程咨询框架下, 重构招采管理体系, 实现采购行为与项目目标的深度契合, 成为理论与实践亟须解决的重要课题。本文基于全过程工程咨询的理念, 从组织机制、策划方法、采购方式、合规管控与咨询能力等多个维度出发, 构建适应新形势的招采管理策略体系, 推动工程项目实现高效、安全与可持续发展目标。通过理论分析与实践案例相结合的研究方式, 进一步验证了全过程工程咨询对提升招采管理水平的积极作用。

关键词

全过程工程咨询; 招标采购; 采购策划

1 引言

随着国家对工程建设项目管理模式持续深化改革, 传统以业主主导、专业分割、阶段分离的咨询服务体系已难以满足项目质量、安全、投资与进度的协同控制要求。全过程

工程咨询模式应运而生, 作为一种覆盖项目全生命周期、实现多专业深度融合的集成化服务体系, 正在成为引导行业高质量发展的关键路径。招标采购管理作为连接项目策划、设计、施工与运维的重要纽带, 其在全过程工程咨询模式下的地位愈加突出, 管理内容、组织机制与实施方式均面临重塑。

2 全过程工程咨询模式概述

工程建设领域中存在着特殊的服务形态, 由单一或联合咨询机构为业主构建全生命周期支持体系, 服务涵盖项目策划、可行性研究、勘察设计、招标采购、施工管理、竣工验收及运维管理等核心环节, 这种跨阶段协同机制突破传统分段式服务边界, 形成系统性支持网络。其运作逻辑植根于三维度架构: 初期整体筹划建立战略框架, 实施阶段嵌入动

【作者简介】陆文劼, 男, 汉, 北京, 研究生, 经济师, 咨询工程师(投资), 招标采购、全过程咨询, 中化商务有限公司。

诸思彤, 女, 汉, 北京, 研究生, 经济师, 工程师, 咨询工程师(投资), 投融资研究, 北京市工程咨询股份有限公司。

态调控机制,末期配置多维评估模型,在投资控制、质量保障、工期优化与风险对冲之间寻求帕累托最优解^[1]。

行业管理模式结构性调整催生新型治理工具,全过程咨询逐渐演化为公共部门与市场主体共建高质量工程的实践载体,咨询服务供给端产生连锁反应:专业壁垒消解触发业务重组,碎片化知识系统加速集成,传统经验型服务向智能决策支持转型升级,这不仅是管理效能的重构试验,更是产业链价值中枢的战略迁徙。

3 传统招采管理的问题

3.1 职责分散、缺乏统筹

传统项目管理模式下,招标采购权责分属设计、造价、监理等独立咨询方,责任界面模糊,协同体系缺失,这类割裂式运作使标段规划、采购策略等技术环节难以系统整合。业主临时组建的决策小组常因专业储备不足制约项目推进效能,权责界定不明易产生管理真空地带,沟通损耗持续上升。招采方案的前瞻性与系统性难以保障,项目全周期风险管控存在明显短板^[2]。

3.2 信息壁垒严重,效率低下

多元主体分立导致信息孤岛,设计概算与招标采购数据基础数据孤立运行,低效重复操作普遍化。实施阶段施工图纸与工程量清单难以及时互通,直接影响采购需求整合质量;文件流转依赖线下审批,纸质文档主导的工作模式难以满足时效要求。工程项目体量激增或周期压缩时,传统处理机制暴露响应滞后缺陷,进度偏差与成本失控概率攀升。数据断层的现状既阻碍各阶段有机衔接,更削弱全流程监管效能与决策精准度。

3.3 管理模式滞后、风险控制不足。

传统招采管理模式侧重于程序合规导向,过度关注形式流程合法性,实际管理效能被漠视。系统性风险识别与应对体系明显缺失,项目建设阶段存在招标策划滞后现象,与总体规划产生时间差,招标内容同项目需求逐渐脱节。投标人资格审查制度、评标机制设计存在滞后性,合同执行监管环节难以匹配项目快速变化需求,风险管理长期停留于表面核查层级,全周期风险预警系统尚未构建,动态调节能力匮乏。采购环节潜伏的技术隐患、合规危机、价格异动难以精准遏制,管理理念与实践产生严重断裂,项目实施过程频发“低价中标、高价变更”等典型问题,工程品质与投资效益遭受持续冲击。

4 咨询模式对招采的影响

4.1 招采策划前移、全流程整合

全过程工程咨询实施过程中,招标采购管理突破传统后期定位,整合进项目策划阶段核心构成。咨询单位在立项初期便启动整体规划,系统梳理项目需求、建设周期与资金计划,综合市场环境动态评估,编制采购策略与标段划分方案。这种前瞻布局有效规避施工阶段的设计采购脱节问题,

项目运行效率得到结构性提升。采购体系与设计、成本管控及进度管理系统耦合联动,这种机制创新使招采转化为驱动项目目标达成的核心引擎,强化工程管理体系的协同效应与风险预见能力。

4.2 咨询机构深度参与优化采购方案设计

咨询机构依托跨领域专业优势与集成化能力,形成针对招采过程的全周期决策支持体系。区别于传统招标代理的单一职能,咨询团队直接参与采购框架搭建。从供应商预审到招标模式选定,涵盖评标规则论证与合同架构优化。基于造价管控与工程管理的复合视角,技术参数与经济指标实现动态平衡,资源配置模型与风险分摊机制更趋合理,招标文件兼具技术创新性与落地实操价值。专业团队的深度介入构建起投资约束与质量保障的双重闭环,为项目全生命周期价值管理奠定技术基础^[3]。在采购方案的具体设计阶段,咨询机构运用先进的项目管理工具与技术,如大数据分析、模拟仿真等,对采购流程进行精细化模拟与优化。这不仅提升了采购决策的科学性与精准度,还显著缩短了采购周期,提高了整体工作效率。同时,咨询机构还注重与项目业主方的紧密沟通,确保采购方案能够充分贴合项目实际需求与长远规划,实现定制化服务。通过咨询机构的深度参与,采购方案设计不仅满足了项目当前的实施需求,更为项目的可持续发展与长期价值最大化奠定了坚实基础。

4.3 招采行为与项目目标一致性优化

常规招标采购模式下,多方参与主体目标常呈现离散状态,招标采购行为易偏离项目总体方向,"中标即终点"的短期导向现象多发,转换至全过程工程咨询体系,咨询机构除履行技术管理与运营职责外,需直接承担项目全周期成效责任,推动采购行为与项目目标实现全面校准。

业主核心诉求成为采购框架构建基准,成本控制、质量保障、周期优化与合规操作形成方案核心要素,执行阶段同步植入动态监测机制与偏差纠正模块,目标导向机制得以深化,招标实效与执行精度显著提升,各类采购环节切实支撑项目全生命周期管理体系,终端价值达成路径获得系统性保障。

5 全过程工程咨询模式下的招标采购管理策略

5.1 优化组织架构与职责分工

5.1.1 项目管理平台构建

全过程工程咨询模式聚焦协调型管理机制,构建综合性项目管理平台成为提升采购效能的核心路径,项目管理平台(PMO)需汇集多方主体资源,统合业主单位、咨询团队与分包商形成集中调度系统,推行"单一平台+同套计划"运作框架,平台有效贯通信息传递链路,采购活动得以与工程设计、成本预算及施工进度同步协调,配套部署智能化管理工具。电子采购系统与数据决策模块显著提升文件处理速率,全过程监控体系增强招标采购流程的标准化程度,为其

提供稳定运行基础。

5.1.2 采购权责体系界定

工程咨询机构在全过程模式中兼具战略规划与执行监控双重职能,项目采购环节需建立清晰的权限划分机制,制度文本应当规范咨询单位在标段设计、供应商筛选、合同审查等流程的决策边界,绩效考核指标需关联采购成果数据,构建动态问责机制,这种权责对等模式既能规避管理缺位风险,又可推动咨询团队强化专业判断力,招标文件的编制标准获得实质性提升,采购方案与项目总控目标的匹配精度随之增强,客观上促进了工程咨询行业标准化进程的演进。

5.2 完善招采策划体系

5.2.1 采购策划融合全过程咨询初期体系

工程咨询全周期运作中,采购策划需融入项目策划与可行性研究阶段成为主体构成,超前布局替代原有执行环节的单独定位。这种前置管理模式便于系统协调招标策略布局/标段划分决策/采购模式优选等核心要素,使项目总体目标与招标环节产生深度协同。咨询机构综合解析建设目标/资金配置/进度规划等技术路径,最终形成契合项目特征的采购实施方案。前期系统性策划奠定招标文件编撰基础,在供应商筛选机制/评标指标设计层面提供科学支撑,采购运作的精度与系统性得到同步增强。风险防控效能与成本管控质量,亦可通过前瞻性部署实现指数级提升。

5.2.2 需求解析与市场洞察联动机制构建

决策精准度源于对项目需求的精确解析和市场动态的全维捕获。全过程咨询服务框架内,有必要构筑采购需求评估与市场调研的双轨运行机制。重点拆解设计方案的技术参数与功能定位,细化形成可量化执行的采购指标技术规范;同步推进供应渠道考察/价格波动研判等专项工作,深度掌握行业技术迭代周期/原材料成本波动规律。这些基础资料转化形成的数据库,能够支撑预算编制的动态模拟/供应商库的智能分级/供应保障方案的弹性设计。实施层面的低价竞标隐患/断供风险等典型问题,借助需求端与供给端的双向数据建模得以有效预判,最终形成的采购执行框架兼具实施适应性与前瞻引导力。

5.3 风险控制与合规管理

5.3.1 建立全过程的风险识别与评估机制

全过程工程咨询模式下,招标采购活动贯穿项目全生命周期,复杂特性和未知变量迫使风险防控成为核心管理诉求。为维持工程实施连续性,需建立科学系统的全过程风险识别评估体系,实现"及时辨识、提前干预、精准处置"管理效果。

项目筹备期需由全过程咨询机构(Engineering Consulting Institution)统筹主导,协同各领域专家开展系统性风险扫描,重点梳理招采环节潜在的政策调控、市场震荡、技术适配障碍、供应商信用危机、合约实施冲突等风险类别。基于德尔非法、案例参照、项目数据比对等手段,完成风险要素初筛

与性质判别,最终形成三维风险坐标清单。

针对核心风险指标,需实施多维度影响评测,统筹考虑发生频次与破坏强度。运用风险矩阵模型(Risk Matrix)、灰色关联分析等技术路径实现风险量化定级。该评估成果既能指导采购路径优选、竞标者资质设定与协议文本架构,又能为风险预警阈值设定提供参数基准。

风险识别评估需形成闭环动态迭代机制,伴随项目阶段递进,政策环境更迭与工程条件变更可能触发新风险。咨询机构须按月组织风险图谱复核与评估框架升级,确保管控方案与项目实况保持动态契合。

评估报告须植入项目智慧管理云平台(Project Management Cloud Platform),实施数字化穿透式监控。明确风险责任归属矩阵,落实应急预案操作手册,构建风险事件响应倒逼机制。全过程动态风险管理体系可显著提升招标采购预判精度与容错能力,为工程价值交付构筑韧性防护屏障。

5.3.2 明确采购合规责任、审计跟踪机制

全过程工程咨询模式下,招采活动包含多环节、多主体参与。缺乏明确合规责任划分及审计机制将导致管理漏洞与违规行为,损害项目合规性与公信力。构建完备的采购合规责任体系成为关键,需清晰界定各参与方的权责边界及法律责任:业主单位为第一责任主体,负责采购制度制定与执行监督;全过程咨询单位承担招采统筹角色,涵盖方案策划、流程执行及文件审查,同步接受审计监管部门的全程监督。建立招采全过程审计跟踪机制成为必要,覆盖采购计划、招标组织、评标过程至合同履行阶段,实施全链条审计。第三方独立监督与数字化审计系统可作为实施路径,实时记录操作痕迹并构建数据溯源链条,确保流程法定合规。落实合规责任、完善审计机制,既遏制采购腐败与操作失误风险,亦增强招采管理透明度及公信力,这在全过程工程咨询模式下尤为重要。

5.4 提升咨询服务能力

5.4.1 发展复合型人才

全过程工程咨询模式促使从业者实现多元能力跨越,除工程技术内核,项目管理、采购法务、成本契约等多维度知识体系成为标配,培育融合型专业队伍成为提高咨询品质的基础路径。现行行业存在专精领域过窄、实践断层明显等症结,难以匹配项目全周期管理的整合诉求。咨询机构需构建内部培育与人才引进的双轨机制,加速形成工程+管理+法务+财税的知识复合架构。实施精准化岗位实训机制成为关键,强化BIM应用、电子招标平台操作及全流程管理演练的实操转化,深度打通从业人员对项目生命周期的认知脉络与执行精度。搭建具备跨域思维与统筹管理特质的复合人才梯队,将有效赋能招采管理环节的高效运作。

5.4.2 鼓励大型咨询企业构建全链条服务能力

全过程工程咨询聚焦单主体贯穿、全环节渗透的新型服务范式,该模式深度倒逼服务机构重塑系统集成能力。面

对大体量项目运作，传统割裂式服务形态难以满足业主对降本增效、风险可控的核心诉求，扶持具备资质的龙头企业向平台化运作转型已成必然。企业需扩展服务触角至策划设计、造价调控、招标采购、监理验收及运营维护等全维场景，这种一体化服务架构能突破专业协同壁垒，同步提升组织层面对项目指标的全局牵引力度。政策维度可实施资质体系重构、标杆项目孵化的策略，辅以服务效能评估工具的应用，催化企业形成覆盖全周期与多专业的服务矩阵 [5]。

6 结语

综上所述，全过程工程咨询模式的推广为工程建设项目管理注入了系统化、集成化与专业化的新动能，也对招标采购管理提出了更高要求。在新模式下，采购工作不再是孤立操作环节，而是与项目策划、设计、实施深度融合的关键控制节点。通过优化组织架构、前移采购策划、实施集成化采购方式、引入信息化平台、强化风险与合规管理，并提升咨询服务能力，可实现采购行为与项目全生命周期目标的高

度一致，有效提升工程项目的管理效率与成果质量。未来，随着全过程工程咨询的进一步制度化与常态化，招采管理策略亦需持续迭代升级，结合数字化技术、智能化工具与绿色采购理念，推动实现更加科学、高效与透明的采购体系构建，为我国工程建设管理现代化提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 盛玉婷. 工程项目招投标全过程监督管理研究[J]. 中国招标, 2023(3):143-144.
- [2] 路通. 公共建设项目招投标全过程管理策略研究——以A省C市职业学院为例[D]. 江西:南昌大学,2022.
- [3] 王艳艳,张晓丽,万克淑,等. 基于任务驱动和问题导向全过程案例教学模式研究 ——以”工程招投标与合同管理”课程为例[J]. 教育教学论坛,2022(36):149-152.
- [4] 李倩芸. 探求全过程电子招投标项目档案管理[J]. 中外交流,2021,28(4):565.
- [5] 张金利. 电子化招标投标与全过程项目管理分析[J]. 中国设备工程,2022(1):240-241.

Research on the Synergistic Mechanism of Technological Innovation and Information Management in the Digital Transformation of Enterprises

Ziyang Jin

Xiancheng (Shanghai) Information Technology Co., Ltd., Shanghai, 201306, China

Abstract

In the digital, the digital transformation of enterprises is imperative, and the synergistic mechanism of technological innovation and information management, as key elements, is of great significance for the successful transformation of. This paper delves into the synergistic mechanism: it first elaborates on the background and significance of the digital transformation of enterprises, and then analyzes the roles played technological innovation and information management in the transformation. Subsequently, it investigates in detail the necessity of the synergy between the two, as well as the constituent elements of the synergistic mechanism, such as the synergy in goals, organization, processes, etc. By analyzing these elements, the methods to build an effective synergistic mechanism are revealed aiming to help enterprises better apply the achievements of technological innovation, improve their information management level, and thus enhance their competitiveness and sustainable development capability in the transformation, providing theoretical references and for the practice of digital transformation of enterprises.

Keywords

Enterprise Digital Transformation; Technological Innovation; Information Management; Synergistic Mechanism

企业数字化转型中科技创新与信息管理的协同机制研究

晋子洋

贤城（上海）信息科技有限公司，中国·上海 201306

摘要

在数字化时代，企业数字化转型势在必行，科技创新与信息管理工作作为关键要素，其协同机制对企业成功转型意义重大。本文深入探讨了该协同机制：先阐述企业数字化转型的背景与意义，接着分析科技创新与信息管理工作在转型中各自发挥的作用；而后详细研究二者协同的必要性，以及协同机制的构成要素，如目标、组织、流程等方面的协同。通过对这些要素的剖析，揭示构建有效协同机制的方法，以助力企业在转型中更好运用科技创新成果、提升信息管理水平，进而增强企业竞争力与可持续发展能力，为企业数字化转型实践提供理论参考与指引。

关键词

企业数字化转型；科技创新；信息管理；协同机制

1 引言

随着信息技术的飞速发展，数字化浪潮席卷全球，企业面临着前所未有的机遇和挑战。数字化转型不再是一种选择，而是企业生存和发展的必然要求。在这个过程中，科技创新是推动企业数字化转型的核心动力，它能够为企业带来新的技术手段、商业模式和竞争优势。而信息管理则是确保企业在数字化转型中有效利用信息资源、保障信息安全、提升信息价值的关键环节。科技创新与信息管理工作并非孤立存在，而是相互关联、相互影响的。二者的协同机制能够整合企业的资源和能力，使企业在数字化转型中更加高效、稳定

地发展。因此，深入研究企业数字化转型中科技创新与信息管理的协同机制具有重要的理论和实践意义。

2 企业数字化转型中科技创新的作用

2.1 推动业务模式创新

科技创新能够催生新的业务模式，使企业突破传统业务的局限。例如，互联网技术的发展使得企业可以开展电子商务，拓展销售渠道，打破地域限制，直接面向全球客户。云计算技术让企业能够以更灵活的方式提供服务和产品，实现资源的共享和优化配置。通过科技创新，企业可以不断探索新的商业模式，满足客户日益多样化的需求，从而在市场竞争中获得先机^[3]。

2.2 提升生产效率

先进的技术如自动化技术、人工智能技术等在企业生

【作者简介】晋子洋（2000-），男，中国安徽宿县人，硕士研究生，无职称，从事科技创新与信息管理工作。

产中的应用,能够显著提升生产效率。自动化生产线可以减少人工干预,提高生产的准确性和稳定性,降低生产成本。人工智能技术可以对生产过程进行实时监控和优化,预测设备故障,提前进行维护,减少停机时间。科技创新使企业能够以更高效的方式进行生产,提高产品质量和生产速度,增强企业的市场竞争力^[2]。

2.3 增强创新能力

科技创新为企业提供了更多的创新机会和手段。企业可以利用大数据分析技术深入了解市场和客户需求,为产品研发提供依据。虚拟现实和增强现实技术可以帮助企业进行产品设计和测试,提高设计效率和质量。科技创新激发企业的创新活力,促使企业不断推出新产品、新服务,提升企业的创新能力和核心竞争力^[4]。

3 企业数字化转型中信息管理的作用

3.1 保障信息资源有效利用

信息管理能够对企业内外部的信息资源进行有效的收集、整理、存储和利用。通过建立完善的信息分类和索引体系,企业员工可以快速准确地获取所需信息,提高工作效率。信息管理还可以对信息进行深度挖掘和分析,为企业决策提供有价值的支持。例如,通过对市场信息的分析,企业可以了解市场趋势和竞争对手动态,制定合理的营销策略^[1]。

3.2 确保信息安全

在数字化转型过程中,企业面临的信息安全风险日益增加。信息管理通过建立信息安全管理制度、采用安全技术手段等措施,保障企业信息的安全性。信息管理可以对企业的敏感信息进行加密处理,设置访问权限,防止信息泄露。同时,信息管理还可以对网络安全进行监控和防范,应对网络攻击和恶意软件等威胁,确保企业信息系统的稳定运行。

3.3 提升信息价值

信息管理能够将分散的信息进行整合和关联,发现信息之间的潜在价值。通过对企业历史数据的分析和挖掘,企业可以发现潜在的市场机会和问题,为企业的战略规划和决策提供支持。信息管理还可以促进企业内部的信息共享和交流,打破部门之间的信息壁垒,提高企业的整体协同效率,从而提升信息的价值。

4 企业数字化转型中科技创新与信息管理的协同必要性

4.1 实现数字化转型的整体目标

企业数字化转型的目标是实现企业的全面数字化,提升企业的竞争力和可持续发展能力。科技创新为数字化转型提供了技术支撑,而信息管理则为数字化转型提供了信息保障。只有二者协同合作,才能确保企业在数字化转型过程中,既能够利用先进的技术手段实现业务创新和效率提升,又能够有效地管理和利用信息资源,保障信息安全和信息价值,从而实现数字化转型的整体目标。

4.2 避免资源浪费和冲突

如果科技创新与信息管理缺乏协同,可能会导致资源的浪费和冲突。例如,企业在科技创新过程中引入了新的技术系统,但信息管理没有及时跟进,无法对这些新技术系统产生的信息进行有效的管理和利用,导致信息孤岛的出现,影响企业的决策和运营效率。另一方面,信息管理如果没有考虑科技创新的需求,可能会制定出不合理的信息管理制度和流程,阻碍科技创新的推进。因此,科技创新与信息管理的协同能够避免资源的浪费和冲突,提高企业资源的利用效率。

4.3 提升企业的适应性和灵活性

在快速变化的数字化环境中,企业需要具备较强的适应性和灵活性。科技创新能够使企业不断引入新的技术和业务模式,以适应市场的变化。而信息管理则能够及时捕捉和分析市场信息,为企业的科技创新提供方向和依据。二者协同可以使企业更加敏锐地感知市场变化,快速调整战略和业务模式,提升企业的适应性和灵活性,使企业在市场竞争中立于不败之地。

5 企业数字化转型中科技创新与信息管理的协同机制构成要素

5.1 目标协同

目标协同是科技创新与信息管理协同的基础。企业数字化转型的总体目标应该明确,并将其分解为科技创新目标和信息管理目标。科技创新目标应围绕提升企业的技术能力、创新业务模式和提高生产效率等方面展开,而信息管理目标则应聚焦于保障信息的安全、有效利用和提升信息价值等方面^[5]。科技创新目标与信息管理目标应相互关联、相互支持,共同服务于企业数字化转型的总体目标。例如,当科技创新目标是引入人工智能技术提升客户服务水平时,信息管理目标就应包括建立完善的客户信息数据库,确保客户信息的安全和准确,为人工智能技术提供高质量的数据支持。

5.2 组织协同

组织协同是实现科技创新与信息管理协同的组织保障。企业应建立跨部门的协同组织架构,打破科技创新部门和信息管理部门之间的壁垒。可以设立专门的数字化转型协调小组,由企业高层领导担任组长,成员包括科技创新部门、信息管理部门以及其他相关部门的代表。该小组负责统筹协调科技创新与信息管理工作,制定协同工作计划和策略,解决协同过程中出现的问题。同时,企业还应加强部门之间的沟通和交流,建立定期的沟通机制,如联席会议、项目协调会等,促进信息共享和协作。

5.3 流程协同

流程协同是科技创新与信息管理协同的关键环节。企业应将科技创新流程和信息管理流程进行有机整合,确保二者在各个环节上相互衔接、相互配合。在科技创新项目的立项阶段,信息管理部门应参与其中,对项目的信息需求进行

评估,为项目的信息管理提供规划。在科技创新项目的研发过程中,信息管理部门应及时为研发团队提供所需的信息支持,同时对研发过程中产生的信息进行管理。在科技创新项目完成后,信息管理部门应协助对项目成果进行信息整理和推广,确保科技成果能够在企业内得到有效应用。同样,信息管理流程也应根据科技创新的需求进行调整和优化,以更好地支持科技创新工作

5.4 人员协同

人员协同是科技创新与信息管理的协同的重要因素。企业应培养既懂科技创新又懂信息管理的复合型人才,提高员工的协同意识和能力。可以通过开展培训课程、组织交流活动等方式,促进科技创新人员和信息管理人员之间的相互了解和合作。同时,企业还应建立激励机制,鼓励员工积极参与协同工作,对在协同工作中表现突出的员工给予奖励。科技创新人员和信息管理人员应树立共同的目标和价值观,加强团队合作,共同为企业的数字化转型贡献力量。

5.5 技术协同

技术协同是科技创新与信息管理的协同的技术支撑。企业应选择合适的技术平台和工具,实现科技创新与信息管理的无缝对接。例如,采用企业资源规划(ERP)系统、客户关系管理(CRM)系统等信息管理系统,与科技创新所涉及的大数据、人工智能等技术进行集成,实现数据的流通和共享。同时,企业还应关注新技术的发展,如区块链技术,探索其在科技创新与信息管理的协同中的应用,提升协同的效率和安全性。技术协同能够为科技创新与信息管理的协同提供有力的保障,促进二者的深度融合。

6 构建企业数字化转型中科技创新与信息管理的协同机制的策略

6.1 强化战略规划

企业应将科技创新与信息管理的协同纳入企业数字化转型的战略规划中。在制定战略规划时,充分考虑科技创新与信息管理的相互关系和协同需求,明确协同的目标、任务和步骤。战略规划应具有前瞻性和系统性,能够指导企业在不同发展阶段的科技创新与信息管理的协同工作。同时,企业应根据市场变化和自身发展情况,及时调整战略规划,确保协同机制的有效性和适应性。

6.2 加强文化建设

企业文化对科技创新与信息管理的协同具有重要影响。企业应培育协同合作、开放创新的企业文化,营造良好的协同氛围。通过宣传和培训,使员工认识到科技创新与信息管理的协同的重要性,树立协同意识和团队精神。企业还可以通过开展团队建设活动、文化主题活动等方式,增强员工之间的沟通和信任,促进科技创新与信息管理的协同。良好的企业文化能够为协同机制的构建提供强大的精神动力和文化支撑。

6.3 建立评估体系

建立科学合理的评估体系是衡量科技创新与信息管理的

协同效果的重要手段。评估体系应包括协同目标达成情况、协同流程执行情况、协同人员绩效等方面的评估指标。通过定期对协同机制进行评估,及时发现问题并进行改进。评估结果可以作为企业调整协同策略、优化协同流程的依据,同时也为员工的绩效考核和激励提供参考。建立评估体系能够促进科技创新与信息管理的协同机制的不断完善和持续改进。

6.4 推动持续创新

企业应不断推动科技创新与信息管理的持续创新。在科技创新方面,持续投入研发资源,关注新兴技术的发展趋势,不断引入新的技术和理念,提升企业的技术创新能力。在信息管理方面,不断探索新的信息管理模式和方法,利用先进的信息技术提升信息管理的效率和水平。同时,促进科技创新与信息管理的相互促进和融合,通过科技创新推动信息管理的创新,通过信息管理的创新为科技创新提供更好的支持。持续创新能够使企业的科技创新与信息管理的协同机制始终保持活力和竞争力。

7 结论

企业数字化转型是时代发展的必然趋势,科技创新与信息管理的协同在其中扮演着至关重要的角色。二者的协同机制对于企业成功实现数字化转型具有不可替代的作用。通过目标协同、组织协同、流程协同、人员协同和技术协同等构成要素的协同作用,能够整合企业的资源和能力,提升企业的竞争力和可持续发展能力。企业应通过强化战略规划、加强文化建设、建立评估体系和推动持续创新等策略,构建有效的科技创新与信息管理的协同机制。在未来的发展中,企业应不断探索和创新协同机制,以适应不断变化的数字化环境,实现企业的数字化转型升级,为企业的长期发展奠定坚实的基础。同时,随着数字化技术的不断发展,科技创新与信息管理的协同机制也将不断演进和完善,为企业带来更多的机遇和价值。

参考文献

- [1] 王莹,吕静.信息安全管理对企业数字化转型的驱动效应[J].经济问题,2024,(12):29-36.
- [2] 何涌,凌纪.金融科技赋能企业数字化转型的多重效应与异质性特征[J/OL].重庆大学学报(社会科学版),1-19[2025-08-22].
- [3] 凌士显,张晓玉.数字化转型对企业持续创新的影响——基于数字化赋能功能与协同功能机制的分析[J].软科学,2024,38(08):78-84+93.
- [4] 卢小祁.科技金融发展对企业数字化转型的影响研究——基于科技金融试点政策的双重差分分析[J/OL].管理现代化,2025,(04):41-49[2025-08-22].
- [5] 韩婧.企业数字化转型中的信息资源管理优化策略研究[C]//冶金工业教育资源开发中心.2024精益数字化创新大会平行专场会议——冶金工业专场会议论文集(下册).北京:北京联合大学,2024:228-230.

Research and Development of Electronic and Electrical Architecture Based on MBSE

Shuangyi Yang

Zhengzhou University of Industrial Technology, Zhengzhou, Henan, 475500, China

Abstract

With the transformation of the automotive, aerospace, high-end equipment and other fields towards “intelligence, electrification and networking”, the electronic and electrical (EE) architecture has evolved from the traditional “distributed control” to “domain centralized central computing”. Against this backdrop, this paper focuses on the integration path of MBSE and EE architecture development. Firstly, it sorts out the core theories of MBSE and EE architectures. Then, it constructs a four-stage MBSE development process of “requirements, functions, logic, and physics”, verifies the application effectiveness with cases of intelligent vehicle EE architecture, and finally analyzes the current implementation challenges and proposes countermeasures. It aims to provide replicable MBSE practice solutions for the EE architecture development of complex equipment, promoting the transformation from “document-driven” to “model-driven”.

Keywords

MBSE “Electronics and Electrical Engineering; Architecture development

基于 MBSE 的电子电气架构开发与应用研究

杨双义

郑州工业应用技术学院, 中国 · 河南 郑州 475500

摘 要

随着汽车、航空航天、高端装备等领域向“智能化、电动化、网联化”转型,电子电气(EE)架构已从传统“分布式控制”向“域集中中央计算”演进。在此背景下,本文聚焦MBSE与EE架构开发的融合路径,首先梳理MBSE与EE架构的核心理论,随后构建“需求功能逻辑物理”四阶段MBSE开发流程,结合智能汽车EE架构案例验证应用成效,最后分析当前落地挑战并提出对策,旨在为复杂装备EE架构开发提供可复制的MBSE实践方案,推动“文档驱动”向“模型驱动”的转型。

关键词

MBSE; 电子电气; 架构开发

1 引言

基于模型的系统工程(MBSE)以“模型作为单一数据源”为核心,通过图形化建模、多域仿真与全流程追溯,实现系统从需求到设计、验证的一体化管理,为复杂EE架构开发提供了技术范式。国际汽车工程师学会(SAE)在《汽车EE架构开发指南》中明确提出,MBSE可使EE架构开发周期缩短25%~30%,早期设计错误检出率提升40%以上。当前,宝马、特斯拉、空客等企业已将MBSE应用于EE架构开发,例如特斯拉Model3的中央计算EE架构通过MBSE方法实现需求功能硬件的全链路追溯,开发周期较ModelS缩短40%。

【作者简介】杨双义(1987-),男,中国河南开封人,硕士,中级实验师,从事自动化控制研究。

2 MBSE 与 EE 架构开发的融合必要性

MBSE与EE架构开发的融合,本质是通过“模型化”解决EE架构的“复杂度管理”与“全流程协同”问题,其必要性体现在三方面:

2.1 复杂功能的可视化建模

随着EE架构功能模块向“感知-决策-控制-执行”多域耦合发展(如智能汽车多传感器融合需联动激光雷达、域控制器、转向ECU等10+硬件模块,涉及CANFD、以太网等5+通信协议),传统“需求文档+流程图+接口表”模式已失效。例如描述“激光雷达数据传输”时,自然语言“实时传输”未明确10ms或50ms时延阈值,易导致硬件团队按50ms设计通信链路,软件团队按10ms开发算法,引发后期集成冲突;且流程图无法关联波特率、信号ID等接口参数,工程师需在多份文档中交叉查询,效率低下。

MBSE通过SysML、UML等标准化建模语言,构建“用例图-活动图-序列图”多视图模型:用例图明确“自动驾

驶决策”的参与者与核心场景（正常感知、故障冗余）；活动图拆解“目标识别”为“数据采集→噪声过滤→特征提取→目标分类”步骤，标注输入（激光雷达点云数据）、输出（目标位置）及高斯滤波等算法公式；SysML 序列图则以时间轴直观展示“激光雷达每 10ms 发点云数据→域控制器 20ms 内融合→决策 ECU5ms 生成指令→转向 ECU10ms 响应”的时序链，同步标注信号 ID=0x123 等参数与故障切换逻辑。这种建模方式让隐性逻辑显性化，且每个模型元素可追溯至原始需求（如数据采集时延 $\leq 10\text{ms}$ 对应 R-001 条款）。

2.2 多团队的协同开发

EE 架构开发需系统、硬件、软件、测试多团队协同，传统“文档驱动”模式存在三大壁垒：格式上，系统团队用 Word、硬件团队用 CAD、软件团队用 Visio，接口变更需手动同步，易出现“硬件改接口、软件用旧版”的兼容问题；理解上，“总线可靠性 $\geq 99.9\%$ ”需求，硬件关注阻抗匹配、软件关注协议重传、测试关注错误帧注入，缺乏统一标准；版本上，人工标注“V2.1”“V3.0”易导致多团队修改冲突。

MBSE 以“统一模型”为协同载体，通过 Siemens Polarion 等工具定义“需求-功能-逻辑-物理”四层元模型，明确 ECU 模块需关联功能模块与接口参数（如转向 ECU 关联转向控制功能，标注 12V 供电、CANFD 协议）。基于 Teamcenter 云端平台，各团队可实时协同：系统团队完成功能建模后，硬件团队直接查看域控制器“以太网带宽 $\geq 1\text{Gbps}$ ”需求；软件团队基于活动图开发算法，若系统新增“雨天感知补偿”，模型平台自动推送变更通知；测试团队根据用例图生成“断开激光雷达验证冗余”的测试用例，且用例与模型实时联动。

2.3 早期设计的仿真验证

传统 EE 架构开发遵循“设计→试制→验证”线性流程，关键验证需等样件下线，风险后置代价极高。如智能汽车总线设计中，硬件团队凭经验估算负载 70%，但实际多 ECU 并发传输时，峰值负载可能超 80% 安全阈值，此时修改需重新制作 PCB 板，成本超 100 万元，延误 2-3 个月。

MBSE 通过模型与仿真工具集成，实现设计阶段虚拟验证：物理架构设计时，将含 ECU 参数、总线拓扑的 MBSE 模型导入 VectorCANoe，仿真不同工况下总线负载——若自动驾驶模式中激光雷达 10ms 发 1000 字节数据导致负载达 85%，可在模型中拆分数据（200 字节关键数据 10ms 发，800 字节非关键数据 50ms 发），重新仿真负载降至 72%；功能逻辑验证时，将活动图转化为 Matlab/Simulink 模型，如船舶应急供电功能仿真中，可提前发现应急发电机启动超时问题并优化控制算法。

3 基于 MBSE 的 EE 架构开发流程与应用

基于 MBSE 的 EE 架构开发遵循“需求驱动、模型迭代、

仿真验证”的原则，分为需求分析与建模、功能建模、逻辑架构建模、物理架构建模、验证与优化五个阶段，各阶段通过模型追溯形成闭环，具体流程如下：

3.1 阶段 1：需求分析与建模——明确“做什么”

需求是 EE 架构开发的起点，本阶段通过 MBSE 实现需求的结构化、可追溯化管理，核心任务包括需求获取、需求建模与需求验证：

1. 需求获取：通过用户访谈、行业标准（如 ISO26262 功能安全标准）、竞品分析，梳理 EE 架构的三类需求：功能需求：如“支持 L2+ 级自动驾驶，包含 AEB、ACC 功能”；非功能需求：如“总线响应延迟 $\leq 100\text{ms}$ ，硬件 MTBF（平均无故障时间） $\geq 10000\text{h}$ ”；约束需求：如“硬件成本 ≤ 5000 元/车，兼容未来 OTA 升级”。

2. 需求建模：采用 SysML 需求图（Requirement Diagram）与用例图（UseCase Diagram）构建需求模型，以智能汽车 EE 架构为例：用需求图分层管理需求：顶层为“整车 EE 架构需求”，中层为“域控制器需求”（如自动驾驶域、智能座舱域），底层为“ECU 需求”（如感知 ECU 的算力 $\geq 200\text{TOPS}$ ）；用追溯关系（Trace）关联需求与用例：例如“AEB 功能需求”追溯至“用户触发 AEB”用例，确保需求与用户场景一致；输出《需求模型报告》，包含需求清单、追溯矩阵（需求用例功能的映射关系）。

3. 需求验证：通过“需求评审+仿真预验证”确保需求可行性：组织系统、硬件、测试团队开展需求评审，检查需求的完整性（无遗漏）、一致性（无冲突）、可验证性（如“总线响应延迟 $\leq 100\text{ms}$ ”可通过仿真验证）；对关键非功能需求（如总线延迟），用 Matlab/Simulink 搭建简化仿真模型，预验证需求是否可实现，避免后期设计偏离。

3.2 阶段 2：功能建模——拆解“怎么做”

本阶段将需求转化为可执行的功能模块，通过 MBSE 实现功能的可视化分解与交互定义，核心任务包括功能分解、功能流程建模与功能分配：

1. 功能分解：基于需求模型，采用“自顶向下”的分解方法，将顶层功能拆解为子功能，以智能汽车“自动驾驶功能”为例：顶层功能：自动驾驶功能；一级子功能：环境感知、决策规划、控制执行；二级子功能：环境感知包含“激光雷达感知、毫米波雷达感知、摄像头感知”，决策规划包含“路径规划、行为决策”。

2. 功能流程建模：用 SysML 活动图（Activity Diagram）描述功能间的数据流与控制流，例如“AEB 功能流程”：起始节点：传感器（激光雷达+毫米波雷达）采集障碍物数据；活动步骤：感知模块融合数据→决策模块判断碰撞风险→控制模块触发制动；分支条件：若碰撞时间（TTC） $\leq 1.5\text{s}$ ，触发紧急制动；若 $\text{TTC} > 1.5\text{s}$ ，保持正常行驶；

3. 功能分配：将子功能分配至对应的域（如自动驾驶域、车身域），用 SysML 内部块图（Internal Block Diagram）

标记功能归属——例如“激光雷达感知”分配至自动驾驶域，“车窗控制”分配至车身域，为后续逻辑架构建模奠定基础。

3.3 阶段 3：逻辑架构建模——设计“模块与接口”

1. 逻辑模块划分：基于功能分配结果，遵循“高内聚、低耦合”原则划分逻辑模块，以智能汽车 EE 架构为例：自动驾驶域逻辑模块：感知模块、决策模块、控制模块、传感器管理模块；智能座舱域逻辑模块：显示控制模块、语音交互模块、导航模块；用 SysML 块定义图描述模块属性（如感知模块的“数据处理时延 $\leq 50\text{ms}$ ”），确保模块功能与子功能一一对应。

2. 接口定义：明确逻辑模块间的接口类型（数据接口、控制接口）与协议，例如：感知模块→决策模块的接口：数据类型为“障碍物位置、速度”，协议为“以太网 SOME/IP”，传输频率为 10Hz；决策模块→控制模块的接口：控制信号为“制动请求、转向角度”，协议为“CANFD”，传输延迟 $\leq 20\text{ms}$ ；用 SysML 接口图（Interface Diagram）记录接口参数，形成《逻辑模块接口规范》，避免后期硬件与软件接口不匹配。

3. 交互建模：用 SysML 序列图（Sequence Diagram）描述逻辑模块的交互时序，例如“ACC 功能交互”：时序步骤：传感器管理模块→感知模块（发送障碍物数据）→决策模块（发送跟车距离指令）→控制模块（发送油门/制动信号）；标注关键时序指标（如“感知模块→决策模块的传输时延 $\leq 30\text{ms}$ ”），为后续物理架构的总线设计提供依据。

3.4 阶段 4：物理架构建模——落地“硬件与拓扑”

本阶段将逻辑模块映射至具体硬件，设计硬件拓扑与总线网络，核心任务包括硬件选型、拓扑设计与总线仿真：

1. 硬件选型与映射：根据逻辑模块的性能需求（如算力、接口数量），选择对应的硬件（ECU、传感器、总线），并建立“逻辑模块硬件”的映射关系：感知模块→自动驾驶域控制器（算力 $\geq 500\text{TOPS}$ ，支持以太网接口）；显示控制模块→智能座舱域控制器（支持 HDMI2.1 接口，显存 $\geq 4\text{GB}$ ）；用 SysML 物理图（Physical Diagram）展示映射关系，确保硬件性能满足逻辑模块需求（如域控制器算力 $\geq$ 逻辑模块的算力需求 120%，预留扩展空间）。

2. 硬件拓扑设计：设计 ECU、传感器的物理布局与总线拓扑，以智能汽车为例：总线选型：自动驾驶域采用车载以太网（传输速率 1000Mbps），车身域采用 CANFD（传输速率 8Mbps）；拓扑结构：采用“中央网关+域控制器”架构，中央网关连接自动驾驶域、智能座舱域、车身域，实现跨域数据交互；用 Auto CAD Electrical 绘制硬件拓扑图，标注硬件安装位置（如自动驾驶域控制器部署于后备箱）、总线走向（如以太网布线避开高压线束）。

3. 总线仿真验证：用专业工具（如 CANoe、Vector

CANalyzer）仿真总线性能，验证拓扑设计可行性：

总线负载仿真：模拟峰值场景（如自动驾驶域同时传输激光雷达、摄像头数据），计算总线负载，确保峰值负载 $\leq 70\%$ （预留 30% 冗余）；延迟仿真：测试跨域数据传输延迟（如智能座舱域→自动驾驶域的导航数据），确保延迟 $\leq 100\text{ms}$ ；若仿真发现总线负载超标的问题（如某 CANFD 总线负载达 85%），则优化硬件映射（如将部分功能迁移至其他 ECU）或升级总线类型（如将 CANFD 改为以太网）。

3.5 阶段 5：验证与优化——闭环“迭代改进”

本阶段通过“模型仿真+物理测试”验证 EE 架构方案的满足性，形成“验证反馈优化”的闭环，核心任务包括模型验证、物理测试与方案优化：

1. 模型验证：基于 MBSE 工具链开展多维度仿真验证：需求验证：通过模型追溯工具（如 PTC Integrity）检查 EE 架构模型是否覆盖所有需求，需求满足率 $\geq 98\%$ ；功能验证：用 Simulink 仿真逻辑模块功能（如感知模块的障碍物识别准确率），确保功能达标（如准确率 $\geq 95\%$ ）；可靠性验证：用 ANSYS Simplorer 仿真硬件热设计，确保 ECU 工作温度 $\leq 85^\circ\text{C}$ ，避免过热故障。

2. 物理测试：制作 EE 架构原型（如域控制器原型、总线网络原型），开展物理测试：硬件性能测试：测试域控制器的算力、接口稳定性（如连续 72 小时满负荷运行无故障）；总线通信测试：用 CANoe 模拟实车场景，测试总线的抗干扰能力（如在电磁干扰环境下，总线误码率 $\leq 10^{-6}$ ）；功能集成测试：将硬件原型与软件算法集成，测试端到端功能（如 AEB 功能的触发准确率）。

4 结论

MBSE 通过“模型作为单一数据源”，为复杂 EE 架构开发提供了“需求可追溯、设计可视化、验证早期化”的解决方案，其核心价值在于：1）打破信息孤岛，实现需求功能逻辑物理的全链路追溯，减少设计冲突；2）通过多域仿真提前验证方案可行性，降低后期返工成本；3）提升多团队协作效率，缩短开发周期。对于企业而言，落地 MBSE 需从“标准、工具、人才”三方面发力：先建立统一的建模规范，再通过工具链集成打破数据壁垒，最后培养复合型人才，逐步实现从“试点项目”到“全流程推广”的转型，让 MBSE 成为 EE 架构开发的核心竞争力。

参考文献

- [1] 陈江波,罗峰,刘钦,等. 增程式电动汽车电子电气架构研究[J].汽车测试报告,2025,(09):22-24.
- [2] 刘自凯,徐伟,姚昂,等. 汽车电子电气架构的功能架构设计研究[J].汽车电器,2025,(02):90-92.
- [3] 董文亮. 智能网联汽车电子电气架构升级路径研究[J].汽车测试报告,2025,(02):25-27.

Research on Intelligent Warehouse Corruption Early Warning System Based on ESP32

Xin He

Anhui Finance and Trade Vocational College, Hefei, Anhui, 231200, China

Abstract

Aiming at the problem of huge economic losses caused by spoilage and deterioration of Dangshan pear during storage, this study aims to design and implement a low-cost, real-time odor monitoring and early warning system based on Internet of Things technology and artificial intelligence. The system takes ESP32-S3 as the main control chip, integrates five gas sensors including methane, carbon monoxide, volatile organic compounds (VOC), alcohol/odor and formaldehyde, and builds an electronic nose array. Collect sensor data and train the classification models of “good pears” and “corrupt pears”, and deploy the lightweight TensorFlow Lite model on the ESP32 end for real-time edge inference. The system provides local early warnings through display screens and LED lights, and simultaneously uploads data to the Internet of Things cloud platform via the MQTT protocol, offering a real-time data visualization interface. Experimental tests show that the system’s recognition accuracy rate for the rotten state of pear trees reaches 91.3%, and the time consumption for a single inference is less than 700ms. It can achieve data synchronization and real-time monitoring on the local area network and cloud platform. This system provides a non-contact detection solution for the storage of Dangshan pear, featuring low power consumption, high real-time performance and easy deployment. It has broad application prospects in the field of intelligent storage of agricultural products.

Keywords

ESP32, Electronic nose, Edge computing, Odor recognition, The rotten pears, Intelligent warehousing, Internet of Things

基于 ESP32 的智能仓储腐败预警系统研究

何鑫

安徽财贸职业学院, 中国 · 安徽 合肥 231200

摘 要

针对砀山酥梨在仓储过程中因腐败变质导致巨大经济损失的问题,本研究旨在设计并实现一种基于物联网技术与人工智能的低成本、实时气味监测预警系统。系统以ESP32-S3为主控芯片,集成甲烷、一氧化碳、挥发性有机物VOC、酒精/臭味及甲醛五种气体传感器,构建电子鼻阵列。采集传感器数据并训练“好梨”与“腐败梨”的分类模型,将轻量化TensorFlow Lite模型部署于ESP32端进行实时边缘推理。系统通过显示屏与LED灯提供本地预警,同时将数据通过MQTT协议上传至物联网云平台,提供实时数据可视化界面。实验测试表明,系统对酥梨腐败状态的识别准确率达91.3%,单次推理耗时小于700ms,能够在局域网和云平台实现数据同步与实时监控。本系统为砀山酥梨仓储提供了一种非接触式检测方案,具备低功耗、高实时性、易于部署的特点,在农产品智能仓储领域具有广阔的应用前景。

关键词

ESP32; 电子鼻; 边缘计算; 气味识别; 酥梨腐败; 智能仓储; 物联网

1 引言

砀山酥梨作为中国国家地理标志产品,是安徽省砀山县的支柱性农业产业,其种植与销售直接影响当地经济发展与农民收入。然而,酥梨属于呼吸跃变型果实,采后贮藏过程中极易因微生物侵染、自身代谢等因素导致腐败变质,产生乙醇、乙烯、醛类、酮类及酯类等挥发性有机物(VOCs)^[1]。据初步统计,仅在砀山地区,每年因仓储腐烂导致的酥梨损

失就高达数亿元人民币。传统的仓储监测主要依赖于人工巡检和经验判断,通过观察果皮颜色、触摸果实软硬程度及嗅闻异常气味等方式进行,这种方式不仅主观性强、效率低下,而且无法实现早期预警,往往发现时腐败已扩散,造成不可逆的经济损失。

随着物联网(IoT)和人工智能(AI)技术的发展,智能农业已成为解决传统农业痛点的新范式。在果实保鲜监测领域,电子鼻(E-Nose)技术作为一种模拟生物嗅觉系统的气体分析工具,通过传感器阵列对挥发性成分进行非破坏性检测,并结合模式识别算法对气味进行定性或定量分析,展现出巨大潜力^[2]。加德纳等人早在上世纪九十年代便阐述了电

【作者简介】何鑫(1997-),男,硕士,助教,从事电子信息工程技术研究。

子鼻的基本原理与应用前景^[3]。近年来,已有研究将电子鼻应用于苹果、香蕉、猕猴桃等水果的成熟度与腐败度检测^[4-5],但针对砀山酥梨这一特定品类,且专注于解决其大规模仓储场景下实时、在线监测的研究仍相对匮乏。

现有的商业化气体监测设备多存在价格昂贵、体积庞大、需专业操作、依赖云端计算(导致响应延迟)等问题,难以在广大农村地区的梨窖、库房中大规模普及应用。

因此,本研究立足于上述实际需求与技术缺口,设计并实现了一套基于 ESP32 主控与多传感器数据融合的砀山酥梨智能仓储腐败预警系统。本研究的核心内容与创新点在于:

1. 低成本硬件集成: 选用高性价比的商用金属氧化物半导体 (MOS) 气体传感器构建阵列, 覆盖酥梨腐败的关键标志性气体。

2. 边缘智能实现: 利用 Edge Impulse 平台完成数据采集、训练与模型部署, 将 AI 推理过程完全放在 ESP32 微控制器上执行, 实现了真正的边缘侧实时响应, 降低了对网络连接的依赖。

3. 多模态预警机制: 结合本地 LED 灯、LCD 显示屏、本地 Web 界面和远程云平台 (App) 四种方式提供分级预警, 满足不同场景下的监控需求。

4. 系统化解决方案: 提供了一个从传感层、网络层到应用层的完整物联网系统原型, 为后续产业化应用奠定了技术基础。

本研究旨在通过一个切实可行的原型系统, 验证基于边缘 AI 的电子鼻技术在酥梨仓储监测中的可行性, 为降低农产品产后损失、推动智慧农业发展提供一种新的技术手段。

2 系统设计与研究内容

本章将详细阐述整个系统的总体架构、硬件选型与设计、软件算法以及系统工作流程。

2.1 系统总体架构

本系统采用物联网典型的三层架构: 感知层、网络层和应用层。

感知层: 由 ESP32-S3 主控模块和多种气体传感器组成的数据采集终端, 负责采集仓储环境中的气体数据并进行初步的预处理和边缘 AI 计算。

网络层: 利用 ESP32 内置的 Wi-Fi 模块, 将感知层处理后的状态信息和原始数据通过 MQTT 协议上传至阿里云物联网平台, 同时内置 Web 服务器, 允许在局域网内通过 HTTP 协议访问。

应用层: 包括本地的 LCD 显示屏与 RGB LED 指示灯、局域网内的 Web 可视化界面以及远程的阿里云平台及手机 App, 为用户提供多维度的数据展示和预警服务。

2.2 硬件设计与选型

系统的硬件核心是 ESP32-S3 开发板, 其选择基于

以下考量: 双核 Xtensa® 32 位 LX7 处理器, 主频高达 240MHz, 提供足够的计算能力进行边缘 AI 推理; 内置 8MB PSRAM, 可满足相对复杂的机器学习模型运行需求; 集成 2.4GHz Wi-Fi 和蓝牙 5.0, 提供灵活的通信方式; 丰富的 GPIO 和外设接口 (ADC、I2C 等), 便于连接多种传感器和外设。

传感器阵列是系统的“嗅觉”器官, 其选型直接决定系统的检测性能。根据前期文献调研与预实验, 砀山酥梨腐败过程中会产生乙醇、乙烯、甲烷、醛类、酮类及少量一氧化碳等 VOCs。因此, 我们选用了以下五种传感器构成阵列:

MQ-4 传感器: 对甲烷 (CH₄) 具有高灵敏度, 也可检测其他烷类气体。

MQ-9 传感器: 对一氧化碳 (CO) 敏感, 也可检测甲烷和 LPG, 作为交叉验证的补充。

MQ-135 传感器: 对苯、氨氮、硫化物、油烟等 VOC 气体有良好的灵敏度, 覆盖范围广。

MQ-3 传感器: 对酒精 (乙醇) 具有极高的灵敏度, 是检测果实无氧呼吸产生的乙醇的关键传感器。

ZE08-CH₂O 传感器: 专门用于检测甲醛 (HCHO), 采用串口输出, 数字化程度高, 精度较好。

所有传感器均通过 ESP32 的模拟输入引脚或串口进行数据采集。为提供人机交互接口, 系统配备了:

LCD1602 显示屏 (I2C 接口): 用于实时显示当前 AI 判断结果 (如 “Good” 或 “Spoiled”) 及模型置信度。

RGB LED 灯: 用于提供直观的颜色预警 (绿色代表正常, 红色代表腐败)。

硬件连接采用面包板和杜邦线搭建原型, 布局规整, 电源引脚与信号引脚分区布置, 采用 AMS1117 稳压模块为系统提供稳定的 3.3V 和 5V 电压, 确保各模块工作稳定, 无过载风险。

2.3 软件与算法设计

系统的软件部分是实现智能化的关键, 主要包括数据采集、模型训练与部署、通信与可视化三大部分。

2.3.1 数据采集与预处理

首先, 需要采集足够的数据用于训练分类模型。我们使用 Edge Impulse 平台的数据转发器 (Data Forwarder) 工具, 将 ESP32 通过串口连接的传感器原始数据 (模拟电压值或数字浓度值) 实时上传至 Edge Impulse 云端项目。在采集过程中, 分别对新鲜酥梨和人为诱导腐败的酥梨 (刺伤处理) 样本进行长时间监测, 录制多段数据, 并精确标注每段数据对应的状态 (“Good” 或 “Spoiled”)。

原始数据需进行预处理以提升模型性能。预处理步骤包括:

1. 滑动窗口分割: 将连续的时序数据流分割成固定长度 (如 60 秒) 的窗口。

2. 特征提取: 对每个窗口内的数据计算时域和频域特

征。Edge Impulse 平台自动计算如均值、标准差、均方根、频谱能量等特征。

3. 数据增强：通过添加噪声、轻微时间偏移等方式扩充数据集，提升模型鲁棒性。

2.3.2 AI 模型训练与部署

在 Edge Impulse 中，我们选择“分类”学习模块，输入区块为经过预处理的传感器数据窗口。神经网络 classifier 采用全连接神经网络（DNN）结构，输入层为提取的特征向量，经过若干隐藏层（如 2 层，每层 20 个神经元），最终通过“Softmax”输出层得到两个类别的概率分布。

模型训练完成后，平台会生成详细的性能报告，包括准确率、混淆矩阵等。确认模型满足要求后，使用 Edge Impulse 提供的“部署”功能，选择“TensorFlow Lite for microcontrollers”格式，将模型下载为一个 C++ 库文件（包含一个 .h 头文件）。将该库文件集成到 ESP32 的 Arduino 项目中，即可在设备端调用“run_classifier()”函数进行实时推理。

2.3.3 系统工作流程与通信

系统上电后的工作流程如下：

- 1. 初始化：初始化各传感器、LCD、LED、Wi-Fi 连接和 Web 服务器。
- 2. 数据采集循环：
 - a. 读取所有传感器的原始值。
 - b. 将数据填入 Edge Impulse 模型所需的输入张量中。
 - c. 调用模型进行推理，获取“Good”和“Spoiled”的置信度分数。
 - d. 根据置信度更高的类别判断当前状态。
- 3. 本地预警：将判断结果和置信度显示在 LCD 上，同时控制 RGB LED 显示相应颜色（绿 / 红）。
- 4. 数据上传与服务：

a.Web 服务器：ESP32 内置一个异步 Web 服务器，提供一个 RESTful API 端点（如 '/status'）。当客户端（浏览器）通过 AJAX 轮询该端点时，服务器返回一个 JSON 对象，包含所有传感器读数、AI 判断结果和置信度。前端页面解析 JSON 并动态更新显示。

b. 云平台传输：通过 PubSubClient 库连接至阿里云物联网平台指定的 MQTT Topic，以一定时间间隔将监测数据（如传感器值、状态标志）发布到云端。用户可通过阿里云官方 App 或自定义 App 订阅这些 Topic，实现远程监控。

这种设计使得系统即使在外网中断的情况下，也能依靠本地边缘计算和局域网 Web 服务维持核心的监测预警功能，保证了系统的可靠性。

3 实验与结果分析

为验证本系统的可行性与有效性，我们在实验室环境下设计了测试方案，并对系统的各项功能与性能指标进行了全面评估。

3.1 实验

样本准备：选取大小、成熟度一致的砀山酥梨若干，分为三组：

- A 组（正常组）：完好无损的新鲜酥梨，置于密闭容器中。
 - B 组（腐败组）：用无菌刀片在酥梨表面制造微小划伤以加速腐败，置于另一密闭容器中。
 - C 组（对照组）：空容器，用于监测环境本底气体浓度。
- 将系统的主控板和传感器阵列分别放入 A、B 两组容器中，进行长时间连续数据采集。
- 测试环境：实验室常温环境（约 25° C）。

3.2 功能测试与性能评估

我们依据设计目标中的性能指标逐项进行了测试，结果如下表 1 所示：

表 1 系统功能与性能测试结果

测试项目	设计目标	测试方法与结果
气体数据采集	稳定读取 5 种传感器数据，范围 0-4095（模拟）	使用 Arduino IDE 串口绘图器监控，数据流平稳，响应环境变化灵敏，预热后无异常跳变。
AI 模型推理准确率	> 90%	使用预留的测试集数据（未参与训练）进行验证，模型准确率达到 91.3%（混淆矩阵显示：Good 识别率 92%，Spoiled 识别率 90%）。
AI 推理延迟	< 1 秒	使用 millis() 函数测量 run_classifier() 执行时间，平均耗时 580ms，最大耗时 700ms。
LED 响应	状态切换及时，颜色指示正确	人工改变环境气体，LED 状态切换延迟 < 200ms，颜色指示清晰明确。
LCD 显示	实时更新结果与置信度，清晰无乱码	显示内容每秒刷新，在不同光照条件下可读性良好，无闪烁或乱码现象。
Web 界面	局域网内可访问，数据刷新一致	在 PC 和手机浏览器访问设备 IP，页面每秒自动刷新，数据与 LCD 显示完全同步，平均响应延迟 65ms。
阿里云平台连接	数据稳定上传，App 端可实时查看	连续运行 12 小时，MQTT 连接保持稳定，数据包无一丢失。在阿里云物联网管理平台和 App 端可实时观察到数据变化和状态报警。
系统稳定性	持续运行 12 小时无重启、无故障	长时间压力测试，系统无死机、重启或内存溢出等问题。

3.3 结果分析

测试结果表明,本研究设计的系统成功实现了所有预设功能,且关键性能指标均达到或超过了预期目标。

4 结语

综上所述,本研究不仅为砀山酥梨的保鲜提供了一种创新性的技术手段,其系统架构和方法学也具有很强的通用性,经过适当调整后可广泛应用于其他果蔬、粮食乃至中药材的智能仓储管理,在推动农业现代化、助力乡村振兴方面具有巨大的潜在价值。

参考文献

- [1] 何玉燕,吕元芳,韩敬义. 电子鼻在果蔬贮藏保鲜中应用的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(18): 305-312.
- [2] 王霞,杨玲,王晓燕,等. 电子鼻和电子舌在水果检测中的应用进展[J]. 食品科学, 2019, 40(6): 298-304.
- [3] Gardner J W, Bartlett P N. A brief history of electronic noses[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 1994, 18(1-3): 210-211.
- [4] 张建华,孔汶汶,姬长英. 基于电子鼻的水蜜桃成熟度评价研究[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 345-349.
- [5] 李宇,郭志明,陈全胜,等. 基于电子鼻技术的苹果霉心病无损检测[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 270-276.

Empowering the practice of digital enterprise standard system construction with data flow diagram

Yun Deng Juan Fu Yongyang Xiao Chunhua Zou

Guizhou Tobacco Company Bijie City Company, Bijie, Guizhou, 551700, China

Abstract

This paper examines the relationship between data flow diagrams (DFDs) and enterprise standard system development, clarifying related concepts. It analyzes the current status and challenges of digital empowerment in tobacco commercial enterprises regarding standard system construction. From the perspective of enhancing process visualization, the study demonstrates the potential advantages of applying DFDs in standard system development. The paper outlines implementation mechanisms and methodologies for DFD applications in tobacco commercial enterprises' standard systems through seven key aspects: defining system boundaries, identifying external entities, recognizing data flows, mapping processing procedures, determining data storage requirements, organizing and visualizing DFDs, and conducting reviews and validations. Finally, it addresses risks encountered during DFD implementation and proposes corresponding mitigation strategies.

Keywords

data flow chart; empowerment; digitization; enterprise standard system construction; practice

以数据流图赋能数字化企业标准体系建设实践

邓赟 付娟 肖咏阳 邹春花

贵州省烟草公司毕节市公司, 中国 · 贵州 毕节 551700

摘 要

本文简述了数据流图和企业标准体系建设的关系及相关概念, 剖析了烟草商业企业数字化赋能企业标准体系建设现状及面临的挑战, 从提升流程可视化的视角说明了数据流图应用于企业标准体系建设的潜在优势, 并从确定系统边界、识别外部实体、识别数据流、识别处理过程、识别数据存储、组织和绘制数据流图、审查和验证七个方面给出了数据流图在烟草商业企业标准体系建设中的应用机制与方法, 最后列举了数据流图应用过程中的风险及其应对措施。

关键词

数据流程图; 赋能; 数字化; 企业标准体系建设; 实践

1 引言

企业标准体系作为企业标准化建设的重要基础, 旨在通过企业标准化知识管理、企业标准的制修订、企业标准实施、企业标准执行情况的监督检查、企业标准化工作的自我评价、标准化工作持续改进, 确保企业标准化工作高效、有序开展。在数字化时代, 企业标准体系建设不仅是提高工作效率、降低运营成本的重要手段, 更是实现企业数字化转型的关键支撑。企业标准管理流程和数据格式能够为数字化技术的应用提供坚实基础, 使得企业能够更有效地整合和利用

内外部资源, 提升企业标准体系的运行效率和管理水平。本文透过企业数字化企业标准体系现状及面临的挑战, 提出了以数据流图赋能数字化企业标准体系建设实践的机制与方法。

2 文献研究

数据流图 (Data Flow Diagram, DFD) 是一种用于描述系统中数据流动和处理过程的图形化工具。它以直观的图形方式展示了数据在系统中的输入、输出、存储以及加工处理的全过程, 是系统分析和设计阶段的重要工具之一, 能够帮助企业全面、深入地理解业务流程的内在逻辑和数据流转机制。

数据流图在数字化应用中得到了广泛的研究, 刘云浩, 杨启凡, 李振华 (2019)^[1] 他们深入探讨了从代码逻辑到数据流图的演变过程, 为人们进一步理解数据流图的发展历程提供了有力依据。这一研究有助于开发者更好地把握

【基金项目】贵州省烟草公司毕节市公司科技项目《数字化赋能的企业管理模式研究与应用》(项目编号: 2024XM14)。

【作者简介】邓赟, 男, 中国贵州毕节人, 硕士, 工程师, 从事企业管理研究。

代码与数据流图之间的关系,从而在软件开发过程中更高效地运用数据流图进行系统设计和分析。张智钧(2021)^[2]采用两层图卷积神经网络(Graph Convolution Networks, GCN)模型,优化了数据流图划分效果,成功缩短了系统任务运行时间,这为说明数据流图在数字化应用中的优化效果提供了实例;王雷,崔璨,张帅(2022)^[3]详细描述了基于 Petri 网的数据流图描述规则,这为作者对数据流图的具体描述规则有更深入的了解;鲁法明,江婷婷,包云霞,等(2023)^[4]研究了在传统数据流图的基础上融入 API 调用的时序信息,提出恶意软件时序对偶数据流图的概念,并给出模型挖掘方法,展示了数据流图在不同领域的发展潜力。

3 企业数字化赋能企业标准体系建设现状剖析

一些企业在企业标准化建设上仍然采用传统的方法,数字化赋能要求所占比重较轻,部分企业仅仅把数字化技术视为一种工具,而未能将其与企业的高质量发展战略深度融合,这导致企业在实施数字化转型时,往往只是简单地引入一些数字化工具和系统,而无法真正发挥数字化技术的优势,实现标准化建设的全面提升;还有部分企业在数字化转型过程中,面临着技术和人才短缺的困境。数字化技术的快速发展和更新换代,要求企业具备一支高素质的技术人才队伍,能够熟练掌握和应用各种数字化技术。然而,现实中许多企业缺乏这样的人才,导致在数字化转型过程中遇到技术难题时无法及时解决,影响了数字化赋能的企业标准体系建设的进程;企业内部各部门之间的信息孤岛现象仍然存在。由于不同部门使用的信息系统和数据标准不一致,导致数据无法在企业内部自由流通和共享,形成了信息孤岛,这不仅影响了企业的协同效率,也制约了数字化技术在企业标准化体系建设中的应用效果。

4 企业数字化赋能企业标准体系建设面临的挑战

从技术层面来看,技术更新换代迅速是企业面临的一大难题。随着云计算、大数据、人工智能、物联网等新兴技术的不断涌现和快速发展,企业需要不断更新和升级自身的技术设施,以适应数字化转型的需求。然而,技术的快速更迭使得企业在技术选型、系统集成和维护方面面临巨大压力;数据安全与隐私保护问题也日益凸显。在数字化时代,数据已成为企业的核心资产,然而,随着企业数据量的不断增长和数据共享的日益频繁,数据安全和隐私保护面临着严峻挑战。黑客攻击、数据泄露、非法获取和滥用数据等事件时有发生,给企业带来了巨大的经济损失和声誉损害;系统集成难度较大也是企业面临的技术挑战之一。企业在数字化转型过程中,往往需要整合多个不同的信息系统,如办公自

动化系统(OA)、财务管理系统、人力资源管理系统、营销管理系统、生产经营管理系统等。这些系统可能由不同的供应商提供,采用不同的技术架构和数据标准,导致系统集成难度较大,在系统集成过程中,企业可能会遇到数据格式不兼容、接口不匹配、数据传输不稳定等问题,影响系统的正常运行和数据的共享;从管理层面分析,组织架构与企业标准体系管理流程的适应性问题较为突出。传统企业的组织架构往往是层级式的,业务流程繁琐,部门之间沟通协作不畅,难以适应数字化时代快速变化的管理需求。

5 数据流图应用于企业标准体系建设的潜在优势

在提升流程可视化方面,数据流图能够将企业标准体系管理流程以直观、清晰的图形形式呈现出来,打破了传统文字描述的局限性。通过数据流图,企业可以清晰地看到数据在各个业务环节之间的流动路径、处理过程以及与外部实体的交互关系,使业务流程一目了然。图1给出了企业标准制(修)订过程DFD。

在优化数据管理方面,数据流图有助于企业建立统一的数据标准和规范。在数字化时代,数据的一致性和准确性是企业标准体系建设的关键。通过分析数据流图,企业可以明确各个业务环节对数据的需求和处理方式,从而制定统一的数据格式、编码规则和数据质量标准。利用数据流图,企业可以梳理出企业标准体系建设各环节的流动过程,确定统一的数据标准,确保数据在整个管理过程中的准确传递和共享,提高数据的可用性和价值。

在实现数据的高效整合和共享方面,数据流图可以清晰地展示不同系统之间的数据交互关系,为企业整合数据提供了依据。通过建立数据共享平台,按照数据流图所确定的数据流向和接口规范,实现各个系统之间的数据互联互通,打破信息孤岛,提高企业整体的数据处理能力和决策效率。

在增强沟通协作方面,数据流图为企业内部不同部门之间的沟通提供了统一的语言和框架。不同部门的人员由于专业背景和工作职责的差异,对企业标准体系建设流程的理解可能存在偏差,导致沟通不畅和协作困难。数据流图以其直观、易懂的特点,能够帮助各部门人员快速达成对业务流程的共识,明确各自在流程中的职责和任务,以及与其他部门的协作关系。

在促进持续改进方面,数据流图为企业提供了持续优化企业标准体系管理流程的依据。随着市场环境的变化和企业自身的发展,企业的企业标准体系管理流程需要不断调整和优化。数据流图能够记录企业业务流程的现状和演变过程,通过对不同时期数据流图的对比分析,企业可以评估业务流程优化的效果,发现新的问题和改进机会,推动企业标准体系建设的持续完善。

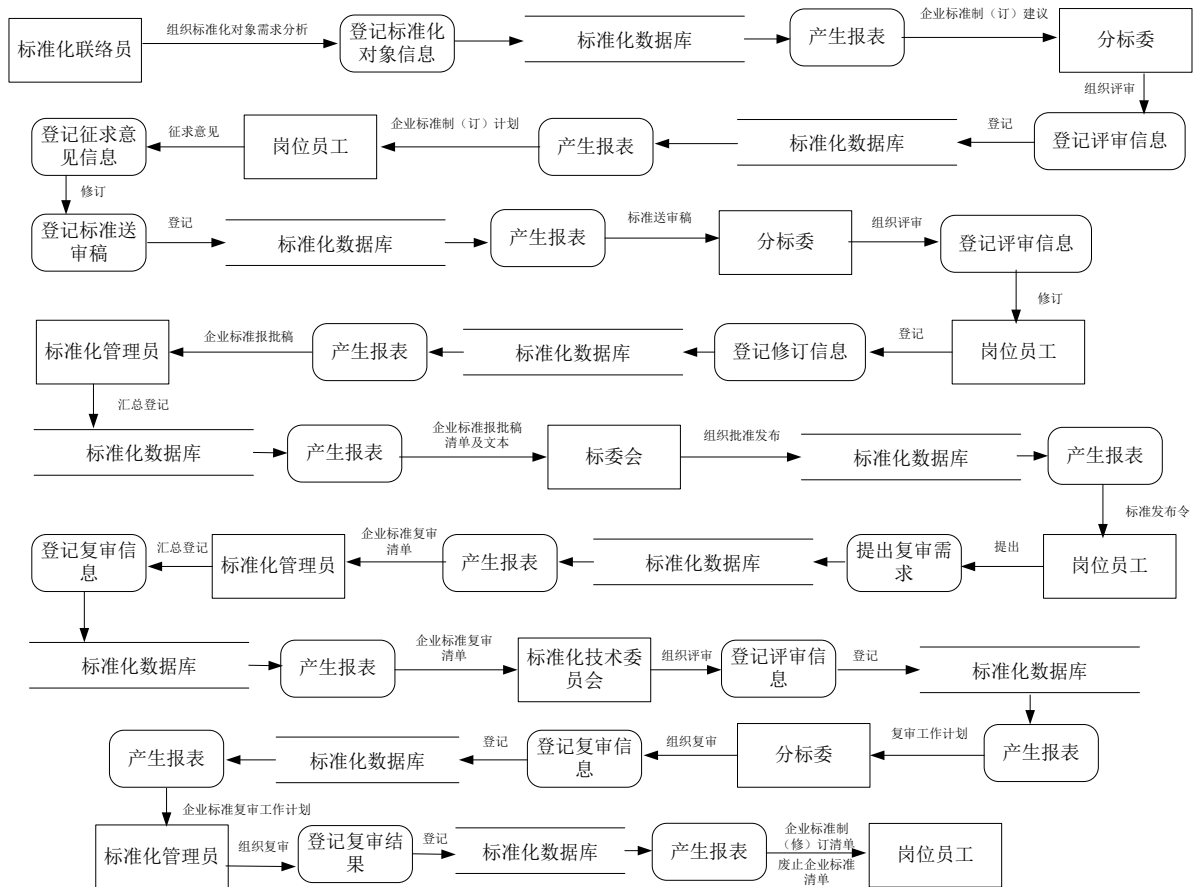


图 1 企业标准制（修）订过程 DFD

6 数据流图在企业标准体系建设中的应用机制与方法

数据流图主要由四种基本要素构成。数据流表示数据在系统中的移动方向，用箭头表示，箭头旁边标注数据流的名称。数据流可以是具体的文件、记录，也可以是抽象的数据项，它反映了数据在不同处理过程和数据存储之间的传递路径（如图 1 所示）。

6.1 确定系统边界

明确所构建数据流图的系统范围（如图 1 所示的范围为企业标准制（修）订过程），清晰界定哪些元素属于系统内部，哪些属于外部环境。这需要与企业各部门进行充分沟通，全面了解业务流程的起点和终点，以及与外部实体的交互情况。确定系统边界时，要考虑业务的完整性和独立性，避免边界模糊导致数据流图的混乱和不准确。

6.2 识别外部实体

找出与系统有数据交互的外部对象，这些对象可以是用户、其他系统、合作伙伴等。每个外部实体都代表着数据的来源或去向，对于理解系统的输入输出关系至关重要。准确识别外部实体，有助于清晰展示系统与外部环境的交互关系，为后续的数据流分析奠定基础。

6.3 识别数据流

确定数据在系统内外部流动的路径和方向，用带箭头

的线条表示数据流，并为每条数据流命名，使其能够准确反映数据的内容和含义。在识别数据流时，要详细分析业务流程中各个环节的数据传递情况，确保不遗漏重要的数据流动。

6.4 识别处理过程

明确系统对数据进行加工、转换的操作环节，每个处理过程都用一个圆角矩形或椭圆形表示，并赋予唯一的编号和名称，名称应能够准确描述该处理过程的功能。处理过程是数据流图的核心部分，它反映了业务流程中的关键操作和决策点。

6.5 识别数据存储

找出系统中用于存储数据的地方，如数据库、文件系统等，用双横线表示数据存储，并标注其名称。数据存储是数据的持久化载体，它记录了业务流程中的关键数据，为后续的处理和分析提供支持。

6.6 组织和绘制数据流图

根据前面识别出的外部实体、数据流、处理过程和数据存储，按照一定的布局规则将它们绘制在图上，确保各元素之间的关系清晰、直观。一般来说，将外部实体放在图的边缘，处理过程放在中间，数据流用箭头连接各个元素，数据存储根据与处理过程的关系合理放置。在绘制过程中，要注意图形的整洁和美观，避免线条交叉和混乱，以提高数据

流图的可读性。

6.7 审查和验证

完成数据流图的初步绘制后,需要与企业的业务人员、技术人员等相关利益者进行审查和验证。检查数据流图是否准确反映了业务流程,各元素的命名是否合理,数据流的方向和逻辑是否正确等。通过审查和验证,可以及时发现并纠正数据流图中的错误和遗漏,确保其准确性和可靠性。

7 结语

在构建数据流图的过程中,有几个要点需要特别注意。一是数据流图的命名要准确、清晰,能够准确反映元素的含义和功能,避免使用模糊或容易引起歧义的名称。二是要确保数据流的完整性和准确性,不遗漏重要的数据流动路径,同时保证数据流的方向和数据内容的一致性。三是注意数据流图的层次结构,对于复杂的系统,应采用分层绘制的方式,

从顶层数据流图逐步细化到底层数据流图,使不同层次的人员都能从数据流图中获取到所需的信息。四是保持父图与子图的平衡,即父图中某个处理过程的输入输出数据流应与子图中该处理过程细化后的输入输出数据流一致,确保在分层细化过程中数据的一致性和完整性^[4]。

参考文献

- [1] 刘云浩,杨启凡,李振华.云计算应用服务开发环境:从代码逻辑到数据流图[J].中国科学F辑, 2019, 049(009):1119-1137.
- [2] 张智钧.基于图神经网络的数据流图划分策略研究[D].华中科技大学,2021.
- [3] 王雷,崔璨,张帅.数据流图的一种形式化描述与检测方法[J].电脑编程技巧与维护, 2022(003):000.
- [4] 鲁法明,江婷婷,包云霞,等.恶意软件的时序对偶数据流图挖掘及其检测方法[J].计算机应用研究,2023, 40(6):1829-1836.

Research on the optimization and security protection of non-inductive payment technology of highway toll collection system

Wang Junhui

Guangdong Hualu Transportation Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510420, China

Abstract

With the deepening of the transportation power strategy and the acceleration of the integrated development of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, the expressway toll collection system is gradually moving from the traditional manual and ETC methods to the “non-inductive payment” model. As an important support for smart transportation, non-inductive payment technology has multiple advantages such as improving traffic efficiency, reducing congestion, and improving user experience. This paper focuses on the current situation of non-inductive payment technology of highway toll toll electromechanical system in Guangdong, focuses on the optimization path and security protection mechanism, and puts forward specific improvement measures from the aspects of system architecture, data processing, network communication and information security, in order to provide technical support and theoretical reference for the construction of smart highway.

Keywords

highway; non-inductive payment; electromechanical systems; Technology optimization; information security

高速公路收费系统无感支付技术优化与安全防护研究

王俊会

广东华路交通科技有限公司, 中国 · 广东 广州 510420

摘 要

随着交通强国战略深入推进及粤港澳大湾区一体化发展的加快, 高速公路收费系统正从传统人工与ETC方式逐步迈向“无感支付”模式。无感支付技术作为智慧交通的重要支撑, 具有提升通行效率、减少拥堵、改善用户体验等多重优势。本文围绕广东地区高速公路收费机电系统的无感支付技术现状, 重点分析其优化路径和安全防护机制, 从系统架构、数据处理、网络通信和信息安全等方面提出具体改进措施, 以期智慧高速建设提供技术支撑与理论参考。

关键词

高速公路; 无感支付; 机电系统; 技术优化; 信息安全

1 引言

广东省身为全国高速公路最为发达的地区之一, 面临着较大的交通通行压力, 这就对收费系统的智能化以及便捷化提出了更高的要求。传统的 ETC 系统在通行效率方面相较于人工收费确实有优势, 然而其仍然存在识别精度不够高、支付环节存在耦合现象、设备故障率偏高等问题。无感支付技术是以“车牌识别 + 云端结算”作为核心路径的, 它可达成车辆秒级通行的效果, 逐渐变成收费系统发展的一个关键方向。本文从无感支付的关键技术着手, 剖析其在广东高速公路机电系统中的落地应用, 同时剖析存在的安全隐患并给出防护建议, 以此为全面达成“智慧交通”目标给予参考。

【作者简介】王俊会(1991-), 男, 中国河南平舆人, 硕士, 工程师, 从事道路与桥梁研究。

2 无感支付技术在高速公路机电系统中的应用现状

2.1 无感支付系统架构概述

当下广东地区重点推行的无感支付技术是基于一种系统模式, 该模式融合了车牌识别、云计算以及移动支付。此技术主要由三个部分组成, 分别是前端图像采集部分、边缘计算单元以及云端支付平台, 前端会部署高清摄像头以及感应触发设备, 借助深度学习算法来实现车牌和车型的识别。中间层运用边缘计算技术对数据展开初步处理, 最终由云端完成支付逻辑的匹配以及账单的生成, 用户借助 APP 达成自动扣费。

2.2 现有系统存在的主要问题

2.2.1 识别精度受限

在实际应用中, 车牌识别系统大多时候会遭遇多种复

杂环境因素带来的干扰,对其识别准确率产生影响。其中夜间光线不足属于一个典型问题,由于照明条件欠佳,摄像头采集到的图像质量比较低,车牌上的字符有可能模糊不清,致使识别算法难以准确提取信息。在这种情形下,车辆通行效率出现明显下降,系统响应变得迟缓,甚至需要人工进行干预。

恶劣天气同样会对车牌识别系统造成影响,比如大雨、大雪以及雾霾等天气会致使图像中出现反光、遮挡或者噪点,对车牌定位与识别过程形成干扰。另外,部分车辆存在车牌污损、老化或者故意遮挡等情况,导致系统难以获取完整且有效的车牌数据。这些因素影响车辆正常通行,还可能引发支付误扣、计费错误等问题,使得用户满意度降低。

2.2.2 数据流转效率低

在智能交通系统中,摄像头和服务器之间的通信效率对于整个识别以及支付流程有着十分关键的作用。不过在实际运用的时候,由于网络带宽受到限制、数据传输协议不太稳定或者通信架构不太合理等因素,摄像头和后端服务器之间大多时候会出现通信瓶颈^[1]。这样的瓶颈延长了图像数据上传所花费的时间,还会致使识别结果的反馈出现延迟状况。

在车流量比较大或者处于高峰时段时,多个摄像头同时上传数据,会加重网络拥堵,使得云端识别系统响应不够及时。在云端开展车牌识别以及支付处理的进程中,若延时时间过长,将会直接对车辆的通行效率以及用户的支付体验造成影响,一旦用户等待的时间超过了心理预期,就有可能引发投诉甚至逃费行为,严重的情况下还可能会影响到整个系统的稳定运行。

2.2.3 系统兼容性差

当下在部分高速公路或者城市出入口处,依旧存在运用混合收费模式的情形(ETC和人工/现金收费同时存在),这样的过渡性方案在一定程度上保障了不同用户的通行需求,不过也给予了新旧系统衔接方面的许多险阻。由于技术标准、设备接口以及运行机制存在差异,两套系统难以达成无缝融合,运行期间大多时候出现识别冲突、结算混乱等问题。

为了兼容不同的收费方式,部分车道不得不配置多套识别设备、摄像头以及支付终端,造成设备资源的重复建设以及投资浪费。一些旧设备已经难以契合智能化管控的要求,然而又没办法及时淘汰,形成运行与维护方面的负担,影响整体管理效率。

3 无感支付技术优化路径研究

3.1 图像识别与感知技术优化

为了有效提高车牌识别系统在复杂环境中的准确率以及响应效率,需从图像处理和识别算法这两个核心环节着手来优化系统。可以引入多模态感知系统,借助融合红外热成

像、毫米波雷达等多种传感器技术,达成对不同环境状况下目标车辆更稳定的感知。在夜间、雨雾天气等低能见度场景中,多模态感知可弥补单一视觉信号的欠缺,提高识别系统的鲁棒性以及环境适应能力。

应当依据区域特征构建本地化训练模型。以广东地区为例,该地区车辆种类丰富、车牌样式繁杂、道路场景有独特之处,要结合本地车牌颜色、字体差异、常见车型轮廓以及典型背景环境等因素,建立有区域针对性的训练样本库。依靠本地化模型训练,识别算法可更精准地适配实际运行环境,提升识别准确率。建议在系统架构中推行边缘智能部署,把部分图像识别与异常判断能力下放到摄像头前端的边缘设备上,可实现快速数据处理与初步筛选,大量减少云端压力。边缘端的实时响应能力还可以切实提高整体系统的运行速度和稳定性,为智慧交通场景下的高效通行和精确计费提供有力技术支撑。

3.2 网络通信与支付通道优化

为了全面提高智慧交通系统的支付效率以及用户体验,需要从通信基础设施、支付系统整合以及信息推送机制等多个方面进行系统性的优化。在通信协议和网络带宽这两方面,引入5G通信技术是一项关键举措。和传统4G网络相比,5G有着更高的传输速率以及更低的时延,可有效缩短车牌识别结果上传以及支付请求的反馈时间,提升整个系统的实时响应能力,契合高车流量场景下的快速处理需求。

为了提高支付系统的灵活性以及适配能力,需要推动多渠道支付系统的深度融合。在现有的ETC支付方式基础上,支持微信、支付宝、银行卡直连、车载钱包等多种支付手段,达成全链路的无感支付^[2]。这样的多元化支付体系可适配不同用户的使用偏好,还为后续推广智能出行、车路协同等应用场景打下基础。在用户服务层面,要重点优化账单推送机制,凭借构建“事件驱动+智能提醒”模型,系统可在关键节点自动触发账单生成并推送,结合用户行为特征智能调整通知方式和时间,保证账单信息及时送达并确认,提升用户满意度以及系统透明度,为智慧出行的推广提供良好的体验保障。

3.3 系统架构与平台融合优化

推动智慧高速收费系统高效运行以及可持续发展,要从标准统一、架构优化以及智能运维等方面着手进行系统性建设。要加快统一数据标准以及接口协议的进程,当下高速公路运营企业、交通管理部门以及第三方服务商之间存在接口不统一、数据格式不兼容等状况,影响系统间的协同效率。通过整合各方数据接口,制定统一的数据交互标准以及开放协议,可打通信息壁垒,还可构建规范、高效、可扩展的智慧交通平台,

在系统架构方面,要构建开放式云边协同架构,达成高速路段前端设备、收费站中继系统与后端云平台之间的数据同步以及智能协同决策。通过边缘节点的预处理与智能

判断,可减少数据回传压力与通信延迟,提升全链路运行效率。云端集中管控能力可支持大规模场景的统一管理与策略部署,建议全面接入智能维护与远程监控系统。借助部署集成化的运维管理平台,实现对前端设备的实时状态监测、异常预警、远程调试与自我诊断,能有效降低人工运维成本,又能在第一时间发现并处理故障,保障系统长期稳定、高效运行。

4 高速公路无感支付系统的信息安全防护策略

4.1 数据传输与存储安全保障

为保障数据安全以及用户隐私,系统在数据采集、传输、存储等环节采用 TLS 传输层安全协议与 AES 高级加密标准双重加密技术。TLS 协议能防止中间人攻击,保障数据网络传输时的机密性与完整性;AES 加密算法有高强度、低延迟特性,可在本地数据存储与处理时提升安全防护等级,防止数据存储或调用时被篡改、截取及泄露,构建端到端的数据保护体系。

在身份认证与系统调用管理方面,系统引入动态口令机制和多因子身份验证技术,提高身份识别的准确性与安全性。用户登录或进行关键操作时,要输入固定密码,还要凭借短信验证码、指纹、人脸识别等方式多重验证,防止黑客伪造请求或非法调用系统接口攻击,遏制数据盗用和支付欺诈等安全风险。对于用户车牌号、账户信息等敏感数据,系统采集后统一加密与脱敏处理,保证数据非法获取时无法轻易还原或识别用户身份。系统权限分配坚持“最小授权”原则,按职责边界精细划分权限范围,限制不同角色对敏感数据的访问能力,从源头降低数据泄露与误操作风险,提升平台安全防护能力与可信度。

4.2 身份认证与异常行为检测

为提升系统的智能化管理水平和风险防控能力,平台充分利用大数据技术。基于车依据用户的历史出行轨迹、时间段偏好以及路线选择等多方面信息,构建出精细化的出行行为特征画像。借助对海量数据的持续分析与比对,系统可实时识别异常出行模式,如频繁跨区域通行、不合常理的短时间高频进出等行为,一旦检测到可疑行为,便可自动触发风控机制,及时发出预警并启动核查流程,防止潜在风险事件发生。

系统引入先进的机器学习算法,通过训练模型持续优化对异常支付行为的识别能力。针对高频误扣费、重复支付、恶意避费等典型问题,系统可在大量交易数据中提取特征开展模式识别,及时发现异常并采取自动纠偏、冻结可疑账户、限制通行权限等措施,有效遏制不良行为,保障系统运营的公平性与稳定性^[1]。为了提高用户信任,平台还建立了完整的账单存证体系以及便捷的申诉处理机制,所有支付记录、

扣费明细和系统处理结果均被实时留痕、加密存储,并且支持用户随时查阅和导出,保证每一笔交易都有迹可循。用户在遇到账单争议时,可借助线上申诉渠道提交证据材料,由系统智能预审并结合人工复核,保障处理过程公正、透明,有效维护用户的合法权益。

4.3 系统运行安全防护

为保证收费平台稳定运行以及信息安全,系统在服务器层面构建了多层次且严格的访问控制机制。通过配置访问白名单、实施访问权限分级管理,再结合多因素身份认证手段,达成对访问用户与系统的精准识别和授权,保证只有获授权的主体才可访问特定资源,从源头预防非法入侵行为。平台还部署了智能化流量监测与分析系统,可实时察觉网络中出现的异常访问请求以及突发性流量波动,比如当系统检测到来自恶意 IP 的大量并发请求、非标准协议的数据包传输等可疑行为时,会立刻触发自动响应机制,执行限速、隔离或者阻断操作,有效降低服务器遭受 DDoS 攻击或者资源被恶意消耗的风险,保障平台持续稳定且高效地对外提供服务。

为提高系统的整体安全性,平台还定期组织第三方权威安全机构开展系统安全评估与渗透测试,查找潜在漏洞与薄弱环节。依据评估结果,平台会及时修复发现的问题,定期更新系统补丁和安全策略,保证操作系统、中间件及各类服务组件始终处于最新安全状态,从源头上消除安全隐患。针对大规模网络攻击、系统瘫痪、数据中心故障等重大突发事件,平台已制定详尽的应急响应预案,包括故障自动切换、数据多地备份、关键节点容灾部署等机制,保证在发生突发状况时,可迅速定位问题、恢复服务并将影响降至最低。通过多层次、多维度的应急保障措施,平台实现了高可用性和业务连续性的双重保障,为用户提供稳定、安全的服务环境。

5 结语

无感支付作为广东高速公路机电系统智能化发展的关键环节,具备显著的技术潜力和应用价值。在现有应用基础上,优化图像识别、提升通信效率、完善系统架构并强化信息安全,将成为推动智慧交通发展的重要方向。未来应进一步加强标准化建设与技术协同,推动无感支付系统在全省范围内深度覆盖,为群众出行提供更加便捷、安全、高效的服务支撑,助力粤港澳大湾区智慧交通新生态的形成。

参考文献

- [1] 罗优,沈航,裴洋.面向交通领域的机电设施数字化服务操作系统浅析[J].中国交通信息化, 2024(S01):109-113.
- [2] 郭健,陈雨行,王丽荣,等.非接触式呼吸与心率信号采集系统[J].光学精密工程, 2019, 27(6):8.
- [3] 徐丽琴,罗先喜,邵华梅.基于ARM的滑模无感驱动伺服系统[J].机电工程技术, 2021, 50(6):4.

The physical layer design and implementation of a new two-line fieldbus (BSKY bus)

Weibin Lv

Wuxi Brightsky Electronic Co.,Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214187, China

Abstract

In response to the demand for low-cost, long-distance, power and data transmission capabilities, and good anti-interference fieldbus in the sensor/actuator layer of industrial automation, this paper proposes and designs a new type of two-wire fieldbus - BSKY bus. The physical layer design of this bus integrates the differential transmission and long-distance characteristics of RS485, the node error isolation mechanism of CAN bus, and the power&data multiplexing technology of AS Interface bus, and innovatively uses benchmark floating current detection technology to achieve host side signal reception. Analysis shows that BSKY bus has significant advantages in system cost, wiring simplification, power supply integration, and fault isolation compared to RS485, CAN, and AS-i buses in specific application scenarios such as remote meter reading, distributed I/O, and low-speed device monitoring. It provides a cost-effective and reliable solution for the interconnection of underlying equipment in industrial sites.

Keywords

fieldbus; two-line system; physical layer design; BSKY bus; power and data multiplexing; differential transmission; current modulation; reference suspension detection; node protection; industrial automation

一种新型二线制现场总线（BSKY 总线）的物理层设计与实现

吕卫斌

无锡蓝天电子股份有限公司，中国·江苏 无锡 214187

摘 要

针对工业自动化领域传感器/执行器层对低成本、长距离、兼具电源与数据传输能力且具备良好抗干扰性的现场总线的需求，本文提出并设计了一种新型二线制现场总线——BSKY总线。该总线物理层设计融合了RS485的差分传输与长距离特性、CAN总线的节点错误隔离机制以及AS-Interface总线的电源与数据复用（Power & Data）技术，并创新性地采用基准悬浮电流检测技术实现主机侧信号接收。分析表明，BSKY总线在特定应用场景（如远程抄表、分布式I/O、低速设备监控）下，相比RS485、CAN和AS-i总线，在系统成本、布线简化、供电集成及故障隔离方面具有显著优势，为工业现场底层设备互联提供了一种高性价比的可靠解决方案。

关键词

现场总线；二线制；物理层设计；BSKY总线；电源与数据复用；差分传输；电流调制；基准悬浮检测；节点保护；工业自动化

1 引言

现场总线作为工业自动化系统的“神经系统”，其性能直接影响系统的可靠性、实时性和成本。在传感器/执行器层，对总线的需求通常集中在低成本、简化布线、适度通信速率、一定传输距离以及为现场设备供电的能力。现有主流二线制总线如 RS485、CAN 在长距离和抗干扰方面表现优异，但均无法通过通信线缆为从设备供电，需额外敷设电源线；而 AS-Interface 总线（AS-i）虽支持电源与数据复用，

但其传输距离有限（标准 100m，需中继扩展），且需要专用电源模块。针对上述局限，本文设计了一种新型二线制现场总线——BSKY 总线，其物理层设计旨在综合现有技术的优势，提供一种更适应特定低成本、长距离、需集成供电应用场景的解决方案。

2 相关总线技术分析

国际标准化组织（ISO）的开放系统互联（OSI）参考模型将网络通信分为七层。本文聚焦于物理层的设计。以下分析现有主要二线制总线物理层的特性：

2.1 RS485 总线

原理：平衡（差分）发送，差分接收。需专用收发器芯片。

【作者简介】吕卫斌（1973-），男，中国江苏无锡人，硕士，高级工程师，从事计算机技术研究。

介质：通常使用非屏蔽双绞线（UTP）。

优点：抗共模干扰能力强，接收灵敏度高（典型 $\pm 200\text{mV}$ ），传输距离远（标准 $1200\text{m}@100\text{kbps}$ ）。

缺点：仅传输数据，不提供电源；半双工通信；需额外措施实现电气隔离（如隔离 DC-DC）。

2.2 CAN 总线

原理：基于差分电压，采用非破坏性逐位仲裁。需专用控制器和收发器。

介质：屏蔽或非屏蔽双绞线。

优点：传输距离更远（可达 $10\text{km}@5\text{kbps}$ ），强大的错误检测与处理机制，支持多主通信，具有节点故障自动关闭（Bus Off）功能。

缺点：仅传输数据，不提供电源；协议相对复杂，成本较高。

2.3 AS-Interface (AS-i) 总线

原理：通过调制技术在同一对双绞线上同时传输电源（ $24\text{--}31.6\text{V DC}$ ）和数据。主从模式，半双工。

介质：非屏蔽双绞线（特殊黄色电缆）。

优点：电源与数据复用，极大简化布线；成本低；抗干扰能力良好。

缺点：传输距离短（标准 100m ，使用中继电器可达 300m ）；需要专用 AS-i 电源以保证信号质量；从站地址容量有限。

核心局限总结：RS485/CAN 缺乏供电能力，AS-i 受限于传输距离和专用电源需求。BSKY 总线设计目标即在单一 UTP 上实现长距离（ $> 1500\text{m}$ ）通信与设备供电，并具备良好抗干扰性和节点保护。

3 BSKY 总线物理层设计

BSKY 总线物理层设计是其核心创新，主要包含以下关键技术：

3.1 整体架构与介质

采用两芯非屏蔽双绞线（UTP）作为传输介质，同时承载：

1) 通信信号：主机 -> 从机：差分电压信号；从机 -> 主机：电流调制信号。

2) 设备电源 为主机（供电端）和从机提供工作电源（标称 24V DC ）。

3.2 信号编码与传输机制

3.2.1 主机到从机（下行，Master- > Slave）

编码：差分电压编码。逻辑 '1'：A 线高电平（ $\approx 24\text{V}$ ），B 线低电平（ $\approx 0\text{V}/\text{GND}$ ）；逻辑 '0'：A 线低电平（ $\approx 0\text{V}/\text{GND}$ ），B 线高电平（ $\approx 24\text{V}$ ）。电压幅值基于 24V 电源。

优势：继承 RS485 差分传输优点，抗共模干扰能力强。即使经过长线衰减（ 1500m UTP ），接收端（从机）的压差信号仍能保持较好的完整性供解码。

BSKY 总线的通讯框架见下图：

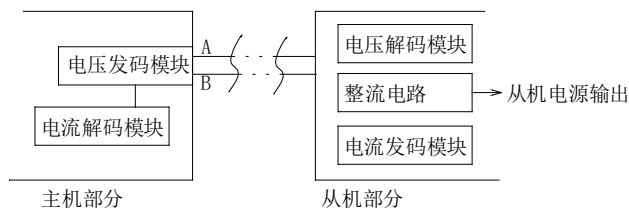


图 1 BSKY 总线系统架构示意图

3.2.2 从机到主机（上行，Slave- > Master）

编码：电流调制编码。逻辑 '1'：从机在短时间内显著增大总线电流（拉电流）；逻辑 '0'：从机不进行额外电流调制（维持静态电流）。这是一种脉冲电流调制方式。

主机接收技术（关键创新）：采用基准悬浮检测技术。

原理：主机侧的电流解码模块设计为忽略总线上的静态（背景）电流（主要由设备供电和线路电阻引起），仅对总线电流的动态变化（即调制脉冲）进行高灵敏度检测。

优势：有效隔离静态电流对信号检测的干扰。允许总线存在较大的静态工作电流（用于供电），而不会影响通信信号质量。回码（电流调制）引起的微小总线电压波动不足以干扰主机正在发送的差分电压波形。

3.2.3 电源 / 数据复用

从机电源：从机端包含全波整流电路，无论主机发送 '1' 或 '0'，整流桥都能将 A/B 线间的电压差转换为从机内部电路所需的直流电压（VCC 和 GND）。

关键点：通信信号（电压翻转）不影响整流电路对从机的持续供电。供电电压会随线路长度和负载电流下降，但 24V 初始电压为长距离供电提供了裕量^[1]。

3.3 节点保护与容错特性

3.3.1 节点故障隔离（类 CAN 功能）

故障场景 1（从机持续发 '0'）：不影响总线，主机忽略（无电流脉冲）。

故障场景 2（从机持续发 '1'）：从机持续拉电流。主机检测到持续的“动态”电流。

3.3.2 保护机制

通过精心设计电流发码模块和检测电路的 RC 时间常数，可将故障从机产生的持续大电流迅速衰减为静态电流（时间可控在一个通信周期内）。一旦电流变为“静态”，主机端的基准悬浮检测技术将忽略此电流，从而在物理层将该故障节点的干扰排除在有效通信信号之外。

3.3.3 系统级处理

主机检测到故障从机无响应或错误响应，可将其标记为故障，便于维护。长期故障会增加总线静态电流负载，需及时处理。

3.3.4 极性容错

得益于从机的全波整流供电和差分电压解码，A/B 线互换不影响从机获得正确电源和识别主机命令（解码逻辑可能需要软件取反，硬件不变）。从机回码采用电流调制，是

单端对电源/地的拉电流行为,与A/B线物理极性无关。主机接收采用电流检测,同样与A/B线极性无关。

3.4 性能参数(基于作者测试)

供电电压: 24V DC。

传输介质: 非屏蔽双绞线(UTP)。

通信距离: > 1500m(在较低通信速率下,如9.6kbps或更低)。

从节点数量: > 100个(受限于主机电源输出能力,典型200mA@24V需考虑线路压降和从机功耗)。

通信模式: 主从模式,半双工。建议采用主机轮询(Polling)方式,效率高且易于管理。

4 应用场景与工程实现

4.1 适用场景

BSKY总线在单一UTP上独特地结合了长距离、电源传输、节点保护和极性容错,使用常规24V电源,在特定低速应用场景下具有显著的成本和部署优势,特别适用于以下场景:

1) 远程、分散式低速数据采集: 如火灾报警系统、智能疏散系统、智能抄表系统(水表、气表、电表)等,传感器可直接从总线取电。

2) 分布式开关量/简单模拟量I/O控制: 如大型场区(农场、光伏电站、仓库)的灯光、阀门、简单状态监控设备的启停控制。

3) 对成本敏感且需要简化布线的场合: 替代需要额外布线电源线的RS485系统。

需要一定节点容错能力的低成本网络。

应用模式建议: 采用主机轮询巡检,从机仅在主机指定时段内执行操作(如采集、AD转换)并回传数据,最大化利用总线带宽和电源效率。

4.2 工程实现

4.2.1 主机设计

电压发码模块: 需具备足够的驱动能力,保证长线末端压差满足从机解码要求。

电流解码模块: 核心是实现高灵敏度、抗干扰的基准悬浮电流检测电路。需精确设定检测阈值和滤波时间常数,以区分有效电流脉冲与噪声及静态电流漂移。

4.2.2 从机设计

电压解码模块: 相对简单,差分比较器即可实现。

整流电路: 采用高效全波整流桥,减少压降损耗。

电流发码模块: 设计为低阻抗的开关通路,确保能产生足够幅度的电流脉冲供主机检测,同时自身功耗可控。需考虑短路保护^[2]。

4.2.3 电源管理

主机电源: 需提供足够的功率(24V,电流能力需满足所有从机静态功耗+通信峰值电流+线路损耗)。

长距离压降: 24V初始电压为克服长距离线损提供了基础,但需核算最远端从机供电电压是否满足其最低工作电压要求。必要时可提升供电电压(如30V)或为高功耗从机本地供电。

4.2.4 隔离(可选)

若从机内部电路需要与总线侧电气隔离(如安全或抗干扰需求),可采用光耦隔离其内部MCU与通信接口电路。

4.2.5 关键优势

由于BSKY总线接口电路本身由总线供电(经整流),实现光耦隔离仅需隔离信号线,而无需额外的隔离DC-DC电源模块(与RS485接口隔离相比,大幅简化并降低成本)。

4.2.6 线缆与连接器

选择符合距离和电流要求的UTP线规(如AWG18),连接器需保证可靠接触。

5 结论

本文提出并详细阐述了一种面向工业传感器/执行器层应用的新型二线制现场总线——BSKY总线的物理层设计方案。该设计创造性地融合了差分电压传输(主机->从机)、电流调制回码(从机->主机)以及基于全波整流的电源/数据复用技术,并成功应用基准悬浮电流检测技术解决了上行信号在强静态供电电流背景下的提取难题。BSKY总线核心优势在于:

1) 单一UTP线缆实现长距离(> 1500m)通信与设备供电,显著简化布线,降低成本。

2) 采用常规24V DC电源,无需AS-i专用电源。

3) 具备类CAN总线的节点故障自动隔离能力,提升网络鲁棒性。

4) 独特的极性容错设计,降低现场接线错误率。

5) 电气隔离实现简单高效(仅需信号光耦)。

实测结果表明,BSKY总线在低速通信速率下,能够稳定支持超过1500米传输距离和100个以上从节点。其设计特别适用于远程抄表、分布式低速I/O控制、对成本敏感且需简化布线的应用场景。BSKY总线物理层的成功设计,为工业自动化底层设备互联提供了一种高性价比、高可靠性的新型解决方案,有效弥补了现有RS485、CAN和AS-i总线在特定应用需求下的不足^[3]。

未来工作包括: 定义更完善的数据链路层协议(如寻址、帧结构、错误校验); 进行更严格的EMC测试与环境适应性验证; 优化电流检测电路性能与功耗; 探索在更高通信速率下的性能边界; 推动标准化或产业化应用。

参考文献

- [1] 中国电工技术学会. 中国电器工程大典: 第11卷 配电工程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009
- [2] Maxim Integrated. RS-485/RS-422 Transceivers Selection Guide and Data Sheets
- [3] 袁占辉. 基于现场总线的数字阀门控制器开发[D]. 天津大学, 2007.

The intelligent transformation path of old residential area renewal in smart city from the perspective of digital twin

Shasha Chen¹ Junhao Luo^{2*}

1. Yunnan College of Economics, Trade and Foreign Affairs, Kunming, Yunnan, 650000, China
2. Yunnan Yihui Architectural Design Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

Under the background of smart city construction, the renewal of old neighborhoods and urban villages faces many challenges, and the emergence of digital twin technology provides innovative solutions. In this paper, we analyze the theoretical basis and application strategy of digital twin in the renewal of old districts and urban villages from the perspective of digital twin, and realize the accurate assessment and simulation optimization of the renewal area by constructing the digital twin model and integrating multi-source data. Combined with practical cases, the digital twin-driven intelligent transformation path is elaborated in detail, covering infrastructure upgrading, public space optimization, expropriation and demolition management, etc. The aim is to provide a scientific and efficient implementation path for the renewal of old districts and urban villages in smart cities, to improve the quality of life of the residents, and to promote the sustainable development of the city.

Keywords

digital twin; old neighborhood renewal; urban village transformation; intelligent transformation

数字孪生视角下智慧城市老旧小区更新的智慧化改造路径

陈沙沙¹ 罗峻豪^{2*}

1. 云南经贸外事职业学院, 中国·云南 昆明 650000
2. 云南奕辉建筑设计有限公司, 中国·云南 昆明 650000

摘 要

在智慧城市建设的大背景下, 老旧小区及城中村更新面临诸多挑战, 数字孪生技术的出现为其提供了创新解决方案。本文从数字孪生视角出发, 深入剖析其在老旧小区及城中村更新中的理论基础与应用策略, 通过构建数字孪生模型, 整合多源数据, 实现对更新区域的精准评估与模拟优化。结合实际案例, 详细阐述数字孪生驱动的智慧化改造路径, 涵盖基础设施升级、公共空间优化、征拆管理等方面, 旨在为智慧城市老旧小区及城中村更新提供科学、高效的实施路径, 提升居民生活质量, 推动城市可持续发展。

关键词

数字孪生; 老旧小区更新; 城中村改造; 智慧化改造

1 引言

随着城市化进程的加速, 老旧小区及城中村的更新改造成为提升城市品质、改善居民生活条件的关键任务^[1]。然而, 传统更新模式存在基础设施老化、空间利用不合理、管理效率低下、征拆过程矛盾突出等问题, 难以满足居民日益

增长的美好生活需求^[2]。数字孪生作为一种新兴技术, 通过构建与物理实体对应的虚拟模型, 实现对现实世界的实时映射与智能管控, 为老旧小区及城中村的智慧化改造提供了新的思路与方法^[3]。将数字孪生技术应用于更新过程, 能够全面整合各类信息, 精准分析问题, 优化改造方案, 提高改造的科学性与有效性, 助力打造宜居、宜业、宜游的智慧社区^[4]。

2 数字孪生技术概述

2.1 概念与原理

数字孪生是充分利用物理模型、传感器更新、运行历史等数据, 集成多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真过程, 在虚拟空间中完成映射, 从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程^[5]。其核心原理是通过数据采集、传输与处理, 构建与物理实体高度相似的虚拟模型, 并利用实时数

【作者简介】陈沙沙(1987-), 女, 中国云南昆明人, 硕士, 高级工程师, 从事建筑空间智能、数字孪生、城市更新研究。

【通讯作者】罗峻豪(1983-), 男, 中国云南普洱人, 本科, 高级工程师, 从事建筑空间智能、建筑工程、城市更新研究。

据驱动模型动态更新,实现对物理实体的状态监测、性能预测与优化控制。在老旧小区和城中村场景中,数字孪生模型涵盖建筑结构、基础设施、环境设施、人员活动、征拆信息等多个层面,通过实时感知与数据分析,为更新改造提供精准依据^[6]。

2.2 关键技术构成

物联网技术:在区域部署温湿度、烟雾、流量传感器及摄像头,实时采集环境、设施运行、征拆现场数据并传输,为数字孪生模型供基础数据,如城中村征拆现场装设备可监测进展与安全^[7]。

大数据与云计算:大数据存管、分析海量区域数据,挖掘价值;云计算提供强算力保障模型高效运行,分析征拆、居民反馈数据可优化方案与策略。

建模与仿真技术:借 BIM、GIS 建区域三维模型,结合物理模型与算法仿真运行状态、征拆过程,规划阶段可预测不同征拆方案对居民生活、交通的影响,辅助决策^[8]。

可视化技术:将数字孪生模型直观呈现,如用三维地图展示房屋、设施、征拆进度,方便管理与公众了解,城中村改造中可将征拆现场孪生搬至会议现场辅助决策^[9]。

3 数字孪生驱动老旧小区及城中村更新的理论分析

3.1 精准评估与问题诊断

传统评估依赖人工经验,存在信息不全、准确性低的问题;数字孪生整合物联网数据、GIS 地理信息及居民反馈、征拆数据,可全面掌握道路、管网、征拆产权等情况,为更新提供依据,还能构建可视化拆迁底数库,规避虚报工程量风险^[10]。

以城中村改造为例,通过数字孪生模型构建可视化拆迁底数库,采集区域内基本地理信息数据(房屋建筑面积、占地面积、分层、结构等),并开展用地权属、房屋产权等摸底调查,实现不动产籍调查精度高效作业,有效规避虚报、谎报拆迁工程量的风险。

如在昭宗片区城中村改造中,通过实景三维建模和三维 GIS,建立地上地下一体化全空间拆迁可视化基础场景,绘制全部不动产单元位置、权属等信息,与房屋征收系统的数据信息相关联,实现图属一体化,快速定位精准到户。

3.2 模拟优化与方案决策

数字孪生可对更新改造方案模拟仿真,调整建筑布局、征拆顺序等参数,预测环境舒适度、征拆效率、居民满意度等指标,辅助选最优方案;还能模拟“未拆先拆”“拆后复原”,分析征拆赔偿方案影响,结合历史序列分析监测拆迁进度、对比影像,辅助查处违建与评估历史情况^[12]。

3.3 全生命周期管理与持续优化

数字孪生贯穿更新全周期:规划设计阶段辅助方案论证优化,建设施工(征拆)阶段实时管控进度质量与征拆过程,运营管理阶段监测运行状态并优化。在征拆管理中,可实现档案空间化“一权一档”,建立时空逻辑的空间场景化档案,解决档案更新混淆问题,管控拆迁工作量^{[13][14]}。

4 数字孪生视角下老旧小区及城中村智慧化改造路径

4.1 基础设施智慧化升级

智慧能源系统:通过安装智能电表、水表、气表等设备,实现对能源消耗的实时监测与精准计量。利用数字孪生模型分析能源消耗数据,找出高耗能环节与设备,制定针对性的节能措施,如优化照明系统、升级空调设备等。同时,引入分布式能源系统,如太阳能板、风力发电机等,实现能源的自给自足与优化配置^[14]。

智慧交通系统:借助数字孪生技术优化区域交通规划,通过模拟车辆轨迹与停车需求,合理设置道路标识、停车位;引入智能停车管理系统实现车位实时监测与在线预订,同时加强与周边公交系统衔接,优化公交线路及站点,便利居民出行^[10]。

智慧通信系统:全面提升区域的通信网络覆盖,推进 5G 基站建设,实现高速、稳定的网络连接。同时,整合区域内的通信线路,避免线路杂乱现象,提高通信安全性与可靠性。通过智慧通信系统,为区域的智能化应用提供数据传输保障,如智能家居控制、征拆信息的实时传输等。

4.2 征拆管理智慧化

可视化拆迁底数库:依托城中村实景三维数据,采集房屋、用地信息,建数字孪生三维场景与数据底库^[15],实现红线到住户层层定位,精准管房,高效摸底。

拆迁可视化会商:用模拟技术会商赔偿、管线迁移等问题;通过“未拆先拆”“拆后复原”模拟解工期问题,虚拟分析管线、定迁移方案,提动迁效率。

公众参与平台:搭在线平台,供居民、商户查拆迁计划、补偿、安置方案并反馈;虚实展示回迁实景,助居民规划生活,提支持度与签约积极性,增透明度与公信力。

实时监控与信息发布:借现场摄像头、传感器监控拆迁进展与安全,通过官方渠道及时发信息,保公众获信时效与准确^[14]。

可视化决策及汇报:将征拆孪生场景引入会议,助多方沉浸式决策;可视化汇报比传统更高效,可场景化呈改造进度,直定拆迁痛点。

4.3 建筑本体智慧化改造

智慧建筑运维:以数字孪生技术开展小区、城中村建筑全生命周期运维,在建筑关键部位装传感器,实时监测结构安全与设备状态;借模型分析数据,预测设备故障、提前维保,降故障率、延建筑寿命。

建筑节能与环境:用数字孪生模型分析建筑能耗,制定节能改造方案(如换节能门窗、加外墙保温);结合绿色建筑技术,优化自然通风与采光,提升室内舒适度。

4.4 监督管理智慧化

在城中村改造中,将“数字孪生”三维可视化技术嵌入项目监督,打造全流程智慧监督平台。在系统中嵌入“廉洁拆迁”监督模块,为征迁改造片区的相关廉洁风险点设定监控阈值。通过打通多部门数据壁垒,实现征迁户基础信息、补

偿协议、资金流向等数据交叉验证。当出现补偿异常情况时,触发红色预警,传送纪检监察机关,即时开展相关流程。

建立“红黄蓝”三色督办机制,对超期未处置的黄色预警发函提醒,对涉及违规违纪的红色预警直查快办,对程序瑕疵的蓝色预警督促立行立改。如在昭宗社区征迁指挥部,智慧大屏上的三维建模地图通过不同颜色标注征迁户的状态,绿色代表已完成合规审查,黄色标注待核实论证的争议房屋,红色闪烁点提示存在补偿异常风险的房屋,方便监督检查。

5 老旧小区及城中村数字孪生改造实践——以五华区城中村改造为例

在城市更新进程中,老旧小区与城中村改造因涉及主体多元、利益关系复杂、廉政风险点密集等特点,成为基层治理的重点与难点。昆明市五华区将“数字孪生”三维可视化技术深度嵌入城中村改造全流程,构建智慧监督体系,为破解改造中的监管难题提供了实践范本。

五华区黑林铺昭宗片区城中村改造项目重启后,曾面临档案资料混乱、动态监管滞后、廉政风险突出等问题。对此,区纪委监委以技术赋能监督为核心,推动街道将纪检监察功能与数字孪生管理系统深度融合,打造覆盖征迁全流程的智慧监督平台。该平台通过三大机制实现精准监管。

5.1 数据穿透式整合机制

平台打通自然资源、人社、街道办、拆迁公司、银行等多部门数据壁垒,整合征迁户房屋坐标、产权证明、补偿协议、资金流向等核心信息,形成“一户一档”的三维数据画像。借助AI智能分析技术,系统可基于房屋面积、层数等参数自动测算补偿基准价,并关联户主信息锁定补偿对象,实现基础数据与补偿标准的交叉验证。

5.2 异常智能预警机制

平台针对“廉洁拆迁”设定多维度监控阈值,当出现“补偿金额超基准价3%”“同一户重复签约”“突击加盖违建”等异常情况时,系统即时触发红色预警,同步推送至纪检监察机关,支持调查取证、账户冻结等快速处置。例如,在昭宗片区改造中,系统通过比对历年卫星影像,自动识别某户“突击加盖”行为并锁定违建事实,为追责履职不到位问题提供数据支撑。

5.3 可视化动态监管机制

基于三维建模的平台,以颜色编码呈现征迁状态:绿色为合规征迁户,黄色标注争议房屋,红色闪烁提示补偿异常。监督人员通过智慧大屏实时调取每户航拍影像、补偿明细,替代传统纸质核查,实现从“被动受理”到“主动发现”的转变。

五华区同步建立“红黄蓝”三色督办机制:红色预警违规违纪问题直查快办,黄色预警超期事项督促整改,蓝色预警程序瑕疵立行立改。系统运行以来,累计预警46次,纠正补偿偏差23处,推动昭宗片区一批次征迁10日内签约

率90%、满意率100%,完成350户征迁。

此外,该实践将数字孪生从征迁延伸至长效治理:三维场景留存的数据为安置房分配、集体“三资”管理等构建不可篡改底库,形成“全周期数字化监督”闭环,既提升改造监督质效,又推动权力公开,为破解基层治理问题提供可复制经验。

6 结论与展望

数字孪生技术为智慧城市老旧小区及城中村更新提供智慧化方案,通过建模解决基建老化、征拆难等问题,提升居民生活质量、推动城市可持续发展;未来需强化技术研发与数据规范,将其应用从征迁延伸至安置房分配、三资管理等领域,以全周期数字化管理助力城市高质量发展与智慧宜居社区建设。

参考文献

- [1] 何遥.智慧社区的现状与发展[J].中国公共安全,2014(Z2)
- [2] 钱德沛.以数字孪生技术促进应急治理现代化[J].国家治理,2024(03),35-40
- [3] 马震.智慧城市建设对经济高质量发展的影响研究——基于城市韧性视角的分析[J].华东经济管理,2024(03),47-57.
- [4] 陈建平.提效与赋能:数字孪生技术助推智慧城市现代化的双维逻辑[J].河南社会科学,2023(12),96-104.
- [5] 高艳丽;陈才;张育雄.数字孪生城市:智慧城市建设主流模式[J].中国建设信息化,2019(21),8-12.
- [6] 万励,尹萃懿,汤俊卿,张龙飞,Timea NOCHTA&Jennifer SCHOOLING.数字孪生在城市规划实践应用中的批判性思考[J].上海城市规划,2023(05),18-23.
- [7] 刘大同,郭凯,王本宽,彭宇.数字孪生技术综述与展望[J].仪器仪表学报,2018(11),1-10.
- [8] 季晓琼.试论中国智慧社区发展现状与对策研究[J].中国新通信,2021(18),47-48.
- [9] 樊静静.浅析智慧住区标准化现状[J].智能建筑与智慧城市,2017(07),30-32.
- [10] 向玉琼,谢新水.数字孪生城市治理:变革、困境与对策[J].电子政务,2021(10),69-80.
- [11] 高志华.基于数字孪生的智慧城市建设发展研究[J].中国信息化·2021(02),99-100.
- [12] 陶飞;刘蔚然;刘检华;刘晓军;刘强;屈挺;胡天亮;张执南;向峰;徐文君;王军强;张映锋;刘振宇;李浩;程江峰;戚庆林;张萌;张贺;隋芳媛;何立荣;易旺民;程辉.数字孪生及其应用探索[J].计算机集成制造系统,2018(01).
- [13] 王慧君.新型数字化测绘在城市更新项目中的应用研究.新城建科技.2025(04),86-88.
- [14] 任静;胡晓海;贺鹏真;刘婷城市更新设计中韵律表达策略研究——以贵阳市花溪老城片区为例.城市建筑空间,2025,32(04),75-78.
- [15] 冯时,耶律根迪,马福源.基于BIM+GIS融合技术的智慧化建设及应用研究[J].智能城市,2024,10(7):95-97.

A Review of the Research on Key Technologies for Structural Health Monitoring Systems in Offshore Wind

Di Xu Dajiang Chen Qiang Zhang* Xiaofeng Fan Jixian Su

Zhejiang Huadong Engineering Consulting Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311100, China

Abstract

The global offshore wind power industry has experienced rapid development in recent years. However, its structures face severe challenges from the harsh marine environment (wind, waves, currents, corrosion), creating an urgent need for effective structural health monitoring systems to ensure safety and reduce operational and maintenance costs. This paper systematically reviews the core sensor technologies (vibration, acoustic emission, strain) and wireless transmission technologies (LoRa, NB-IoT, ZigBee, Wi-Fi) used in offshore wind structural health monitoring systems, providing a comparative analysis of their principles, characteristics, and applications. It also explores solutions for building multi-level monitoring and data transmission networks through technology fusion. This review offers crucial technical references and a theoretical basis for designing and optimizing SHM systems for offshore wind structures, holding significant importance for promoting the intelligent development and safe, reliable operation of the offshore wind power industry.

Keywords

offshore wind power; structural health monitoring; offshore wind power structure

海上风电结构健康监测系統關鍵技術研究綜述

徐狄 陈大江 张强* 范肖峰 苏纪贤

浙江华东工程咨询有限公司, 中国·浙江 杭州 311100

摘 要

近年来, 全球海上风电产业迅猛发展, 但其结构长期面临恶劣海洋环境 (风、浪、流、腐蚀) 的严峻挑战, 亟需有效的结构健康监测系统来保障安全、降低运维成本。本文系统综述了海上风电结构健康监测系统中的核心传感器技术 (振动、声发射、应变) 与无线传输技术 (LoRa、NB-IoT、ZigBee、Wi-Fi), 对比分析了其原理、特点及适用范围, 并探讨了通过多技术融合构建多层次监测与数据传输网络的解决方案。该综述为设计和优化海上风电结构健康监测系统提供了重要的技术参考和理论依据, 对推动海上风电产业的智能化发展与安全可靠运行具有重要意义。

关键词

海上风电; 结构健康监测; 海上风电结构

1 引言

近几十年来, 随着科学技术的快速发展, 我国大力发展清洁能源, 不断优化能源结构, 能源绿色低碳转型取得显著成效。其中, 以风能为主的清洁能源成为政策发力点和重要发展趋势, 开发海上风电是我国推动可再生能源发展的重

点领域^[1]。我国东部沿海地区经济总量大、人口稠密, 同时海上风资源丰富, 大力发展海上风电产业是东部沿海地区加强能源自给和实现低碳转型的重要抓手, 对缓解沿海地区电力供需紧张、实现能源供给转型有重要推动作用^[2]。然而, 海上风电常年承受风浪流等复杂循环荷载作用, 海上风电在动态且常具挑战性的海洋环境中运行, 面临着关键的安全挑战, 包括叶片损伤、材料腐蚀、结构劣化、电气系统故障以及基础不稳等问题。这些问题不仅会造成海上风电的结构损伤, 还有可能会造成重大的安全风险^[3]。因此, 实现海上风电的实时监测是提高 OWT 长期稳定性和性能的重要策略^[4]。

传感技术的快速发展使结构健康监测系统 (Structural Health Monitoring System, SHMS) 成为海上风电长期可靠性的关键技术^[5]。SHMS 通过更系统的运营管理方法, 显著提高了海上风电的盈利能力、可靠性和可持续性。它在确保海

【基金项目】山东能源渤中海上风电项目 (项目编号: HDY-SC33-20240028)。

【作者简介】徐狄 (1986-), 男, 中国浙江杭州, 本科, 高级工程师, 从事海上风电施工技术研究。

【通讯作者】张强 (1989-), 男, 博士, 高级工程师, 从事海上风电施工技术研究。

上风电的完整性和安全性方面发挥着关键作用^[6]。该技术允许从现场结构中获取大量数据，包括结构响应和环境条件，便于有效的故障诊断和状态评估^[7]。SHMS 采用先进的传感器技术，持续监测结构响应和环境条件的实时数据，促进潜在故障的早期诊断并实现全面的状态评估^[8,9]。此外，强大的数据传输系统是 SHMS 有效性不可或缺的一部分^[10]。LoRa、Wi-Fi、NB-IoT 和 Zigbee 等无线技术在恶劣的海洋环境中优于传统的有线方法，提供增强的可靠性和长距离传输能力，有助于提高 OWT 运营的安全性和成本效益^[11]。为

了探明海上风电 SHMS 研究进展和面临挑战，本文将系统梳理海上风电 SHMS 在传感器技术以及数据传输技术的相关研究，为海上风电硬件监测设备的发展提供指导方向。

2 海上风电结构健康监测传感器技术

目前，多种传感器被用于海上风电结构健康监测。主要传感技术包括振动监测、声发射检测和应变测量^[12]。振动监测适合叶片和基础的综合监测，声发射检测在冲击检测和 水下结构方面表现出色，而应变监测则是详细分析塔架应变和疲劳的理想选择。三种监测的技术对比如下表 1 所示。

表 1 海上风电结构健康监测传感器技术对比

监测维度	振动监测	声发射监测	应变监测
基本原理	通过加速度传感器等测量结构在运行中的振动响应，分析其频率、幅值等特征参数的变化。	监测材料在受力变形或产生裂纹时，内部迅速释放能量而产生的瞬态弹性波（声发射信号）。	通过应变片或光纤光栅传感器等，直接测量结构局部表面的微应变（应变），从而计算应力水平。
监测范围	整体状态和宏观缺陷	微观损伤和动态缺陷	载荷和疲劳
技术特点	• 被动式监测，依赖于外部激励（风、浪）或机组自身运行。 • 成熟度高，是状态监测的标配技术。 • 擅长检测旋转机械的故障。	• 主动式监测，监测的是损伤本身发出的信号。 • 高灵敏度，能发现早期、微观的损伤。 • 定位功能：可通过多个传感器对损伤源进行定位。	• 直接测量，结果直接反映结构受力情况。 • 既可测静态应变，也可测动态应变。 • 是评估结构完整性和寿命的直接依据。
主要适用范围	传动链系统、整体振动特性、机组运行状态	内部缺陷监测、焊缝和关键连接部位的裂纹监测、螺栓断裂的早期发现	已知应力集中区域的载荷与疲劳监测、基础结构的结构安全监测

2.1 振动监测

振动监测是海上风电结构健康监测最常用的方法之一。Kim 等人的研究对海上风力涡轮机进行了运行模态分析，为评估涡轮机安全性和确保结构设计和维护提供可靠的数据和技术支持^[13]。Zhou 建议在涡轮机的不同高度部署加速度计，以捕获振动数据。该技术利用加速度计和陀螺仪，测量由环境因素（如风和波浪）以及涡轮机的运行状态引起的振动^[14]。通过分析振动数据，工程师可以识别可能表明结构弱点、机械故障或疲劳的异常模式。例如，振动水平的突然增加可能表明涡轮机的齿轮箱或转子叶片即将发生故障^[15]。从振动传感器收集的数据可以使用先进的算法进行处理，以执行模态分析并识别结构动态行为随时间的变化。

2.2 声发射监测

声发射监测是海上风电结构健康监测的另一项有价值的技术。该方法可以识别海上风电结构的微观故障机制，包括监测内部裂纹的形成和摩擦或其他动态过程产生的高频应力波^[16]。声发射传感器对微小变化高度敏感，能够在故障升级为严重问题之前监测到正在发展的故障。此外，声发射作为一种非破坏性的传感技术，允许从远程位置进行实时监控，因此，声发射监测对于监测塔、叶片和基础等关键部件特别有用^[17]。Joosse 等人利用声发射技术检测与裂纹机制相关的声音，精确定位叶片开裂造成的受损区域。Tziavos 等人使用声发射技术分析了海上风电机组灌浆连接件的损伤演化和失效机理，并计算了各种复杂应力状态下的潜在损伤。

2.3 应变监测

应变测量也是在结构健康监测中检测预定位置微尺度变化的关键技术，对于评估各种复杂载荷条件下风力涡轮机的结构完整性至关重要，包括风力涡轮机塔架和上部结构的重量，以及恶劣的波浪和风载荷。在海上风电中，应变传感器用于评估关键部件（如塔架、转子叶片和基础）的性能。通常，电阻式或光学应变仪用于监测海上风力结构部件的局部变形，传感器安装在海上风电上发生显著变形的特定位置。Yi 开发了一种 SHM 系统，该系统将应变计与加速度计和倾角计集成在一起，用于长期监测水下结构。此外，研究表明，在 OWT 上安装应变传感器可以帮助工程师识别潜在的故障点并优化设计以提高性能，从而将运营和维护成本降低 10% 至 15%。

3 海上风电结构健康监测无线传输技术

当使用传感器技术从有线电缆上采集到数据后，下一步就是将这些数据传输到中央监控系统。支持海上风电运行的 SHMS 正常运行的关键是实时、准确和安全的数据传输。这通过构建数据通信网络来实现，采用有线或无线传输方式，能够监控施工作业条件、及时检测结构损坏和评估建筑物安全性。通常，传统的光纤或铜缆连接由于其高可靠性而适合短距离数据传输；然而，其海上应用有限，安装和维护成本很高。因此，目前应用于 SHM 的数据传输技术主要利用 LoRa、Wi-Fi、NB-IoT 和 Zigbee 等无线通信技术。表 2 为各

种常见无线数据传输方式的带宽和传输范围以及性能对比。

表 2 海上风电结构健康监测无线传输技术对比

无线传输技术	传输距离	网络延迟	传输速度	功耗
LoRa	> 10 km	待定	0.3~50 kbps	非常低
Wi-Fi	< 50 m	< 1 s	5G: 1~500 M	非常高
NB-IoT	> 10 km	6~10 s	160~250 kbps	非常低
ZigBee	10~100 m	< 1 s	250 kbps	低

3.1 Wi-Fi 和 ZigBee 技术

ZigBee 技术可用于传输结构健康监测数据,以促进海上风电的监测工作。已提出一套针对海上风电的综合实时在线监测平台,该平台通过振动传感器、采集节点和协调节点构建 ZigBee 无线局域网实现数据传输。Wi-Fi 是 SHMS 中另一种广泛使用的数据传输技术,可提供高数据传输速率,适用于需要实时监控和分析的应用。在海上风电场中,可以建立 Wi-Fi 网络将传感器和数据采集系统连接到本地服务器或云平台。虽然 Zigbee 和 Wi-Fi 在海上风结构健康监测方面具有优势,但支持更高带宽的数据传输或传输速度,但也存在传输距离短、功耗高等缺点,不便于在海上风电场单独使用,通常与其他长距离通信技术结合使用,以提高传输距离。

3.2 LoRa 和 NB-IoT 技术

LoRa 是一种低功耗、远距离无线通信技术,特别适用于海上风电场等偏远地区的 SHMS。它可以在超过 10 公里的距离上传输数据,非常适合连接分布在整个风电场的多个传感器。LoRa 的主要优势之一是低功耗,允许传感器在电池电源下长时间工作。此外,LoRa 可以穿透障碍物,这意味着即使在恶劣的海洋环境中也可以传输数据。NB-IoT 是一种新的窄带蜂窝通信低功耗技术,专为低功耗、广域应用而设计。NB-IoT 可以直接部署在 GSM、UMTS 或 LTE 网络上,通过有线电缆将数据从 SHM 传感器传输到中央监控系统。NB-IoT 具有多个优势,包括扩大覆盖范围,提高在挑战性环境中的渗透力,降低成本和增强性能。在海上风电场的结构健康监测中,需要综合考虑传输距离、带宽和抗干扰能力等因素,可采用 LoRa 或 NB-IoT 作为主要的长距离传输技术,以 ZigBee 或 Wi-Fi 作为短距离传输技术,构建多级无线传输网络。

4 结论

综上所述,海上风电结构健康监测系统依赖于多源传感器技术与多层次无线传输技术的有效结合,以实现结构状态全面、实时和可靠的监控。在传感层面,振动监测、声发射检测和应变测量三者优势互补,分别从宏观振动特性、微观损伤演化与局部载荷疲劳等多个维度共同保障结构安全。振动监测适用于整体运行状态评估,声发射技术善于捕捉早期裂纹与动态缺陷,应变测量则为结构完整性评估提供直接依据。在数据传输方面,面对海上恶劣环境与远距离传输的挑战,无线通信技术显示出显著优势。短距高速传输(如

ZigBee、Wi-Fi)与远距低功耗技术(如 LoRa、NB-IoT)可构建多级通信网络,平衡带宽、距离与功耗需求,实现监测数据自传感器至监控中心的高效、稳定回传。未来,海上风电结构健康监测系统将进一步朝向智能化、集成化与标准化方向发展,通过多传感器数据融合与智能诊断算法提升状态评估的准确性,为海上风电设施的安全运行与运维决策提供坚实支撑。

参考文献

- [1] 葛旭,徐业鹏,黄丹.基于进化策略的海上风电支撑结构多参数同步优化设计[J].可再生能源. 2020, 7.
- [2] 张佳丽,李少彦.海上风电产业现状及未来发展趋势展望[J].风能. 2018, 10, 46-52.
- [3] Seyr, H.; Muskulus, M. Safety indicators for the marine operations in the installation and operating phase of an offshore wind farm. *Energy Procedia* 2016, 94, 72-81.
- [4] DeVoto, D.; McCluskey, P. Reliability Analysis of Wind Turbines. In *Proceedings of the ASME 2009 3rd International Conference on Energy Sustainability collocated with the Heat Transfer and InterPACK09 Conferences*, San Francisco, CA, USA, 19–23 July 2009; pp. 1041-1045.
- [5] Luengo, M.; Kolios, A. Failure Mode Identification and End of Life Scenarios of Offshore Wind Turbines: A Review. *Energies* 2015, 8, 8339-8354.
- [6] He, Q.; Zhao, J.; Jiang, G.; Xie, P. An Unsupervised Multiview Sparse Filtering Approach for Current-Based Wind Turbine Gearbox Fault Diagnosis. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2020, 69, 5569-5578.
- [7] Chen, X.; Xu, W.; Liu, Y.; Islam, M.R. Bearing Corrosion Failure Diagnosis of Doubly Fed Induction Generator in Wind Turbines Based on Stator Current Analysis. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2020, 67, 3419-3430.
- [8] Vilchis-Rodriguez, D.S.; Djurović, S.; Smith, A.C. Wound rotor induction generator bearing fault modelling and detection using stator current analysis. *IET Renew. Power Gener.* 2013, 7, 330-340.
- [9] Zhang, K.; Tang, B.; Deng, L.; Yu, X. Fault Detection of Wind Turbines by Subspace Reconstruction-Based Robust Kernel Principal Component Analysis. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2021, 70, 3515711.
- [10] Wang, J.; Peng, Y.; Qiao, W.; Hudgins, J.L. Bearing Fault Diagnosis of Direct-Drive Wind Turbines Using Multiscale Filtering Spectrum. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2017, 53, 3029-3038.
- [11] 孙肖菲,马东,苏冠瑜,等.海上风电大直径单桩基础固有频率影响因素的数值分析[J].船海工程. 2021, 1.
- [12] Eom, S.H.; Kim, S.S.; Lee, J.B. Assessment of anti-corrosion performances of coating systems for corrosion prevention of offshore wind power steel structures. *Coatings* 2020, 10, 970.
- [13] Kim, H.-C.; Kim, M.-H.; Choe, D.-E. Structural health monitoring of towers and blades for floating offshore wind turbines using operational modal analysis and modal properties with numerical-sensor signals. *Ocean Eng.* 2019, 188, 106226.

- [14] Zhou, L.; Li, Y.; Liu, F.; Jiang, Z.; Yu, Q.; Liu, L. Investigation of dynamic characteristics of a monopile wind turbine based on sea test. *Ocean Eng.* 2019, 189, 106308.
- [15] Gorostidi, N.; Pardo, D.; Nava, V. Diagnosis of the health status of mooring systems for floating offshore wind turbines using autoencoders. *Ocean Eng.* 2023, 287, 115862.
- [16] Martinez-Luengo, M.; Kolios, A.; Wang, L. Structural health monitoring of offshore wind turbines: A review through the Statistical Pattern Recognition Paradigm. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 64, 91-105.
- [17] Duthie, D.B.; Gabriels, F. Remote monitoring of offshore structures using acoustic emission. In *Proceedings of the 11th European Conference on NDT 2014*, Prague, Czech Republic.

Discussion on satellite Internet transmission path attack and defense mechanism

Xiong Xiong

Unicom AirNet Co., Ltd., Beijing, 100032, China

Abstract

With the accelerated global deployment of satellite internet, securing transmission paths has become a critical component of system security. Given the characteristics of massive constellation scales, frequent topology changes, and open links in satellite networks, various threats such as signal interference, man-in-the-middle attacks, node denial-of-service (DoS) attacks, and routing spoofing frequently occur during data transmission. To address these challenges, this paper proposes a multi-layered defense strategy from four perspectives: physical layer, link layer, network layer, and cross-layer collaboration. The approach integrates signal anti-interference and spectrum scheduling, blockchain-based distributed verification, advanced self-healing mechanisms, quantum communication protection, layered link encryption, and dynamic key management. Only through simultaneous implementation of these technologies across multiple layers can we ensure stable and secure satellite internet transmission in complex constellation operation environments.

Keywords

satellite internet; transmission path; security; attacks; defense mechanisms; research

卫星互联网传输路径攻击及防御机制探讨

熊雄

联通航美网络有限公司，中国 · 北京 100032

摘要

目前全球范围内建设卫星互联网步伐加快，其传输路径安全成为体系安全的关键一环。由于体系存在着星座量级巨大、拓扑变化频繁、链路开放等特性，在传输中易出现信号干扰、中间人链路篡改、节点拒绝服务以及路由欺骗等不同类型威胁。面对该现状，本文基于物理层、链路层、网络层和跨层协同四个角度，提出了包括信号抗干扰及频谱调度、区块链分布式验证、前沿自愈及量子通信防护和分层链路加密及动态密钥管理机制在内的多层次防御思路。唯有在多层面上同时开展相关技术部署才能确保卫星互联网传输在复杂星座运行环境中的稳定与安全。

关键词

卫星互联网；传输路径；安全；攻击；防御机制；探讨

1 引言

卫星互联网具有覆盖广、链路通达、接入灵活的特点，因此在新一代全球信息基础设施中占据着较为重要的地位。与地面网络相比，利用卫星通信需要经过多个环节的传送（跨越卫星星座、星间链路以及地面网关），并且链路上存在多节点、多地域的交互协作，因此需要从物理层到应用层全方位结合卫星通信的特殊环境考虑安全防护体系的构建。

2 卫星互联网传输安全现状

卫星互联网的全球覆盖及高速接入需求推动了行业快速发展，然而传输安全风险也逐渐凸显。第一，链路处于外

层空间和大气层中，因此很容易被电磁干扰、空间辐射等所破坏，造成链路信号衰减不稳定。而且会受到射频干扰以及黑客恶意攻击，在个别地区已经发现用定向干扰设备扰乱卫星链路信号的情况。第二，因为卫星互联网的开放特性，在数据交互的过程中很容易发生被窃听、截获的情况，而且链路经过了卫星、地面站、用户终端等多个点位，在管理过程中安全性要比传统通信网络更难，可能会发生中间人篡改信息的问题，导致数据完整性的失效^[1]。第三，卫星互联网是大量、多节点、具有动态拓扑结构的网络，在路由协议的频繁跳转的过程中，这些信息都很容易被伪造或者篡改，由此便容易造成路由欺骗或者链路劫持。第四，当网络规模越来越大时，遭受拒绝服务攻击以及出现异常流量集中的可能性就会增大，有可能会发生某一部分地面站或者卫星节点因为处理能力有限而导致整个链路产生故障连锁反应，从而影响到整体的传输安全性。

【作者简介】熊雄（1980-），男，中国湖南浏阳人，硕士，工程师，从事卫星互联网系统建设和维护，卫星互联网网络安全风险和防范研究。

3 卫星互联网传输路径安全防御的重要性

卫星互联网的传输路径安全防御在整个通信体系中占据重要的地位。一方面因为卫星链路覆盖面积广,节点相对密集,任意一点出现问题都会造成大范围的通信受影响。所以建立起完善的防御,避免因一个小链路故障让整个系统瘫痪的情况发生,保证跨区域数据通信的稳定。另一方面,卫星互联网包含了军事、能源、金融以及公共服务业等领域的大规模数据传输,如果传输路径不加以保护,极有可能被人利用来窃取机密,从而产生严重的后果。保护传输路径不仅是要保护所拥有的重要资料完整且不可篡改,在途中不受任何攻击和阻挠,还在于保证在复杂环境下核心业务得以持续运转。不仅如此,面对低轨卫星组网过程中节点数目的不断增多和拓扑结构变得越来越复杂的情况,频繁发生路由切换、链路调度,容易引发如拒绝服务攻击、链路劫持等新型攻击。为了应对突发性的攻击,需要在不同的层面上建立起多层面的安全防护体系,使其拥有更大的容错性,提供更强的网络健壮性和自适应性^[2]。

4 卫星互联网传输路径攻击

4.1 信号干扰攻击

信号干扰是卫星互联网的一大安全问题。因为卫星链路主要是凭借射频信号来实现大面积覆盖,攻击者如果使用高功率发射机便可以造成长时间带宽噪声,导致卫星链路接收端信噪比降低,链路误码率增大甚至无法正常传输信息。而且攻击者使用定向干扰设备可以在某个时段内对该卫星或者地面站的指定频段进行集中辐射,造成目标卫星或者地面站的通信能力下降甚至完全丧失,除此之外,欺骗式干扰是更为复杂的干扰方式,攻击者通过对信号特征进行模拟,使接收端对解调和同步产生错误判断,造成传输链路异常。当前干扰手段也越来越智能化,攻击者能够利用频谱感知设备去寻找容易被攻击的频段,并有针对性地加以打击,大大增加了链路抗干扰保护的复杂度。

4.2 中间人链路篡改

中间人攻击发生在数据传输期间,攻击者隐匿于卫星转发节点或者地面站链

路上截获并更改伪造的数据包。其中篡改方法不仅仅是篡改数据内容,还包括数据重放以及伪造身份认证,使得通信双方无法识别数据信息的真实情况。此类攻击比较隐蔽,不易被察觉,一般不会直接破坏链路传输,而是通过长期潜伏窃取信息或是渐进式地降低链路传输可靠性^[3]。有的攻击者甚至利用链路加密和密钥管理方面的缺陷,通过得到加密材料来读取数据内容。由于卫星互联网规模庞大,一部分低级别的卫星互联网节点防护薄弱,而成了中间人攻击的重点对象。

4.3 节点拒绝服务攻击

拒绝服务攻击以破坏卫星或者地面站节点处理能力为

出发点,攻击者采用大量异常请求或流量灌入手段,迅速耗尽节点资源,使得正常用户不能获取服务。如在大尺度星座组网系统中某一点出现故障,就会凭借网络的连通性与连锁反应导致局部网络失效。分布式拒绝服务攻击(DDoS)则是通过多处攻击源同时向目标系统发动进攻行为的攻击方式,将会给系统带来更多危险,除了可以造成较大的传输时延和路由失效外,还可能会造成协议漏洞滥用下的低流量慢速攻击以达到永久占据用户节点资源的目的。在资源受限的卫星系统中,该种攻击可能会发挥出更大威力。

4.4 路由欺骗与伪装攻击

路由欺骗攻击就是利用卫星互联网动态拓扑的特点,篡改或伪造路由信息,让数据包偏离原先设定的路径,或者诱导数据绕行至攻击者自身所控制的恶意节点处,并对其进行窃听、篡改或删除等操作,以达到破坏链路完整性的目的。伪装攻击是冒充合法节点参与网络路由更新,将错误的拓扑结构信息注入路由中,从而导致路由形成环路或某一路由出现拥塞的情况。卫星互联网采用的是频繁切换链路规划的方式,所以路由欺骗可以很快地影响大量节点。除此之外,有些攻击者会使用路由欺骗加中间人手段,以完全控制传输数据,导致系统风险不断加剧。此类攻击除了会降低通信效率外,也会导致大量的传输中断。

5 卫星互联网传输路径防御机制探讨

5.1 信号抗干扰与频谱调度

卫星互联网传输易受地面或空间的干扰源影响,为了保持链路稳定,必须建立抗干扰和频谱调度的机制。首先,从物理层面上,可使用波束赋形技术来调整天线阵列的方向图,使得天线阵列对准目标区域、天线阵列方向图上的信号能量被集中到目标区域,有效地降低非目标区域内的辐射能量,并且抑制了干扰源对于链路的影响程度。另外,MIMO结构在接收端将采集到的不同路径信号合成处理,提高了信噪比降低了误码率,提供 stronger 的鲁棒性。其次,可通过频谱动态调度方法来缓解强干扰情况下的不利影响,借助认知无线电感知外部频谱环境的变化,捕捉干扰源的频段以及功率特性,并据此对发送信道做相应的调节,以此来获得灵活的频谱迁移策略。再者,在协议层及物理层对接方式中形成抗干扰机制,在设备接收到的数据存在干扰时,快速响应链路工作情况的变化,自主地通过改变自身的调制级数或纠错编码强度去提高系统的抗干扰能力。通过多层的抗干扰加频谱调度会为整个星座组网链路提供更加安全可靠的保障^[4]。

5.2 区块链与分布式验证机制

基于区块链技术的卫星互联网多节点传输,通过利用区块链特点使路径更加安全和透明。首先,由于区块链是去中心化的,不存在某一点控制网络的行为,所以在保证链路连接时也可以排除路由伪造,或者是链路篡改现象的发生。利用分布式的账本可以达到全网节点同步更新链路的状态

信息,并且各节点能对应传输路径的一致性进行检验,防止恶意节点伪造数据包或者篡改路由表。其次,基于,智能合约实现卫星链路的接入与切换过程的自动验证,当节点接入卫星互联网的时候需要满足合约要求的条件才可以进行网络接入,未经授权者一律禁止接入。这一机制相较于传统集中认证方式来说,其更为适用于大规模组网或者拓扑变更较大的情况,能够保证认证实时性,并且不能更改。再者,应用区块链共识算法有效确保卫星互联网数据的一致性。即使有一些节点早手工艺或是出现异常,也能够通过拜占庭容错,权益证明或是混合共识等机制来保证链路的状态信息正确,可以避免恶意节点用虚假的信息引导数据路径偏离既定轨迹,对于动态路由更新非常关键。此外,应用分布式验证机制来多层次监控链路传输,每一节点进行数据包转发时的传输轨迹均会被记录下来,利用哈希函数实施加密标记,这样在后续验证过程中一旦出现篡改行为均会被及时辨识出来。这种不可逆的记录方式可以确保数据回溯,并给后续攻击追踪与取证提供信息依据。

5.3 前沿自愈与量子通信防护

对于大规模的卫星群,引入自愈机制能够在链路遭受攻击之后及时恢复效率。系统通过对链路状态进行实时监控,一旦发现异常能够在短时间内切换到备用线路,同时使用在较短时间内重新规划出一条临时性的备用路径,采用跨节点方式来躲避局部失效对整体网络的冲击。自愈机制需要依靠一定的冗余路由资源进行,需要使用机器学习的方法对异常模式进行识别和预测,在攻击尚无扩大蔓延的情况下就进行路径调整,真正做到动态适应,有效防守。此外,量子通信能使传输路径的安全等级得到进一步提升,通过对链路的加密采用量子密钥分发方法,应用量子态不可克隆及测量塌缩特性,保证在交换密钥环节不会发生窃取或复制的问题。通过有效结合自愈和量子防护可以为卫星互联网构建起从攻击检测到路径修复再到密钥保护的多维防护,有效提升传输路径的韧性和安全性。

5.4 分层链路加密与动态密钥管理

在卫星互联网传输链路上实施分层链路加密,保证不同链路等级具有相应的防护级别。在卫星互联网传输链路上

实现分层链路加密,不同的链路等级有不同的防护级别,例如:在物理层可采用信号加扰、低概率截获编码技术等防止链路被外部窃听;在数据链路层采用分组加密技术使得每一个帧都拥有独立的保护属性,即使某个中间节点失陷也不会导致更大范围的信息泄露;在网络层通过使用端到端的加密协议来保证流经该层所有节点的数据内容都是保密的。不同层次的加密相结合可以保障在攻击者成功突破某一层次防护的情况下,也能够有效保护链路整体的安全。除此之外,动态密钥管理也是防止密钥泄露和破解的关键措施,采取基于时间片的密钥更新方式,可以在很短的时间范围内自动生成与分发新的密钥,将攻击者已窃取密钥的有效时间缩短。此外,还可将会话密钥机制应用到卫星节点链路切换过程中,在每个通信阶段分别生成一组临时加密参数,这样就增加了数据通信的不可预测性,同时密钥分发也可以借助分布式节点之间协作来避免某个单点密钥服务器遭受攻击。

6 结语

总而言之,过去单一的防护手段已无法满足越来越复杂的卫星互联网传输安全问题,而如何整合跨层跨域的防守机制是解决这一问题的关键所在。基于此,以信号的安全传输途径入手,分析信号遭受的多方面攻击方式和影响(信号干扰、中间人篡改、节点拒绝服务、路由欺骗等),然后从安全防护的角度出发,提出频谱调度和抗干扰、区块链分布式验证、量子通信和自愈机制、分层链路加密和动态密钥管理等解决方法,以此形成有效的跨层维度自适应安全防护能力。

参考文献

- [1] 谷欣,单超,孙才俊,等.卫星互联网安全风险及应对措施分析[J].天地一体化信息网络, 2024, 5(1):95-101.
- [2] 张元玉,赵双睿,何吉,等.卫星互联网安全:需求,现状与趋势[J].网络空间安全科学学报, 2024, 2(4):2-17.
- [3] 王逸璇,李洋,杨皓琪,等.面向卫星互联网的链路层加密系统设计[J].网络空间安全科学学报, 2024, 2(4):95-105.
- [4] 孙茜,刘慧梁,王冀莲.卫星互联网信息安全风险分析与发展建议[J].中国电子科学研究院学报, 2023, 18(5):469-475.

Under the background of digital transformation, the exploration and practice of data governance construction in vocational colleges—taking Beijing Commercial School as an example

Qiuyan Wang Fengying Shang

Beijing Commercial School (Party School of Beijing Xianglong Asset Management Co., Ltd.), Beijing, 102209, China

Abstract

In the context of digital transformation, data has become a core asset, serving as a driving force for high-quality development and the “golden key” to modernizing governance systems and capabilities. Schools need to deepen data governance to enhance their governance capacity and modernization level. This study proposes a solution framework for school data governance construction, which relies on institutional development, is based on technological enhancement, ensures multi-stakeholder collaboration, and aims to improve data governance efficiency. The approach focuses on achieving comprehensive aggregation of student growth and teacher development data, integrated optimization of business metrics, and establishing data service systems and decision-making mechanisms. By designing data indicator dimensions from perspectives of teachers, students, and departments, it precisely delivers personalized data services through “one policy per individual, one policy per department, one policy per matter.” This constructs an educational big data application ecosystem characterized by “data-driven decision-making, data-powered services, and data-fueled innovation,” thereby supporting and guiding schools’ high-quality development.

Keywords

digital transformation; digital campus construction; data governance

数字化转型背景下，职业院校数据治理建设的探究与实践——以北京市商业学校为例

王秋燕 尚锋影

北京市商业学校（北京祥龙资产经营有限责任公司党校），中国·北京 102209

摘 要

在数字化转型的背景下，数据已成为核心资产，是高质量发展的推动力，是提升治理体系和治理能力现代化的“金钥匙”，学校需深入开展数据治理，以提升治理能力和现代化水平。本课题提出了以制度建设为依托、以技术提升为基础、以多元共治为保障、以提升数据治理效能目标的学校数据治理建设的解决方案分析，以实现学生成长、教师发展数据“全量”汇聚、业务全量指标一体增效、打造数据服务体系和数据决策体系，从师生视角、部门视角、学校视角设计数据指标维度，精准提供“一人一策、一部一策、一事一策”个性化数据服务，构建“用数据决策、用数据服务、用数据创新”的教育大数据应用生态，支撑引领学校高质量发展。

关键词

数字化转型；数字校园建设；数据治理

1 研究的背景及意义

教育数字化是数字中国战略的重要组成部分，是推动教育强国建设的重要战略支撑。党的二十大报告指出“推进教育数字化，建设全民终身学习的学习型社会、学习型大国”。

数据已成为核心资产，是高质量发展的推动力，是提升治理体系和治理能力现代化的“金钥匙”，学校需持续利用新一代信息技术提升数据管理水平，推动教育决策由经

验驱动向数据驱动转变、教育管理由单向管理向协同治理转变、教育服务由被动响应向主动服务转变。

2 课题核心概念界定

数据治理，是以数据价值为牵引，打造以数据资产为中心，平台能力建设与场景数据服务并重、数据生产与应用协调的长效工作机制与技术体系。

在规划落实的过程中，计划通过数据治理体系及“数据四化”来实现数据治理长效开展。数据四化具体指：业务数据化、数据资产化、资产服务化、服务业务化。

业务数据化，能实现让业务数据看得见，接得上，存

【作者简介】王秋燕（1985—），女，中国北京人，本科，讲师，从事计算机应用、信息技术、教育信息化研究。

得下；数据资产化过程，是对各类来源的数据进行标准化的处理和监管工作，将来自不同系统的数据进行标准化的处理转换，形成统一标准的校级数据资产；资产服务化，实现从数据采集、存储、计算、应用、销毁全过程的管理；服务业务化，让数据管理回归到解决业务问题的本质上来，体现数据的资产属性。

3 学校现状及建设需求

我校经过多年的信息化建设，在基础设施、信息化服务管理和师生发展等方面取得了阶段性成就。但对标教育部关于数字校园建设的最新要求，仍然存在一定的差距。最新要求指出：要坚持“应用为王”，面向师生、面向管理、面向教育教学，提供有用、好用、管用的数字化教育服务。对标数字校园建设中，对数据内容、管理平台、管理手段的最新要求，在数据治理初步探索中，我们也识别出了当前存在的技术侧与需求侧供需不匹配的主要问题：

3.1 治理体系未健全，长效治理机制有待完善

随着2021年9月《中华人民共和国数据安全法》的实施，对于数据安全的要求也不断提升，然而我校关于数据资产的管理、使用、操作、流转、开发等过程，尚缺乏一套系统性的规范和制度，虽然通过数据治理的技术过程可以建立起一个可用的数据中心，但是必须同时配套落实一系列的规范制度体系，才能让数据治理的实施成果长期保持和不断优化。

3.2 数据内容非全域，科学决策能力有待提升

早期学校数据中心建设，关注的范围局限于学生、教师、教学等核心数据，未掌握全量业务数据，已不足以支撑学校在数字化时代要面对和处理的各种决策压力和挑战。学校管理的科学决策能力，将有待于通过不断成熟的大数据技术进一步改善提升，从依靠经验感知进行决策，转向基于客观有效、体量巨大的数据支持进行决策，提升决策的科学性、准确性。

3.3 执行标准不统一，精准管理能力有待加强

由于各部门业务需求的不断变化，以及历史数据的不断累计，各业务系统中仍存在一定比例的数据执行标准不统一的问题。同时由于业务部门对数据权责和数据价值的意识不强，部分非关键数据，存在一定程度的不规范问题。例如，“本科”、“本科毕业”、“大学本科”，从字面理解，完全没有问题，但缺乏数据标准化。通过系统性的数据治理，不仅可以规范数据标准的执行准确度，还可以通过数据模型设定或数据定义等方法实现决策的个性化和精准化服务。

4 解决方案

本课题提出了以制度建设为依托、以技术提升为基础、以多元共治为保障、以提升数据治理效能目标的学校数据治理的解决方案，构建“用数据决策、用数据服务、用数据创新”的教育大数据应用生态，支撑学校高质量发展。

在方案落实的过程中，将通过数据治理体系及“数据

四化”来实现学校数据治理能力的跃迁。

4.1 强化数据治理机制建设，保障长效开展能力

在建设中，须建立一整套数据治理相关制度体系，一方面通过制度保障数据治理安全有序推进、同时也保障未来学校在数据操作使用方面有章可循、责权明晰。

4.1.1 完善校级数据标准体系

数据标准是开展数据治理的前置条件。结合最新国家标准、监管上报要求、学校现实业务管理流程进行系统性的调研，计划对当前已有标准进行修订和整合，让《数据标准》既符合国家行业相关标准要求，又能够满足学校实际业务管理的要求。与此同时，设计数据标准的执行规范，保证数据标准切实应用到各个系统开发和数据定义过程中，使各个系统间数据的传输与管理符合标准规范的要求。

4.1.2 建设完善的数据资源体系

通过对全校统一数据标准的制定和管理，全面采集治理各类数据，构建一套长期服务于全校的标准化、高质量、多维度、多用途的数据资源池，完成数据入仓。

4.1.3 构建完善的数据管理体系

通过数据调研、采集、治理过程，对学校在数据管理方面需要加强、改进的环节形成清晰的认知，在此基础上，制定和完善一整套数据管理相关的规范和制度，真正实现数据分级分类的安全监管。

如上管理制度，需要通过学校的行政管理体系进行推进和执行，进而从根本上改变数据操作生命周期中的漏洞、矛盾、管理缺失、不规范操作、错误操作等问题，使数据治理的成果能够长期持续、不断进步。

4.2 实施全量业务数据采集，提升科学决策能力

升级数据中台，实现将学校人力、教务、督导、学工、OA等数字校园系统中的全域业务数据一键集成，线下数据快速采集，非/半结构化数据海量接入，接口数据高效管理，通过业务数据化，完成底部数据的基础保障，上层应用才能有足够的数据支撑，进而促进学校数据治理积极良性的流转，为各级用户和校级提供科学决策依据。完成校内分散数据“能采尽采”，通过全域数据湖，避免需要某类数据时，二次协调厂商进而产生接口费等问题。厘清业数关系，盘清学校数据资源家底，掌握现状全貌，为后续数据的权责确定、标准化、数据资产梳理打好基础。在业务数据化的过程中，对数据资源进行字段级标注，为后续实现数据定义清晰、达到可读、可用的目标。

4.3 完成数据标准化资产化，加强精准管理能力

数据的价值在于使用，使用的效果则依赖数据质量。在业务数据化完成后，只是把数据资源进行了统一的集成，但数据口径差异、质量问题仍然存在。

数据资产化有两个重点：一方面是对数据进行整合，另一方面是对数据进行加工。因各系统建设时间等原因，同一字段的描述可能存在差异，整合就是将各类来源的数据进

行标准化的处理转换,以统一的标准和字段实现共享。而整合好的数据,可以通过再次加工,使得不同维度的一系列数据和某项业务相关联,让这些数据具备一定的业务含义或可以反映出一定的业务规律,通过这些数据可以用于支撑后续的管理决策或为业务服务。这样加工后的数据,我们称之为数据资产。

5 创新与成效

数据治理不应只是在底层进行技术化的工作,需要回归到解决业务问题的本质上来,体现数据的资产属性,即实现服务业务化,以此推动数据应用,持续释放数据对于各级用户的价值与效能。

5.1 对管理提质增效的价值

以往领导想要获取数据要各个部门去问,升级平台后,直观、实时就能看到,以此科学决策。数据驱动的决策可以减少主观臆断和盲目决策的风险,提升学校在人才引进、教书育人、财务管理等核心事务方面的科学决策能力。通过数据治理的持续建设,升级管理决策与育人评价体系,为学校综合校情平台提供全量数据支撑,为各级管理者提供“人、财、物、事”等维度准确、及时的数据指标,实现精细化“管”、智能化“评”。主要应用场景举例如下:

以教职工人员情况这一级指标为例,展开多维组合分析,描述学校师资队伍的人员结构、学位分布、获奖情况、教师培养发展状况、高层次人才引进情况、教师人员流动情况等,便于学校管理者评估师资队伍结构的健康程度以及尖端优秀师资储备与影响力、判断师资人数是否满足学生发展及机构运行需求。

重大项目执行率的管理中,以往学校想了解项目进度,只能由业务部门统计上报,时效性差,通过平台呈现后,可实时查看项目执行进度、偏差预警,避免项目滞后而未及时知晓纠偏的风险。

通过对业务部门全量数据进行挖掘和可视化呈现,分析管理现状,发现薄弱环节或异常预警,以此提升精准管理水平。以学管工作为例,当学生消费数据实时呈现,并将消费最高和消费最低的极端情况预警,对于业务管理者,就可以关注消费最高的学生是否存在乱花钱甚至被欺凌的情况,消费最低的学生是否存教学系部可以充分利用平台积累的专业数据、行业数据,通过大数据精准分析高精尖产业需求,瞄准新业态下技术技能发展态势,为专业(群)的智慧升级提供决策,将产业更新、技术创新与专业升级紧密衔接,为专业建设提供科学可靠的依据。

平台降低了数据使用门槛、协调数据所花费的时间显著减少。以往在上级数据填报任务中,例如中基表填报、全国中职系统填报等,耗费大量时间和人员进行统计,涉及跨

部门数据时要耗时2-3天。资产服务化后,用户在平台上以流程形式随时申请所需数据,大大降低了跨部门数据的沟通成本和双方重复统计成本。

5.2 对师生个性发展的价值

通过数据中台统线上化管理,技术层面实现数据的互联互通以及与表单和流程的联动,让师生可以实现相关事项的一次填报,多次办理,从根本上解决师生已有数据反复填报的问题,实现了“数据多跑路、师生少跑路”的服务提质。

与此同时,升级后的数据中台形成师生画像,师生在校内的各种数据一目了然,全要素评价的可视化、数据化,可用于帮助师生全面了解个人发展所处的阶段和成效以及存在的不足,提供有效指导,促进师生个性化发展。

5.2.1 教师画像

教师画像建设,可以深入了解每位教师的特点、能力和需求,为教师提供个性化的教学支持。通过对教师的教学数据、教学反馈和多维评价等数据进行分析,可以全面评估教师的教学能力、教学质量,为教师提供针对性的发展评估和指导,促进教师的专业成长和发展。

5.2.2 学生画像

学生画像建设,能够直观了解每个学生的心理、成绩、学习状态、归宿状态、第二课堂等等,为学生提供个性化的教育指导和教学辅导。通过对学生的学业成绩、技能比赛、参与活动、第二课堂等数据进行分析,能够为学生提供符合其特点的学习资源和教育方案。通过学生学习全过程及课堂考勤的数据深度分析,教师能够客观了解学生学习特点、学习进度、现实困难和潜在问题,提前预警,并实时调整教学策略和方法,为学生提供更有针对性的学习指导,实现差异化“评”、个性化“学”,进而提高教学效果和人才培养质量。

6 结论与展望

学校目前已经有数据中心及综合校情分析平台,平台已汇集100余项近20类校情大数据分析展示,实现了关键核心业务数据的展示和初步分析。针对现状,学校数据治理将采用统筹规划、分步实施的策略进行建设,夯实数据基座、聚焦业务场景、解决实际问题,分期实施,体现数据价值,助力学校的数字化转型。

参考文献

- [1] 潘滢.大数据背景下职业院校智慧校园建设方法[J].电脑知识与技术,2020,16(29):242-243.
- [2] 丑鑫,魏孔鹏.大数据背景下职业院校智慧校园建设的研究与实践[J].数字技术与应用,2019,37(11):233-234,236.
- [3] 李叶欣.大数据背景下高职院校智慧校园建设研究与探索——以福建农业职业技术学院为例[J].信息与电脑(理论版),2019,31(18):238-240.