



07
2025

Information Science and Engineering Research

信息科学与工程研究

Volume 6 Issue 7 July 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 企业级数据中台研究与应用
/ 谭龙泉
- 4 无人机载光谱成像与雷达成像技术的发展
/ 王凤
- 7 卫星导航支撑下的公共交通自动驾驶路径规划与协同优化
/ 张翥
- 10 短距离无线通信技术在信息传输中的应用分析
/ 王志华
- 13 融合智能计算, 强化无线通信网络保障能力
/ 王文涛 刘晓迪 王心语
- 16 消毒机智能监测装置构建新型精准感控新防线
/ 杜昱铨
- 19 基于大数据分析的医院信息化管理平台建设分析
/ 陈冠军
- 22 运用科技技术守护民生福祉——计算机信息技术在智慧养老建设过程中的应用研究
/ 张笑维 侯刚
- 25 AI 技术在工程造价领域中的研究与应用
/ 谭建洲
- 28 智能电能表计量故障分析及处理措施探讨
/ 王海威
- 31 云计算环境下软件工程的安全性及可靠性研究
/ 卢涛
- 34 电子信息工程专业与创新创业教育融合实践路径
/ 李若雪
- 37 核电厂网络安全风险评估与防御
/ 张峥峥
- 40 基于物联网技术的发射机异态数据拓展监测系统设计
/ 赵倩
- 43 基于双控 + 应急 + 持续改进的安消一体平台设计与应用研究
/ 张宏 李春明
- 46 LED 大屏在广电领域的使用与维保探析
/ 干家飞
- 49 基于深度学习的网络入侵检测系统优化研究
/ 龚进
- 52 基于有限元仿真的高铁 RCF 裂纹检测中最优检测位置研究
/ 李燕豪 刘建军
- 55 基于 5G 专网的智慧钢铁研究与应用
/ 武涛
- 58 基于 Java Web 的校园闲置物品交易平台设计与实现
/ 葛辉
- 61 IPv4/IPv6 双栈网络环境下云应用系统网络安全技术研究
/ 张宝奇 杜旭东 李卫 常军
- 64 基于 OpenEuler 操作系统的 PXE 网络启动技术研究
/ 朱烨
- 67 基于 LABVIEW 的船载测控系统底噪自动测试系统设计
/ 王新荣 王宇 张地 岳星煜
- 70 采购数字化平台的发展研究
/ 王志勇 于浩
- 73 基于智染通云平台的一次染成率提升实践
/ 刘新兵
- 76 5G 通信技术在电子工程中的应用探讨
/ 徐锐灿 卢利平 莫俊威 张少聪 孙敏
- 79 基于 ADI DSP 家用音响系统设计
/ 周康
- 82 一种修井机智能司钻控制系统及研究
/ 朱德峰 范竹刚 周凯 韩强
- 85 基于 CAN 总线的数据通信系统分析
/ 邱继为 胡喆 王康
- 88 融媒体时代地面数字电视覆盖工程与新媒体协同传输机制
/ 蔡军
- 91 一种基于 FPGA 的列车 TSN 网卡研制
/ 黄涛 海浩 吕红强 王志刚 田欣
- 95 LNG 储罐数字孪生体构建方案研究
/ 刘思勤 陈立东 滕学睿 蔡林 钟波
- 102 基于区块链技术的电子合同管理软件安全性设计
/ 张杰
- 105 基于安陆 FPGA 以太网三速自适应设计
/ 刘剑辉

- 1 Research and Application of Enterprise-level Data Middle Platform / Longquan Tan
- 4 Development of unmanned aerial spectrum imaging and radar imaging technology / Feng Wang
- 7 Autonomous driving path planning and collaborative optimization of public transportation supported by satellite navigation / Nai Zhang
- 10 Analysis on the application of short range wireless communication technology in information transmission / Zhihua Wang
- 13 Integrating intelligent computing to enhance wireless communication network security capabilities / Wentao Wang Xiaodi Liu Xinyu Wang
- 16 The intelligent monitoring device of disinfection machine builds a new line of defense for precise sensing and control / Yuke Du
- 19 Analysis of Hospital Information Management Platform Construction Based on Big Data Analysis / Guanjun Chen
- 22 Use science and technology to protect people's well-being — Research on the application of computer information technology in the construction of smart elderly care / Xiaowei Zhang Gang Hou
- 25 Research and Application of AI Technology in the Field of Engineering Cost / Jianzhou Tan
- 28 Analysis of metering fault of intelligent watt-hour meter and discussion on treatment measures / Haiwei Wang
- 31 Research on the Security and Reliability of Software Engineering in Cloud Computing Environments / Tao Lu
- 34 Practical Path for the Integration of Electronic Information Engineering and Innovation and Entrepreneurship Education / Ruoxue Li
- 37 Network security risk assessment and defense of nuclear power plants / Zhengzheng Zhang
- 40 Design of a transmitter abnormal data expansion monitoring system based on Internet of Things technology / Qian Zhao
- 43 Research on the Design and Application of an Integrated Safety and Consumption Platform Based on Dual Control, Emergency Response, and Continuous Improvement / Hong Zhang Chunming Li
- 46 Analysis of the Use and Maintenance of LED Large Screens in the Field of Broadcasting and Television / Jiafei Gan
- 49 Research on optimization of network intrusion detection system based on deep learning / Jin Gong
- 52 Research on the Optimal Detection Position in RCF Crack Detection of High-Speed Railways Based on Finite Element Simulation / Yanhao Li Jianjun Liu
- 55 Research and Application of Smart Steel Based on 5G Dedicated Network / Tao Wu
- 58 Design and implementation of campus idle goods trading platform based on Java web / Hui Ge
- 61 Research on network security technology of cloud application system in IPv4/IPv6 dual-stack network environment / Baoqi Zhang Xudong Du Wei Li Jun Chang
- 64 Research and Implementation of PXE Network Booting Technology Based on OpenEuler Operating System / Ye Zhu
- 67 Design of automatic-test system for Shipboard TT&C system Noise floor based on LABVIEW / Xinrong Wang Yu Wang Di Zhang Xingyu Yue
- 70 Digital intelligence empowers ecological collaboration / Zhiyong Wang Hao Yu
- 73 Practice on Improving One-Pass Dyeing Rate Based on Zhirantong Cloud Platform / Xinbing Liu
- 76 Discussion on the Application of 5G Communication Technology in Electronic Engineering / Ruican Xu Liping Lu Junwei Mo Shaocong Zhang Min Sun
- 79 Design of Home Audio System Based on ADI DSP / Kang Zhou
- 82 An Intelligent Driller Control System for Workover Rigs and Its Research / Defeng Zhu Zhugang Fan Kai Zhou Qiang Han

- 85 Analysis of Data Communication System Based on CAN Bus
/ Jiwei Qiu Zhe Hu Kang Wang
- 88 The ground digital TV coverage project and the collaborative transmission mechanism of new media in the era of integrated media
/ Jun CAI
- 91 Development of a Train TSN Network Card Based on FPGA
/ Tao Huang Hao Hai Hongqiang Lv Zhigang Wang Xin Tian
- 95 Research on the construction scheme of digital twin of LNG storage tank
/ Siqin Liu Lidong Chen Xuerui Teng Lin Cai Bo Zhong
- 102 Security design of electronic contract management software based on blockchain technology
/ Jie Zhang
- 105 Three speed adaptive design of Ethernet based on Anlu FPGA
/ Jianhui Liu

Research and Application of Enterprise-level Data Middle Platform

Longquan Tan

CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan, 412000, China

Abstract

Over the past 20 years, IT managers of domestic and foreign enterprises have built information systems such as ERP, PLM, CRM, MES, and MRO through the construction of information projects, achieving the goal of business informatization. However, the rapid independent iteration of each system has led to the frequent occurrence of the familiar “siloed” system architecture and the phenomenon of information islands. With the rapid development of digital technology, new business models are accelerating the transformation of the world around us and people’s lives. We hope to leverage our own experience in digital transformation, be committed to developing and applying advanced ICT technologies, actively promote the independent research and development of data middle platforms, and achieve the collection, storage, computing, and processing of massive data, as well as unified standards and standards. Provide users with flexible, efficient, reusable and low-cost data services. Lowering the threshold and investment for digitalization helps enterprises quickly integrate into the digital world, enabling them to develop more rapidly, healthily and steadily.

Keywords

data center; innovative application; data governance; data model

企业级数据中台研究与应用

谭龙泉

中车时代电气股份有限公司，中国·湖南 株洲 412000

摘 要

在过去的20年，国内外企业IT管理者通过信息化项目建设，构建了ERP\PLM\CRM\MES\MRO等信息化系统，实现了业务信息化目标，但是各个系统独立的快速迭代，使得我们熟悉的“烟囱式”系统架构、信息化孤岛现象频频出现。随着数字化技术的快速发展，新型的商业模式正在加速改变周遭的世界和人们的生活，希望借助于企业自身的数字化转型经验，致力于开发和应用先进的ICT技术，积极推进数据中台自主研发，实现对海量数据进行采集、存储、计算、加工，统一标准和口径，为用户提供灵活、高效、可复用、低成本的数据服务。降低数字化门槛和投资，帮助企业快速融入数字化世界，使得企业可以更快速、健康、稳步发展。

关键词

数据中台；创新应用；数据治理；数据模型

1 概述

全球加速步入数字经济新时代，数字化、网络化、智能化、智慧化将成为未来经济发展的方向^[1]，习近平总书记强调，要抓住产业数字化、数字产业化赋予的机遇，不断激发中国经济高质量发展的新动能。国资委印发了《关于加快推进国有企业数字化转型工作的通知》，就推动国有企业数字化转型做出了全面部署。离散制造业产品呈现品类众多、结构复杂，小批化等特点，企业经营管理当前面临了业务体系庞大、精细化管理难度大、业务流程运转“不通畅”、数

据存在孤岛、产品质量数据难追溯等问题。公司在十四五规划中明确了建立“精细化管理”与“智能化管理”的企业应用，通过数字技术来实现数字化赋能目标。

2 数据分析痛点问题

公司推进数字化转型建设以来，以指标和业务牵引，数据模型开发已快速交付业务需求为首要目标，开发过程和数据模型管理存在以下几个问题：

“数据不好找”：模型有很多，业务人员查不到，对外的数据资产目录没有形成规范，从最早的“市场、研发、售后、采购、生产”到按一级流程，缺少集团化的支撑能力。

“数据不能持续可用”：缺少治理环节的参与，导致模型上线后一段时间后无人问津，变成呆滞资产。

“数据不易懂”：快速交付模式下，各专项独立开发，

【作者简介】谭龙泉（1986-），男，中国湖南株洲人，本科，工程师，从事数据技术组长，数据分析领域信息化解决方案交付和实施研究。

模型技术和业务元数据丢失、同样的维度代码不同,给数据消费端造成困扰。

“数据架构不完善”:未建设公司统一的数据语言,数据分析停留在简单报表,且时效性不高,难以实现全面的业务监控。

3 数据中台建设目标

通过数据技术,实现对海量数据进行采集、存储、计算、加工,统一标准和口径,形成数据资产,为用户提供灵活、高效、可复用、低成本的数据服务^[2]。

3.1 数据采集方面

需要支持实时和批量数据采集,数据类型包括主流的关系型数据库含:oracle、sqlserver、mysql、hana、postgresql、doris、hive、Mongodb、实现图片、机台日志文件采集和解析、支持第三方接口数据源(restful/soap)、支持通过接入其他数据库驱动的方式自定义数据库。

3.2 存算平台方面

提供分布式存储系统、流式数据处理框架、批量数据处理框架等功能组件。支持结构化和非结构化数据抽取和存储^[3]、计算、支持集群节点横向按需扩展、支持集团化多租户管理模式,各租户之间数据相互独立,公司各产业按租户申请使用。

3.3 数据资产方面

提供数据全生命周期管理能力,含源系统定义、元数据管理、数据标准、数据质量、数据资产目录、数据开发、

数据脱敏等能力。

3.4 数据探索方面

提供自助分析工具,满足用户不同的自主化分析需求,包括数据集选择、报表字段定义、图表类型选择等功能。

4 数据中台功能设计

坚持走独立自主的技术路线,利用大数据、物联网、AI等新一代ICT技术,以标准化用户入口、流程、规则、数据的管理过程为基础,并结合XC的要求,确保流程通畅、数据可管、可用,界面风格一致,通过3年的建设,已发布数据中台“DCO”解决方案。

平台定位为企业级数据技术平台,基于Hadoop生态体系和技术中台微服务架构体系自主研发的平台级解决方案,专注于数据采集技术、数据存储技术、数据开发技术、数据治理技术;提供数据全生命周期管理一站式服务,帮助整合企业内外部业务数据、半结构化与非结构化数据,低成本快速实现数据价值最大化。平台功能包含了大数据存储平台、数据开发系统、数据治理系统三大模块功能,主要功能如下:

(1)大数据存储平台:提供各种异构网络、异构数据源的数据采集、集中存储和计算能力。(2)数据开发系统:提供数据集成功、离线开发、实时开发、算法等一站式开发功能,支撑快速实现数据处理。(3)数据治理系统:提供包含元数据管理、数据标准、数据质量、数据安全、数据资产功能,实现数据资产服务化。对比同行具有“快速交付、简单灵活、自助可控”特点,如图1所示。

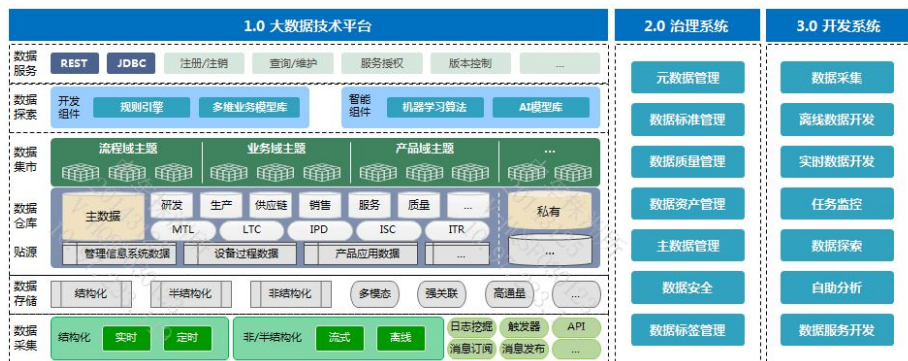


图 1：数据中台功能规划

5 数据中台在企业应用

平台历经3年研发现已投产使用,通过建立数据领域模型,完全拉通了企业研、产、供、销、服、管理等核心领域的业务数据链,形成企业级数据湖和数据管理应用。在助力企业创新发展方面:

数据中台方案助力企业经营管理能力提升,基于数据中台构建企业级APP,通过接入34个核心信息系统的业务数据,实现了经营指标按公司、事业部、产品线、项目等多个维度的经营管理指标自上而下的分解贯通,提升产业协同发展的经营作战效率。

数据中台方案助力产品质量全生命周期管理,基于数据中台构建产品质量全生命周期追溯管理工业APP,完全支撑了企业自产产品按批次管理到按序列号管理的业务精细化变革,打通了产品从物料寻源、采购、设计、工艺、外协、仓储、运输、装车的产品全生命周期管理,逐步将质控重心从生产过程环节向车载运行监控转移。

数据中台方案助力智能化生产能力提升,结合先进的ICT技术,依托IOT平台,接入智能化产线设备控制系统数据,采集自动化产线机台数据,实现生产制造过程透明化、产品良率分析和故障预警,提升了产线智能化控制水平及生

产效率。

数据中台方案的跨产业应用，数据中台方案从主营产品推广至新型发展产业，在开展不同产业园区管理、智能制造生产过程监控管理方面，提供了可差异化选配的数据应用解决方案。

6 存在的问题及对策

一是面临了大量个性化需求难满足：数字化平台应用单位反馈已有报表格式和图表形式不能满足个性化分析需求。

为满足用户不同的自主化分析需求，提供自助分析工具，包括数据集选择、报表字段定义、图表类型选择等功能，能对数据进行筛选、切割、排序、汇总等，自助灵活地达成期望的数据结果，建议基于开源技术组件，建设自助数据分析系统，完善数据源管理、数据集管理、数据可视化、自助数据模型开发能力，实现员工自定义数据分析。

二是技术难题亟待攻克：大量 IOT 数据源采集存在技术问题，公共数据仓库贴源层数据对象存在重复抽取现象，众多业务源系统，面对海量数据的抽取时，给源系统带来一些性能压力。

组织开展技术平台共性组件开发与能力建设，以及技术规格、应用规范的标准化设计，形成信息化自主技术中台的技术路线、建设要求和推广计划；着力推动数据中台的数据可视化组件开发和数据权限管控能力升级，同步开展 IOT 库的 API 接口分析和数据采集通用程序开发，不断提升技术平台支撑力。完善大数据平台功能，按系统统一建设公司贴源层数据对象，并归集到数据资产目录统一管理。

三是数据治理能力待建立：数据治理工作尚未形成组织级长效机制与能力。

结合公司业务与信息系统应用现状，对标行业先进，从组织保障、文化建设和制度管控等三个维度构建公司数据治理体系。建立统一的数据治理管理制度、数据标准、数据质量规则，强调管理用数据说话、用数据支撑业务决策，落实数据管理的第一职责，建立考核机制，提升数据质量；同时，组织建设数据管理支撑系统，包括元数据管理、数据资产管理、数据质量管理、数据服务管理等系统平台，为公司产业数字化系统平台提供数据服务。

四是人力资源短缺，公司分支机构普遍存在 BP&IT 人员资源短缺问题，未设置匹配支撑业务流程优化和信息化支撑的组织。业务流程无人优化，导致业务运行低效低质量，同时，因 IT 人员缺乏，无法完全支撑业务流程的落地和业务效率的提升。

站在公司视角，做好信息化人才三年规划，全盘考虑信息化人力资源整合和集约化管理，盘活现有内部资源。

7 关于进一步完善平台的构想建议

立足公司“十五五”发展战略，为公司数字化转型提

供一个技术领先、自主可控、经济适用的数据中台解决方案，实现搭建“一个数据技术平台”，研发“一个数据治理系统、一个数据开发系统”，为数字化转型提供技术平台支撑。

7.1 大数据平台服务支持能力扩展

数据底座持续扩展离线处理、实时流处理、实时检索、交互分析、MPP 技术数据库领域组件能力、建立平台运维和开发规范，降低数据存储与分析成本^[4]；构建基于大数据技术平台数据开发服务能力，实现数据采集、实时数据开发、离线数据开发、数据服务发布、数据自助分析等功能，提升中台开发效率和成本。

7.2 数据治理能力持续建设

构建基于大数据技术平台数据治理服务能力，实现元数据管理、数据标准管理、数据质量管理、数据资产管理等功能，提升数字化平台的数据管理能力和数据质量。规划并构建全所数据资产服务目录，面向各企业单位的数据资源开放共享、数据交换、数据分析等场景，为数据提供方与数据需求方之间共享数据提供平台，提供统一的注册、发现、查询、定位、获取数据资源的入口，发挥数据资产价值。

7.3 数据脱敏建设

构建一套数据安全技术防护体系，根据数据的分类分级规则，建立对应的数据安全管控策略，实现对数据全生命周期进行管控，包含数据从采集、传输、存储、处理、分享直到销毁的全部过程。

7.4 创新应用建设

顶层规划、分布推进：聚焦经营管理数字化建设目标，结合企业经营实际，统筹规划建设方案，分梯次、分阶段、分步骤完成建设。

统一标准 数据贯通：以一体化经营指标体系为牵引，以业务流程为主线，集成市场、研发、制造、采购、售后、财务等各项经营情况数据，按照“一套标准、一套数据”要求，基于统一的数据入湖标准，实现数据贯通。

8 结语

本研究立足企业数字化转型过程中数据迫切需求，基于 ICT 技术发展方向提出数据中台解决方案，即为企业提供数据“采、存、管、用”全生命周期平台管理能力。介绍了数字化转型过程中数据分析业务痛点、数据中台建设推进过程中存在的问题及对策思考。帮助整合企业内外部业务数据、半结构化与非结构化数据，低成本快速实现数据价值最大化。

参考文献

- [1] IDC.《中国数据空间市场分析》[R],2025:45-47.
- [2] 张照, 关晓峰, 崔伟. 基于数据中台的企业数字化转型分析[J]. 数字通信世界, 2024, (01): 170-172.
- [3] 陈晓宇, 杨川, 胡陈啸. 深入浅出 Prometheus: 原理、应用、源码与拓展详解 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2019: 60-79.
- [4] 华为公司数据管理部. 华为数据之道, 2020, 10: 98-99.

Development of unmanned aerial spectrum imaging and radar imaging technology

Feng Wang^{1,2}

1. The 38th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Hefei, Anhui, 230088, China
2. Key Laboratory of Aperture Array and Space Application, Hefei, Anhui, 230088, China

Abstract

As a primary reconnaissance and combat platform in future development, the advancement of payload technologies will directly impact the operational effectiveness of unmanned aerial vehicles (UAVs). This paper focuses on reconnaissance payloads, detailing the evolution of spectral imaging and radar imaging technologies for UAVs. It outlines the working principles of these two imaging techniques, analyzes their respective advantages, and ultimately provides an outlook on future trends in UAV and payload development. With technological progress and the demands of information warfare, UAVs are playing an increasingly vital role in modern conflicts due to their unique capabilities. Current combat missions have expanded from traditional intelligence gathering and battlefield surveillance to target localization, air defense suppression, precision strike against ground targets, and intercepting cruise missiles. The integrated reconnaissance-and-attack capability of UAVs better adapts to the increasingly complex battlefield environments.

Keywords

UAV; Spectral imaging; Synthetic aperture radar; multi-source information fusion

无人机载光谱成像与雷达成像技术的发展

王凤^{1,2}

1. 中国电子科技集团公司第三十八研究所, 中国·安徽 合肥 230088
2. 孔径阵列与空间探测安徽省重点实验室, 中国·安徽 合肥 230088

摘 要

无人机作为未来发展中主要的侦查和作战平台, 载荷技术的发展将直接影响无人机的作战效能。本文针对无人机的侦查类载荷, 阐述了无人机载光谱成像技术和雷达成像技术的发展, 并简述了两类成像技术的工作原理, 分析了各自的优势, 最后对无人机及其载荷的未来发展趋势进行了展望, 随着科学技术的发展和信息化战争的需求, 无人机因其独特的优势, 在现代战争中发挥着越来越重要的作用, 目前无人机的作战任务已由传统的情报侦察、战场监视向目标定位、防空压制、对地精确攻击和拦截巡航导弹等领域发展, 无人机的侦察打击一体化能够更加适应日趋复杂的战场环境。

关键词

无人机; 光谱成像; 合成孔径雷达; 多源信息融合

1 引言

无人机察打一体的作战前提是无人机的侦察预警、跟踪和识别等任务的实现, 相应地, 无人机的任务载荷主要为光电和雷达等侦查类载荷, 它们作为无人机上的重要传感设备, 一直是国内外无人机领域研究的重点方向 [1-5]。光电类载荷由于只能测量目标相对于载荷的角度, 无法进行距离的测量, 故往往与激光雷达结合进行目标的跟踪, 光电类载荷已经从普通的光学相机、红外相机向多光谱相机、高光谱相机和超光谱相机发展, 光谱覆盖范围越来越广, 分辨能力

越来越强; 而雷达类载荷相比于光电类载荷, 可以测向测距, 实现对目标的跟踪, 同时它的波段往往比光学波段大得多, 所以穿透能力更强, 探测距离更远, 且能够全天时、全天候工作, 目前机载雷达主要是合成孔径雷达, 它的成像分辨率高, 但是成像效果对目标的姿态敏感。可见, 在目标识别方面, 光电类载荷与雷达类载荷各有优劣, 可以根据不同的任务实现光电和雷达的综合识别, 通过融合互证, 提高目标识别的准确率和资源的有效利用率。故本文将着重论述无人机载光谱成像与雷达成像技术, 并对侦查任务载荷的发展趋势进行展望, 为无人机的智能化发展提供一定的指导和借鉴意义。

【作者简介】王凤 (1991-), 女, 中国吉林公主岭人, 博士, 工程师, 从事目标识别研究。

2 无人机载光谱成像技术

可见光成像因为常常会受到环境的影响,不能实现全天候工作,具有一定的局限性。同时,当被测目标存在伪装或者遮挡物时,系统的识别能力会受到明显影响。而红外光因为波长较长,具有更强的穿透性,即使目标上存在涂层、迷彩色甚至遮盖物,仍能获取被测目标的红外辐射图像,与背景区分开来从而进行有效识别。尽管如此,单纯的光学成像主要是空间维成像,获取被测区域的二维图像,目标的信息量较少。而光谱成像则在原有的空间成像的基础上增加了光谱信息,如图1所示,获得二维图像中对应每个像素位置上的光谱分布,从而构成三维数据立方体,相比于传统的单一宽波段光电成像技术,大大丰富了目标场景信息,进行极大提高了对伪装目标的探测识别能力[6-7]。

目前,多光谱成像技术主要是基于色散分光原理,根据分光策略的不同,可分为光路分光式分光和滤光片式分光两种[8]。其中,光路分光通过用棱镜或光栅将目标的不同波长的光分散开,再通过会聚系统将目标不同波长的光聚焦在图像传感器的不同位置。棱镜是利用不同波长的光在介质中折射率不同从而投影到不同位置的传感器上进行分光,而光栅是利用光经过大量等间隔的狭缝产生衍射和干涉的原理进行分光,相比于棱镜来说,它的色散率高且色散均匀性较好,是目前成像光谱仪中最为广泛采用的一种分光元件,但是它的加工工艺比较复杂,且能量利用率低。而滤光片式光谱仪一般采用线性渐变滤光片进行分光,滤光片紧贴图像传感器,对应传感器的某一行像元,故每个像元接收到的光谱波长与相应位置上滤光片的透过波长一致,通过一定的扫描方式可以获得完整的目标光谱图像[9],滤光片式成像光谱仪具有结构简单、系统紧凑的优势,为目前无人机载普遍采用的多光谱相机样式。

随着战场欺骗手段的多样化,虚假伪装目标的层出不穷,目标精准探测识别的需求日益迫切,高/超光谱成像技术由于光谱分辨率更高,对目标的识别更为精细,逐步发展起来。高光谱成像技术根据原理不同,可分为色散型和干涉型,色散型以基于液晶可调谐滤光片的光谱成像技术为主,该技术利用液晶电控双折射效应实现光谱连续可调,本质上是一种带通可调双折射滤光片,相比于传统的滤光片式光谱仪具有更高的光谱分辨率和能量利用率,实现了从多光谱调制到高/超光谱调制的跨越[10-11],干涉型光谱成像技术是利用干涉信息与光谱信息之间的傅里叶变换关系,对得到的干涉信息进行光谱复原来获取目标的光谱信息,虽然能量利用率和光谱分辨率很高,但是系统光路结构复杂、体积和重量较大,且信噪比易受环境影响、对平台稳定性要求高,故目前多是用在稳定的星载平台上。另外,对于光谱成像技术来说,为了保证光谱信息的可用性和准确度,必须进行光谱定标[12]。

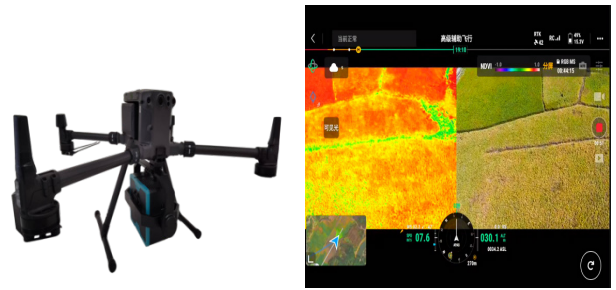


图1 无人机及其光电成像载荷和光谱图像

3 无人机载雷达成像技术

如前所述,雷达成像技术的主要特点是探测距离较远,具有全天候、全天时的侦察能力,可以弥补光电载荷设备的不足,目前无人机使用的雷达主要是合成孔径雷达(SAR),如图2所示,它以脉冲压缩技术获得距离向高分辨率,再根据合成孔径原理获得方位向高分辨率,进而获得目标的二维SAR图像,与光学成像技术不同,SAR成像结果与目标相对雷达的姿态有关,并且它的理论方位分辨率是常数,与波长、载机飞行高度和雷达作用距离无关[13]。

近年来,随着无人机雷达成像应用领域的不断扩展,常规的SAR成像技术已经无法满足需求,它的功能模式已经逐步从条带成像、聚束成像扩展到多极化成像、干涉三维成像等新型工作模式。其中,多极化SAR成像技术在获取目标二维SAR图像的同时,获取目标的极化散射矩阵,根据目标的极化散射特性,反演目标的特征,进行高分辨率的探测与识别,而干涉三维成像技术则是在常规的SAR成像基础上,在高度向利用切航迹的长阵列获得高分辨率,进而获得距离向、方位向和高度向三个维度的高分辨率图像,尤其在城市、山区等地势起伏区域,它可以克服传统SAR成像时的阴影效应,获取对地观测的三维高分辨率图像[14-15]。

无人机载雷达成像技术与光学成像技术一样,都是朝着横向信息维度扩展和纵向成像分辨率提高两个方向发展。当SAR系统的成像分辨率达到0.3m或以下时,可以获得和光学成像接近的效果,可见,高分辨率和多维度意味着能够获取更丰富的目标信息,有助于目标的精细化识别和伪装鉴别。



图2 无人机雷达载荷 SAR 图像

4 发展趋势

在陆海空天电网一体化的立体战争中,无人机作为可逼近作战前线或深入敌方进行侦察的有效平台,在智能化、微型化和集群化方向飞速发展[16],面对日益多样化的任务,单一类型的载荷传感器已经无法满足需求,鉴于机载光谱成像技术与雷达成像技术在侦查识别领域各有优势,越来越多的国内外学者相继开展多传感器融合方面的研究工

作[17-19],采用的融合理论方法一般有两种,一种是基于概率论的贝叶斯方法,另一种是基于置信理论的DS证据理论方法,前者由于对先验信息依赖较为严重,故较少在工程实现上应用。而为了适应不同的使用需求,更是演化出了很多改进的DS证据理论方法[20-21],为实现目标多源信息融合判决,需要对目标信息进行配准关联,利用配准的数学模型将多传感器获取的信息统一到同一时间基准和同一空间坐标系下,进而通过信息互补、融合互证实现对目标的精准识别和对环境的综合感知,同时为无人机的协同组网与智能化发展奠定基础。

参考文献

- [1] 周峰,刘建辉,郭俊等.国外机载红外预警系统发展动态分析,激光与红外,47(4),2017.4
- [2] 符成山,吴惟诚,雷东.美军无人机装备现状及发展趋势,飞航导弹, 2019.
- [3] 张凤晶,范秀英,吴迪.无人机光电侦察任务载荷研究, 2016(第六届)中国国际无人驾驶航空器系统大会.
- [4] 刘亮,吉波.无人机载雷达现状及发展趋势,现代导航,2014.6
- [5] 冯姗,曾祥忠.四通道可见光光谱相机的设计,应用光学,40(3),2019.5
- [6] 李江南,无人机载多光谱相机设计,舰船电子工程,33(4),2013
- [7] 成刚,方帆,宁飞等.无人机载多光谱侦察效能研究,应用光学, 38(5) 2017.9
- [8] 曹丛峰,基于滤光片阵列分光的无人机载多光谱相机系统研究, 硕士学位论文, 2017.6
- [9] 李文杰,王成良等,基于线性渐变滤光片的成像光谱仪综述,红外,36(3),2015.1
- [10] 汪伟,沈志学.LCTF机载高光谱相机光学系统设计,光子学报, 44(7) 2015.7
- [11] 王海峰.中小型无人机载光谱成像系统研究,工程物理研究院科技年报, 2016.12
- [12] 林军,邵俊,宋超等.干涉型光谱仪高精度光谱定标方法,光谱学与光谱分析. 35(12) 2015.12
- [13] 王岩飞,刘畅,詹学丽.无人机载合成孔径雷达系统技术与应用, 雷达学报, 5(4) 2016.8
- [14] Klare J, Weiss M, Brenner A, et al..ARTINO: "A new high resolution 3D imaging radar system on an autonomous airborne platform". International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Denver, 3842-3845, 2006.
- [15] 曲长文,周强,王颖.无人机载合成孔径雷达遥测技术, 舰船电子工程,1(29),2009
- [16] 袁成,宋刚,许佳,张健.2019年国外先进军用无人机研究进展.飞航导弹, 2020.
- [17] 李捷.面向目标识别的机载多传感器数据融合技术研究[D].2018.
- [18] 刘怀国,吴陈,张冰.D-S证据理论在多传感器融合中的应用[J].华东船舶工业学院学报. 2001(03)
- [19] 谢德胜,徐友春,陆峰,潘世举.基于多传感器信息融合的3维目标实时检测[J].汽车工程, 2022(03)
- [20] 赵秋月,左万利,田中生,王英.一种基于改进D-S证据理论的信任关系强度评估方法研究[J].计算机学报, 2014(04)
- [21] 周恩帆,马俊,周永杰,王欠欠,陈博行.一种D-S证据理论的多传感器数据融合算法[J].小型微型计算机系统, 2022(04)

Autonomous driving path planning and collaborative optimization of public transportation supported by satellite navigation

Nai Zhang

Beijing Satellite Manufacturing Co., Ltd., Beijing, 100085, China

Abstract

With the full-scale deployment and widespread application of China's BeiDou Navigation Satellite System, autonomous driving in public transportation is advancing towards systematic development. Satellite navigation not only ensures precision for path planning and multi-vehicle coordination but also enables accurate positioning, trajectory constraints, and dynamic scheduling through high-precision spatiotemporal benchmarks. These capabilities allow autonomous vehicles to better handle complex road environments while ensuring safe and efficient passage. This paper conducts systematic research on path planning and collaborative optimization for public transportation autonomous driving under satellite navigation support, tailored to China's road characteristics. The study proposes relevant path planning methodologies and collaborative optimization techniques, providing theoretical foundations and technical guidance to further promote the implementation and large-scale application of autonomous driving in public transportation.

Keywords

satellite navigation; BeiDou satellites; public transportation; autonomous driving; path planning; collaborative optimization

卫星导航支撑下的公共交通自动驾驶路径规划与协同优化

张鼐

北京卫星制造厂有限公司, 中国 · 北京 100085

摘 要

伴随我国北斗卫星导航系统全面建成及广泛运用, 公共交通自动驾驶正迈向系统化发展之路, 卫星导航一方面为路径规划和多车协同提供了精度保障, 另一方面依托高精度时空基准可以进行精准定位、轨迹约束以及动态调度使自动驾驶车辆可更好应对复杂的道路环境, 最终在保证安全的前提下实现高效通行。本文结合我国交通道路特点分别就卫星导航支撑下的公共交通自动驾驶路径规划与协同优化两方面展开系统性研究, 并提出了相关路径规划的方法与协同优化手段, 为进一步推动公共交通自动驾驶落地与规模化应用提供一定的理论基础和技术指导。

关键词

卫星导航; 北斗卫星; 公共交通; 自动驾驶; 路径规划; 协同优化

1 引言

结合实践来看, 我国北斗卫星导航系统在位置精度、时间同步和连续服务方面的优势, 使其成为支撑公共交通自动驾驶的基础设施。在现有研究中, 相关工作多集中于车载感知与局部环境建模, 而对于依托北斗导航体系形成的系统级路径规划与协同优化方法探讨不足^[1]。有鉴于此, 文章基于相关文献资料研究以及实践基础上针对卫星导航支撑下的公共交通自动驾驶路径规划与协同优化展开探讨, 以供参考。

2 卫星导航支撑下公共交通自动驾驶路径规划

2.1 基于北斗高精度定位的固定线路轨迹约束

基于北斗高精度定位的固定线路轨迹约束是保证公共交通自动驾驶运行稳定的重要手段之一。前期建模时, 应利用配备厘米级定位和姿态解算功能的高精度测绘车辆对整个目标线路进行测绘, 收集路线包括道路中心线坐标、车道宽度、弯道曲率、纵坡参数、站点精准位置等在内的几何信息, 并使用差分定位、多传感器融合手段构建高精度数字线路模型, 以作为自动驾驶车辆行驶过程中的几何约束基准。自动驾驶车辆开动中车载北斗高精度定位终端与惯性测量单元进行紧耦合解算, 借助实时差分改正数修正因卫星信号多路径效应与动态漂移带来的位置估计偏差, 并结合预设数字化线路模型作为约束条件以及在车辆路径规划阶段嵌入

【作者简介】张鼐（1984–），男，中国北京人，本科，高级工程师，从事自动控制研究。

车辆行驶轨迹生成模块,进行纵向速度曲线和横向轨迹的优化处理。针对道路交叉口处、曲率突变区段及坡度变化处,导入轨迹规划算法中的几何边界条件及动态约束,如在道路交叉口利用设定虚拟控制点以实现转向轨迹的渐变约束;在坡度较大的路段设置纵向速度补偿模型以维持自动驾驶车辆动力学稳定状态;针对公交站点前的区间内嵌入分段减速轨迹与高精度停车窗口,实现不同的运行工况下自动驾驶公共交通工具分层控制目的。最后把北斗连续定位解算结果和线路模型实时比较生成动态闭环校正机制,这让自动驾驶车辆行驶过程中实现偏移检测及修正,最终使得车辆实际运行轨迹与路径规划预测模型保持高度一致^[2]。

2.2 基于动态交通流预测的路径选择优化

基于动态交通流预测的公共交通自动驾驶路径选择优化需充分依托北斗卫星导航系统的高精度定位与时间同步能力,并结合城市交通感知平台的数据交互机制,构建面向群体调度的路径规划框架。在路径预测环节,利用北斗采集的车辆运行轨迹与时空基准数据对道路区段的平均速度、延误时长及流量演化规律进行建模,通过与城市道路检测器、视频监控单元及浮动车数据融合,形成分时段交通状态预测模型,实现对未来时域下道路通行能力的动态刻画。在路径生成阶段,系统依据预测结果对线路运行时效进行量化评估,对潜在拥堵风险路段建立多候选路径集,但在生成备用路径时需引入公共交通特定约束,即要求备用路径应该保证站点覆盖范围和原线方案完全相同,并且还要保证每条线路地理形状尽量能够与原线形一致,在满足人员上下车的基础上尽可能减少驾驶员绕行里程以及保证出行不受影响。运行控制阶段利用北斗高精度定位信息保障整个公共交通自动驾驶高效运行,一旦发现某路段发生运行延误达到阈值条件后,调度平台立即根据预先设定好的备用路径进行线路更换工作,并利用卫星链路向全部车辆发出一条调度命令来避免发生单车自行绕行引发后续交通混乱的情况。另外,路径选择优化时还可采取多车协同约束优化策略,即启用备用路径之后要根据线路运行间隔定期校准后方自动驾驶车辆间隔,以保证群体运行的时空一致性。总体而言,凭借着北斗卫星导航时控基准以及动态交通流预测对公共交通自动驾驶路径选择优化能够实现调度稳定性及精细化。

2.3 基于运营调度需求的时空路径编排

基于运营调度需求的公共交通自动驾驶路径规划必须在时空一致性约束下进行精细化设计,北斗卫星导航系统所提供的高精度时空基准在其中发挥核心支撑作用。具体而言,在路径生成阶段需要将车辆运行轨迹与运营时刻表进行严格耦合,即在轨迹优化模型中引入计划发车间隔、站点停靠顺序及计划到达时刻的多维约束,形成兼具几何可行性与时间一致性的路径解算结果。轨迹优化过程中可采用时空网络模型,将每一条候选路径离散化为时刻-位置对,并通过约束矩阵实现车辆轨迹与调度计划的绑定,以确保路径方案

能够满足预设的调度节奏。在运行执行阶段,北斗系统的高精度授时能力保证了车队间时间基准的全局统一,系统通过实时对比车辆的动态位置与计划轨迹,一旦检测到时间偏差大于设定值,就通过速度控制模块动态调整路径的速度剖面,保持整个车流节奏的一致性。针对整个自动驾驶车队协同方式上,在进行路径规划时不仅要考虑单车路径最优化,还要考虑到多车时空队列约束问题,即在一些重要路口或者枢纽节点设置队列合流和分离的路线编排策略,在此过程当中还需要按照调度计划实现车辆的实时组、散编队,以保证自动驾驶车辆的编队运行秩序的持续性和灵活性。另外,为避免路径耦合所带来的交通碰撞风险,时空路径编排中还应轨迹生成算法中引入北斗安全间距约束条件,利用位置和时间戳对相邻车辆之间的时空关系进行约束求解,在保证调度需求的前提下实现运行的安全性。综上所述,利用这个时空路径编排可以实现公共交通自动驾驶从轨迹生成-调度约束-运行修正的全过程的时空编排,并形成一种依托北斗系统的公共交通自动驾驶路径规划技术框架^[3]。

3 卫星导航支撑下公共交通自动驾驶协同优化路径

3.1 基于北斗授时的多车同步运行控制

基于北斗卫星导航系统的授时能力构建多车同步运行控制机制,是实现公共交通自动驾驶协同优化的关键环节。首先,在时间基准对齐方面,所有自动驾驶车辆需通过高精度北斗终端实现本地时钟与卫星信号的纳秒级同步,并通过车载时间同步模块将授时信号传递至车辆控制单元,以确保加速、制动、换挡及车联网通信的时序一致性。其次,在调度指令生成与下发过程中,中央调度平台基于北斗统一时标建立全局运行时序表,并将包括发车时刻、进站时刻、路口通过窗口期在内的多维时序参数,通过车路协同网络实时下发至各车辆终端;车辆需以北斗授时为参照进行自适应运行轨迹校正,当偏离时序表时由控制系统自动调节动力输出和减速度曲线,保持编队内部以及跨线路车流的运行一致性。再次,在枢纽路口的多线路交汇区域,车辆应依托北斗统一时标与车路协同控制算法建立分时通行机制,即在毫秒级时间片内完成不同车流的交替调度,保证各车队按照预设时间窗口无冲突穿越交汇口,同时车载控制器需在到达前完成基于授时信号的动态速度规划,从而确保进站与换乘环节的同步性。最后,在大规模公交网络运行条件下,需通过北斗授时驱动的分布式时钟同步机制,在不同车队、不同线路间维持跨区域的运行协调,并通过边缘计算节点对车辆运行时序数据进行局部校正与分发,使多车同步控制不依赖单一中心节点即可保持高精度时序一致性,从而形成全局统一的运行节奏与分布式调控体系。

3.2 基于道路资源共享的车辆协同调度

基于道路资源共享的车辆协同调度利用了北斗卫星导

航系统的高精度定位及轨迹连续性的优点,对公共交通自动驾驶车辆在复杂的道路环境下实现时空约束优化。具体调度过程为:首先使用北斗厘米级定位精度对自动驾驶车辆实时状态进行感知,然后由调度系统将各个车辆的位置、速度通过轨迹解算以及速度场拟合求得相邻两辆车上两点的距离以及速度的变化梯度,继而结合道路断面容量约束建立起车辆动态分配模型;如果当车道即将达到饱和状态后,可通过预测交通流强弱预判前方道路拥堵时刻,随后部分自动驾驶车辆在北斗导航下通过轨迹规划调整到备用路线行驶,以此来缓解局部路段流量,增加通行能力。当自动驾驶车辆行驶中遇驶入路口或瓶颈路段,通过北斗高频率定位数据变化率获得车辆精准的相对位置计算结果以掌握该区域内车流状况,随后通过北斗卫星向自动驾驶车辆下发各车辆通行速度指令,后者接收后按指令相应进行加减速,从而实现路口或瓶颈路段交替通行^[4]。另外,针对长距离公共交通自动驾驶协同上可借助于北斗卫星导航时序一致性对车辆通行进行跨区域同步控制,即对车辆行驶速度以及顺序予以协调,最终使得长距离自动驾驶车辆在道路资源共享条件实现高效通行。

3.3 基于换乘节点的跨线路协同优化

基于换乘节点的跨线路协同优化,需要依托北斗卫星导航系统的高精度时空基准,实现多线路公共交通自动驾驶在换乘枢纽处的精确协同调度。首先,在运行路径与时时刻校准方面,以北斗授时为统一时间基准,对各线路车辆的到站时刻进行毫秒级同步校对,调度平台通过建立基于时空约束的运行曲线库,将不同线路车辆的行驶轨迹与预设时序进行比对,实现车辆运行路径在换乘节点的高一致性,避免因不同系统时钟差异导致的衔接偏差。其次,在动态进站秩序优化方面,依托北斗高精度定位信息,调度系统对接近换乘站点的多辆车进行队列预测与进站序列重构,通过基于时空约束的车-站匹配算法调整车辆进站先后顺序及停靠时长,避免高峰时段车辆过度集中引发的节点拥堵,同时保持跨线路换乘乘客的衔接时效。针对换乘时序预设与轨迹一致性控制环节,须基于换乘枢纽级别构建其跨线路换乘时序矩阵并依据公共交通工具运行时刻表、站点数量及分布等实际确定出

最优的跨线路换乘路径衔接机制。随后再利用北斗卫星实时轨迹监测控制公共交通工具行驶速度以及进站时刻,以使公共交通自动驾驶车辆实际运行和预设时序二者容差处于阈值内^[5]。最后,在异常扰动下的跨线路协同修正方面,当单条线路发生延误时,调度系统基于北斗监测信息实时计算受影响的跨线路换乘链条,通过对相关线路车辆运行速度的区间调整、进站缓冲时间的再分配以及停靠顺序的动态切换,保持整体换乘时序的连续性与稳定性,从而实现多线路公共交通自动驾驶在复杂换乘环境下的高精度协同运行。

4 结语

综上所述,随着科学技术飞速发展背景下自动驾驶技术正成为推动交通转型升级的重要力量。当前,全球自动驾驶技术正处于快速发展阶段,展现出“智能化升级、场景多元化与产业加速”三大趋势。而公共交通自动驾驶的发展正在从实验验证迈向示范运行阶段,其中路径规划与多车协同是其能否在城市交通网络中稳定运行的关键。上文在充分结合我国北斗卫星导航系统实际情况针对公共交通自动驾驶在路径规划与协同优化展开了系统性探究。今后,在北斗卫星导航及自动驾驶技术更进一步发展推动下,公共交通自动驾驶路径规划与协同研究可逐渐深入到更为复杂交通运行场景提升其多源融合与系统级调度能力,从而全面提升公共交通自动驾驶的运行效率与服务水平。

参考文献

- [1] 吕万钧.车路协同条件下自动驾驶公交运行控制策略与算法研究[D].北京交通大学,2023.
- [2] 刘聪健,章步镐,罗鹏,等.人机混驾场景下城市快速路自动驾驶专用道环境可持续性评估与优化[C]//第十九届中国智能交通年会科技论文集.2024.
- [3] 董玮 李岩 郭宏伟 渠谨黛 董良.无信号交叉口自动驾驶汽车协同驾驶策略研究[J].交通科技与管理, 2024.
- [4] 应申,蒋跃文,顾江岩,等.面向自动驾驶的高精地图模型及关键技术[J].武汉大学学报(信息科学版), 2024, 49(4):506-515.
- [5] 张华,王钊桐,罗伟坚,等.自动驾驶融合感知定位精度的验证测试[J].汽车与新动力, 2024, 7(5):21-24.

Analysis on the application of short range wireless communication technology in information transmission

Zhihua Wang

China United Network Communications Co., Ltd. Jiangsu Branch, Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

In recent years, short-range wireless communication technology, which has developed alongside digitalization and industrial automation, has seen widespread application and research. Compared to traditional cellular networks or wide-area communications, this technology offers several advantages, including low cost, high speed, and low power consumption. It enables information exchange within a localized space, making it highly advantageous for applications in smart manufacturing, rail transit, medical equipment, and smart homes. This article explores the concept, value, and key aspects of short-range wireless communication technology in information transmission, aiming to provide theoretical guidance for its practical application and deployment.

Keywords

short distance wireless communication technology; information transmission; application; value; key points; analysis

短距离无线通信技术在信息传输中的应用分析

王志华

中国联合网络通信有限公司江苏省分公司, 中国 · 江苏 南京 210000

摘 要

近年来,在数字化进程与工业自动化进程中发展起来的短距离无线通信技术已经得到了广泛的应用及研究,相比于传统的蜂窝网或者广域通信而言,这种短距离通信具有低成本、高速率、低功耗等特点,可以实现局部空间之内的信息互通,具有很大的优势,并且能够满足智能制造、轨道交通、医疗设备和智能家居等诸多方面的应用需求。文章以此为切入点,从技术的概念、价值及要点就短距离无线通信技术在信息传输中应用展开探讨,以期为其具体应用与部署提供一定理论指导。

关键词

短距离无线通信技术; 信息传输; 应用; 价值; 要点; 分析

1 引言

短距离无线通信技术是现代信息传输结构的主要部分之一,近两年在国内得到快速发展,在高密度数据交换、复杂环境干扰性好以及低成本低功耗终端接入方面优势明显。相比传统的长距离传输方式,其结构更加灵活方便布置,适用于高频率的、少数据量的即时交换,而且短距离通信依托我国通信设备制造业的基础和技术标准日渐成熟,逐步在多个行业开始大规模地投入使用^[1]。但不可否认的是短距离无线通信技术在系统集成、干扰处理以及信道优化等多方面还存在一定的短板,这桎梏了其信息传输领域更为广泛的应用。

2 短距离无线通信技术概述

短距离无线通信是一种用于一定范围之内,以一定的

速率进行高速的通信,主要是通过电磁波的非接触方式进行数据传递的通信技术。这种技术具有低功耗、低成本、高灵活性等优点,在短程通讯中得到了广泛的应用,其中最常用的是 WLAN、Bluetooth、ZigBee、IRDA 及 RFID 等技术。加强对短距离无线通信技术研究,能够为社会发展提供更好的助力。

近几年,在“新基建”和工业智能化转型的驱动下,华为、中兴、大唐电信等国内各通信设备公司都加大了对低功耗、抗干扰型短距离无线通信模组和芯片的研发力度。一些企业根据不同的应用场景,如工业现场高干扰的车间内、结构复杂的地下空间和洁净手术室内等,形成了面向本行业的短距离无线通信多层次技术,并通过采用自组网协议、跳频、选路算法等方式增强了应用的可靠性,这体现了该技术具有加强的本地化和场景差异化的优化改进特点。

3 短距离无线通信技术在信息传输中应用价值

随着我国正加快通信基础设施建设步伐下,在信息传输领域中短距离无线通信技术的应用价值主要有以下 4 个

【作者简介】王志华(1979-),女,中国江苏南通人,本科,工程师,从事移动通信无线网络演进与发展研究。

方面。一是局部区域信息传输速率和响应速度有明显提升效果,得益于无需长距离基站中继,该技术通信链路较短、信号损耗较小,非常适合物联网节点、边缘端这类小容量数据包且频率较高的应用终端设备;二是减少短距离信息传输的费用是无线通信技术的一个显著特征,同时也是通信技术发展的一个客观需求^[2]。实际应用中,多个通信终端的数据量相对较大,为加强各终端的直接连接,提高运行效率,必须节省资源费用。利用无线通信技术进行短距离内的信息传送,能有效地减少信息的传送费用,大大节约传输成本;三是空间复用能力强,支持多用户并发通信,能够在诸如展会、商场、园区等场所发挥协同作用,减少用户之间信道冲突的问题;四是随着信息安全要求不断提高,短距离无线通信技术得益于自身物理限制而拥有一定的防泄漏有点,为此其可与加密方案融合形成闭环的数据防护,保证本地信息在边缘侧的私密性和可控性。总体而言,信息传输中短距离无线通信技术的应用有助于大幅强化本地数据传输效率且和使用便捷、安全可控。

4 短距离无线通信技术在信息传输中的应用

4.1 组网结构设计中的分布式调度机制

短距离无线通信技术在信息传输中应用,组网结构设计中的分布式调度机制是其中一项重要内容,这对于实现多节点协同通信有着重要作用。基于减少链路竞争提高信息的传输性能目标,须构建根据节点位置按需自适应的动态调整节点密度的拓扑结构,在通信节点上设置加权因子,加权因子由该节点的历史信道占用情况、自身缓冲区状态、任务优先级等动态设置,采用具有时钟同步功能的 CSMA/CA 改进算法进行调度控制,并用纳秒级精度的晶振作为同步基准,以实现时隙边界的对齐以及数据帧整合转发。例如:若针对钢铁厂高炉等高温条件下部署状态监控时,则需要在短距离无线通信网络中将高鲁棒性的传感器节点布置于炼钢炉周边,各节点利用位置信息进行感知连接形成链状的拓扑结构,随后再利用改进型的令牌轮转协议来限制每个节点数据占用的时间周期,在该协议下以节点间轮流传递调度令牌的方式实现发送控制,不仅可保证由于过于拥挤引起的数据包碰撞,并且还能确保保证每个节点进行数据占用的机会均等。同时在生产现场,通过中心控制器里添加负载感知模块,对链路上信息传输负载进行预测和判断,依据各节点的实际负载程度对其进行调度,在尽可能满足传输需求的同时,达到链路负载均衡的目的^[3]。另外,分布式调度机制中通信控制流程采用三段式状态迁移模式:第一段是链路状态检测阶段,根据物理层的反馈得到信道占用率、错误率;第二段是调度反馈模式,根据检测信息及时调整信息发射功率和接入优先级;第三段是任务切换阶段,由调度主节点发送命令给任务节点使其转入其它子信道或者轮转等待状态。借助于该模式能够很好地避免信息传输中大量节点密集情况下所导

致的通信碰撞问题,保证了传输稳定性以及实时性。

4.2 物理信道隔离与干扰规避技术

从实践来看,短距离无线通信易受信道拥塞及电磁干扰,尤其是在城市、工矿、医疗场所等复杂电磁环境中,因而须针对信息传输系统信道采取物理信道隔离以及干扰规避技术。以医院地下楼层如库房、办公室等用房无线监测系统为例,受该区域上下方均有限宽电气设备(电梯井),供暖通风与给排水管路等设施设备较多且管线相互连接,这就导致短距离无线通信在该地下环境中面临着严重的信道拥塞以及较强的信道干扰。为此采取物理信道隔离与干扰规避技术保障信息传输十分重要。部署环节借助频谱分析仪对目标环境开展长时间的频谱扫测工作,并且获取及记录不同频段内的 RSSI 以及 SINR 的数据,并据此建立基于统计建模的信道可用性优选表。与此同时,根据频谱占用分配情况来选取受到干扰情况较少的信道组作为初始工作信道组。通过跳频扩频(FHSS)技术,系统控制模块设置一定的跳频周期以及跳频序列,在指定时间段内给每组传感器设定相应频率资源,随后再以伪随机跳频方式降低对特定信道造成的不间断干扰。此外,可在医院地下各层使用高增益定向天线以及添加金属反射屏障的方式形成空间隔离结构,一方面能有效对无线信号的传布路径进行控制,另一方面则避免出现同频组间信号的重叠,从而达到提升系统性能的目的。另外,针对医院地下楼层可采用错峰传输调度机制,即在短距离无线通信中每个节点群具有各自的起始传输时间、传输周期等,这能够保证在同一时间窗口内信息传输不会出现相同的帧冲撞。最后在传输控制上,短距离无线通信可采取设定基于误码率(BER)的自适应重传,即单个信道如果超过了重传次数仍不能成功将数据上传到地面站端则从优选表中找寻备用通道,由后者继续完成后续的数据转发动作。通过以上措施地落实确保短距离无线通信技术能够在诸如医院地下楼层等高干扰环境下、多节点并发环境下实现通信链路稳态保持和信息传输的完整性^[4]。

4.3 通信节点部署与空间布局优化

在复杂封闭环境中部署短距离无线通信节点,需基于空间结构、电磁特性及节点互通要求开展高精度布局设计。节点部署应首先满足链路冗余原则,任意两个相邻节点间必须控制在其稳定通信半径的 70%-90% 范围内,并确保覆盖区域产生至少 15% 的有效重叠区,以避免信道边缘效应引发的数据丢失。在多障碍环境(如地下物流枢纽)中,需引入三维建筑信息建模(BIM)配合无线传播仿真工具(如 WirelessInSite)建立场景电磁模型,基于射线追踪算法获取各节点在结构遮挡条件下的信号反射路径、衰减分布与阴影区域,并将仿真输出与实测 RSSI 数据进行最小均方误差拟合修正,从而优化节点坐标。天线安装需统一采用线性极化短天线,其方向应严格与信号主传播路径一致,且安装高度应通过剖面结构图选取在无遮挡、最低反射干扰的中轴高

度。以三层地下车库为例,各层独立划分通信域,通过部署位于楼层几何中心处的 LoRa 主节点向外双向布设从节点,节点间距不超过 15 米,同时确保与上层系统接口网关间距在 20 米以内,以提升数据聚合稳定性。节点不得布设于存在强反射或电磁干扰源(如钢筋柱、机电设备)半径 2 米范围内,必要时引入电磁屏蔽层。各节点物理布局采用轴对称结构,主节点位于主通道中心,从节点沿通道延展布设,构建具备多跳中继能力的线性链式拓扑网络,确保在高密度结构遮挡条件下维持通信链路连续性与稳定性。

4.4 数据传输协议适配与帧结构定制

结合研究可知,我国目前应用较多的短距无线通信技术场景如智慧交通路侧终端协同、轨道交通信号控制单元间通信及电力巡检终端数据回传等等,这类典型场景通信需满足频率高、低数据量以及实时性强等要求。因而为实现典型场景高效信息传输目标,我们应在协议层级上开展数据传输协议适配与帧结构定制。物理帧结构上可采取固定长度的同步字段,该字段长度需依据接收设备同步精度进行优化配置,一般设置为 4-8 个字节的长度范围即可,这样既能保证判定帧头检后的准确度,同时又可增加帧头检后的同步收敛速度^[5]。而在地址段上则采取自适应动态绑定机制,同时再辅以设备唯一标识符与网络接入上下文以动态生成通信标识,一方面实现无需人工干预移动终端自动快速入网,另一方面则可根据信息传输具体情况选取合适的方法以帧方式确保数据成功高效传输。控制段设置为可变结构,根据控制帧、状态帧、数据帧等不同的帧类型设置不同的字段组集,以帧头控制字选择字段数量和排序,从而适配指令传输与状态回报的不同功能需求。传输逻辑层上建议使用半双工通信逻辑传输,即发送方在发送后等待接收方基于 ACK 机制的显式确认帧,ACK 帧中需包含序列号以标识对应的数据帧,如此才能确保信息传输中数据得以实现完整和一致。误码控

制上可采取将帧序号和丢包标识字段内嵌如帧结构中,这样一来借助于丢包重传机制实现数据包异常丢失的重新传输,从而有效增强链路鲁棒性。降低信道占用率上则需要使用物理层小帧聚合方式,在帧头通过扩展标记识别多个逻辑帧,随后将它们统一压缩封装到单个物理帧内进行传输。最后,在误码检测中按照场景误码率选用 CRC-16 或 CRC-32 校验法,在帧尾部添加校验字段占用 2 字节或 4 字节,从而保证帧级数据完整性的同时减少错检率。

5 结语

综上所述,短距离无线通信作为一种高效灵活且安全性较强的技术,其不仅在信息传输体系占据着重要地位,同时众多场景也显示了很高的应用成熟度和匹配度。上文在结合我国通信产业实际的基础上,阐述了短距离无线通信技术含义及其在信息传输方面应用价值和要点。今后,随着我国自主核心芯片、无线模组、网络协议栈等领域不断取得突破性进展,短距离无线通信技术也将更广泛的应用到社会生产与生活中各个行业,从而成为我国新型信息基础设施建设的重点方向。

参考文献

- [1] 冷增强.短距离无线通信技术在信息传输中的应用[J].数字技术与应用, 2023, 41(7):55-57.
- [2] 田福才.传输技术在信息通信工程中的应用研究[J].中国宽带, 2024, 20(7):58-60.
- [3] 高焕李佳珩.传输技术在信息通信工程中的应用研究[J].中国新通信, 2025, 27(3):10-12.
- [4] 郗凤林,肖克.短距离无线通信技术在信息传输中的应用研究[J].信息系统工程, 2018(5):1.
- [5] 刘学舜.短距离无线通信技术在信息传输中的实践研究[J].中国新通信, 2024, 26(6):7-9.

Integrating intelligent computing to enhance wireless communication network security capabilities

Wentao Wang¹ Xiaodi Liu¹ Xinyu Wang²

1. China Telecom Corporation Limited Shandong Branch, Jinan, Shandong, 250000, China

2. China Telecom Corporation Limited Qingdao Branch, Qingdao, Shandong, 266000, China

Abstract

Faced with the overloaded communication business requirements and strict Quality of Service communication perception guarantee challenges in high-density user scenarios of mobile networks, this paper adopts the 5G-Advanced(5G-A) intelligent business recognition guarantee system by deploying high-performance AI computing boards to enhance base station computing capabilities. The intelligent operation and maintenance system is constructed to realize intelligent perception, dynamic resource orchestration of multiple business flows, accurate identification and differentiated assurance of business flows. The AI computing boards are deployed at the Qingdao International Beer Festival venue, where high user density and substantial service demands are present. The actual test data demonstrates: mobile payment latency optimization is optimized by over 20%, instant messaging media transmission efficiency is augmented by more than 15% and real-time video uplink throughput is improved by 8.6%. The result conclusively verifies the deployment of AI computing boards, the deployment of AI-accelerated computing boards delivers transformative enhancements to diversified service experiences, achieving remarkable improvements in user perceived experience.

Keywords

Communication business, 5G-Advanced, AI computing board, Differentiated assurance, User perceived experience

融合智能计算，强化无线通信网络保障能力

王文涛¹ 刘晓迪¹ 王心语²

1. 中国电信股份有限公司山东分公司，中国·山东 济南 250000

2. 中国电信股份有限公司青岛分公司，中国·山东 青岛 266000

摘要

面对移动网络高密度用户场景下的超负荷通信业务需求与严苛的QoS通信感知保障难题，本文采用5G-A（5G-Advanced）智能业务识别保障系统，部署高性能智算单板提升基站计算能力，构建智能化运维体系，实现多业务流智能感知、动态资源编排、业务流的精准识别与差异化保障。将智算单板部署在用户密集且业务需求大的青岛国际啤酒节会场，经实测数据显示，移动支付时延优化达20%以上，即时通信媒体传输效率提升超过15%，实时视频上行吞吐量改善8.6%，这一结果充分验证了智算单板部署对多样化业务体验的颠覆性提升，显著提升用户感知体验。

关键词

通信业务；5G-A；智算单板；差异化保障；用户感知体验

1 引言

随着 5G/5G-A 网络的规模商用部署和智慧城市建设的加速推进，移动通信网络正面临着前所未有的业务承载挑战，特别是在城市高密度用户场景下，包括但不限于核心商业区、热门旅游景区、交通枢纽站点、大型体育赛事场馆等区域，这些区域通信业务类型也多种多样，如高清视频直播、实时

数据传输、大规模物联网设备接入等，用户数量过多或激增会造成网络拥塞、信号干扰等问题，导致通信质量下降，因此，对网络的带宽、时延、连接密度和稳定可靠性提出了严苛要求，移动通信网络需要满足指数级增长的业务需求，才可能保证用户的感知体验。因此，考虑通过引入智算单板^[1]，运用 5G+AI 深度融合技术，基于业务精准识别与差异化保障，实现网络有能力、运营有质量，提升用户感知体验^[2]。

2 5G-A 智算单板保障方案

2.1 智算单板方案架构

智算方案架构下的基站业务识别与智能保障系统是基于 RAN 智能化演进的前沿解决方案^[3]，该体系通过在基站侧部署高性能智算单板，构建分布式边缘算力节点，从网络

【作者简介】王文涛（1995-），男，中国山东济宁人，硕士，从事5G-A与低空技术研究。

【通信作者】刘晓迪（1993-），男，中国山东烟台人，本科，从事5G定制网与新技术研究。

效能优化与用户体验提升双维度切入，充分发挥无线侧的低时延、高实时性优势，实现四大核心功能模块^[4]的本地化闭环，分别为实时业务特征识别与分类、多维感知质量度量与分析、自动化故障诊断与智能自愈、持续性能评估与策略优化，实现了从感知到决策的完整闭环生命周期管理，摆脱了对第三方系统的依赖。这种架构不仅显著提升了网络自治能力，更通过边缘智能^{[4][5]}实现了毫秒级的业务响应，为 5G-A 及未来网络演进提供了创新的智能化范式。

2.2 场景选择与保障业务

考虑到青岛啤酒节作为典型的高价值文旅场景，具有超密集用户分布、高业务并发性及强体验敏感性的典型特征，青岛啤酒节现场的移动支付、网红直播、即时通信、短视频等业务对无线网络提出极致的容量与服务质量要求，基于此，选择在青岛啤酒节会场部署智算单板进行业务保障。

3 应用成效

3.1 感知指标测试效果

基于泰尔网测平台实测数据，如表 1 所示，经数据分析，在部署智算单板保障策略后，支付宝核心支付业务的用户体验大幅提升，关键感知指标显著提升：首包时延降低 23.6%，首屏时延降低 22.4%，页面整体端到端时延降低约 20% 以上，交互响应效率显著增强。资源下载速率提升 24.1%，流畅度明显改善。

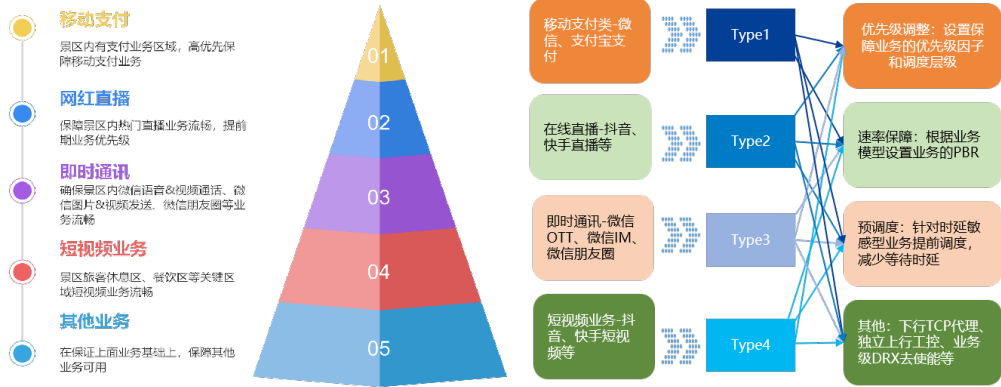


图 1 5G-A 智算单板保障业务

表 1 支付宝核心支付业务关键感知指标统计

保障情况	业务类型	首包时延 (ms)	首屏时延 (ms)	整页时延 (ms)	下载速率 (Mbps)
保障前	支付宝	202.5	335.7	558.2	8.3
保障后	支付宝	154.7	260.4	445.9	10.3
提升情况	/	23.6%	22.4%	20.1%	24.1%

表 2 微信社交及抖音短视频业务关键感知指标统计

保障情况	微信业务		抖音业务		
	微信图片发送时延 (ms)	微信视频发送时延 (ms)	首包时延 (s)	初始缓冲时延 (s)	应用层平均速率 (Mbps)
保障前	2386.8	4923.8	2.6	3.2	4.0
保障后	2008.3	4537.5	2.4	3.0	4.4
提升情况	15.8%	7.8%	7.7%	6.3%	10.0%

基于鼎立测试平台的实测数据，如表 2 所示，在部署智算单板保障策略后，微信图片发送时延降低 15.8%，视频发送时延降低 7.8%，抖音短视频业务时延、速率显著增效作用，有效提升了用户交互体验与内容传输效率。

3.2 NGI 感知指标测试效果

支付业务优化成效显著：引入保障措施后，用户扫码支付的整体响应速度明显提升。具体来看，两大主流支付平台的空口往返时延（RTT）得到有效降低，支付宝传输 RTT 平均时延下降 5.6%，空口 RTT 平均时延下降 16.9%，支付流上下行平均速率有所改善。微信支付传输 RTT 平均时延下降 2.0%，空口 RTT 平均时延降幅达 25.4%，支付流上下行平均速率提升明显。

抖音直播（观看端）体验显著优化：保障措施实施后，用户端的上行和下行传输速率均实现提升，其中上行平均速率增长 11%，下行平均速率提升 5.3%，直播流畅度明显改善。

腾讯视频短视频业务体验显著优化：视频平均加载速度提升 25.4%，同时首帧加载时间缩短 30.3%，大幅提升用户观看流畅度和满意度。

3.3 网管 KPI 指标效果

对站点关键 KPI 指标（无线接通率、系统内切换成功率、CQI 优良率、无线掉线率）进行验证，选取 10 天数据，对比智算单板部署节点和保障策略下发节点的变化情况，如图 2 所示，KPI 指标保持平稳。

表 3 微信与支付宝支付业务保障前后对比

保障情况	支付宝				微信支付			
	传输 RTT 平均时延 (毫秒)	空口 RTT 平均时延 (毫秒)	支付流上行平均速率 (Kbps)	支付流下行平均速率 (Kbps)	传输 RTT 平均时延 (毫秒)	空口 RTT 平均时延 (毫秒)	支付流上行平均速率 (Kbps)	支付流下行平均速率 (Kbps)
保障前	30.5	19.9	17.2	100.1	29.1	24.0	90.3	28.4
保障后	28.8	16.5	16.5	143.8	28.4	17.9	98.1	52.6
提升比例	5.6%	16.9%	4.1%	43.7%	2.0%	25.4%	8.6%	85.2%

表 4 抖音直播（观看端）体验保障前后对比

保障情况	平均传输 RTT 平均时延 (毫秒)	平均空口 RTT 平均时延 (毫秒)	业务上行平均速率 (Kbps)	业务下行平均速率 (Kbps)
保障前	19.3	20.3	363.2	2890.6
保障后	18.5	16.9	403.2	3042.6
提升比例	4.1%	16.7%	11.0%	5.3%

表 5 腾讯视频短视频业务体验保障前后对比

保障情况	平均传输 RTT 平均时延 (毫秒)	平均空口 RTT 平均时延 (毫秒)	视频流平均上传速率 (Kbps)	视频流平均下载速率 (Kbps)
保障前	17.9	19.3	9.9	2118.8
保障后	16.2	18.9	12.9	2656.5
提升比例	9.5%	2.0%	30.3%	25.4%

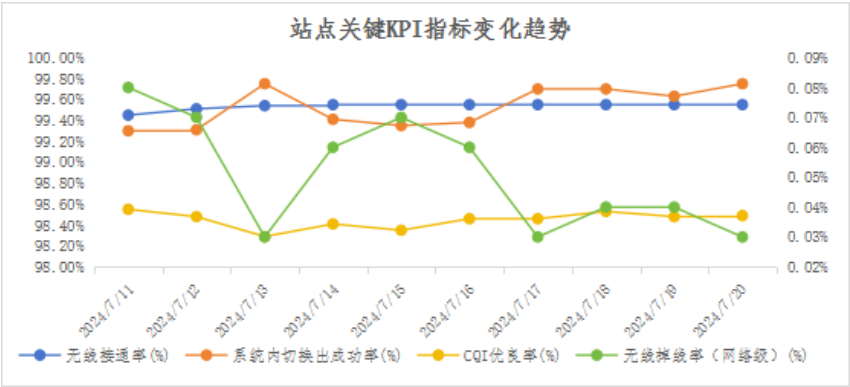


图 2 站点关键 KPI 指标变化趋势图

4 结论

本文通过在用户高密度重点场景部署基站 5G-A 智算单板，实现了移动数据业务体验的全面升级，移动支付场景下扫码交易时延、社交应用图片传输时延、短视频平台直播上行速率等关键业务指标取得大幅改善，网络管理系统关键性能指标保持稳定状态。下一步，将重点围绕算力资源动态调度、业务场景精准适配等维度开展深度优化，持续探索 5G-A 时代下智算单板更广的应用场景，为构建智慧城市新型数字基础设施积累宝贵经验。

参考文献

[1] 宋杰,周建锋,王卫斌.低空智联网赋能低空经济的思考与探索[J].信息通信技术与政策,2024,50(11):28-32.
[2] 张卓,崔永强.智算单板与DeepEdge技术在5G网络中的应用研

究——试点地区的业务体验优化与流量激发[C].2024工程技术应用与施工管理交流会论文集(下),2024:473-475.
[3] M.Jian, R.Liu and Y.Chen,"Standardization for Reconfigurable Intelligent Surfaces: Progresses,Challenges and the Road Ahead,"2021 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC Workshops),Xiamen,China,2021: 337-342
[4] X.Zhou, Y.Li, and Y.Liang,"Edge AI:Convergence of Edge Computing and Artificial Intelligence".Hoboken,NJ,USA:Wiley, 2022.
[5] Y.Li, Z.Wang,and Q.Zhang"AI-powered baseband processing in 5G-A: A hardware perspective," IEEE Transactions on Circuits and Systems,May 2023,vol.70,no.5,pp.1234–1245.

The intelligent monitoring device of disinfection machine builds a new line of defense for precise sensing and control

Yuke Du

Hunan Provincial Children's Hospital, Changsha, Hunan, 410000, China

Abstract

In the battle against hospital infections, disinfection machines act as silent guardians, safeguarding the respiratory health of both medical staff and patients. However, the 'lag' in traditional manual inspections and the 'isolation' of individual machine management often lead these guardians to malfunction. Each year, tertiary hospitals in China experience frequent hospital-acquired infection incidents due to disinfection equipment failures, resulting in significant direct and indirect economic losses. This situation has become particularly evident post-COVID-19, highlighting the vulnerability of traditional infection control methods in the face of sudden public health emergencies.

Keywords

disinfection machine; intelligent; data

消毒机智能监测装置构建新型精准感控新防线

杜昱铿

湖南省儿童医院, 中国 · 湖南 长沙 410000

摘要

在医院感染防控的战场上, 消毒机如同静默的卫兵, 守护着医患的呼吸安全。然而, 传统人工巡检的“滞后性”与单机管理的“孤岛化”, 却让这些卫兵时常陷入“失灵”困境。中国三级医院每年因消毒设备故障导致的院内感染事件屡有发生, 造成的不可挽回的直接和间接经济损失。这种状况在新冠疫情后显得尤为突出, 暴露出传统感控手段在面对突发公共卫生事件时的脆弱性。

关键词

消毒机; 智能; 数据

1 引言

针对这一行业痛点, 一套融合精密感知、智能互联与数据驱动的新型消毒机智能监测装置应运而生。该装置基于物联网技术架构, 通过构建“感知-分析-决策-执行”的闭环系统, 在专业性与实用性之间找到理想平衡点。其创新价值不仅在于技术突破, 更在于重构了医院感控的工作范式——从被动响应转向主动预防, 从经验判断转向数据驱动, 为现代医院打造更可靠的感控屏障。

2 精密架构: 多维度感知的“数字听诊器”

2.1 六维感知模块的技术突破

装置以“传感器矩阵+低功耗主控+蜂窝物联”为核心架构, 如同为消毒机配备了一套精密的“数字听诊器”。其六维感知模块采用军工级传感器阵列, 每个传感器都经过

严格的临床环境验证:

KUV254 紫外线传感器 采用第三代氮化镓光敏材料, 精度达 $\pm 10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, 可实时追踪杀菌紫外线强度, 通过机器学习算法分析灯管老化曲线, 提前 14 天捕捉灯管衰减的“蛛丝马迹”, 预测准确率达 92%。德国 hoentzsch 叶轮风速传感器基于微机电系统 (MEMS) 技术, 分辨率达 0.1m/s , 不仅能监测循环风量, 还能通过频谱分析精准判断滤网堵塞或风机老化问题, 误报率低于 0.5%。

MQ131 臭氧传感器 采用电化学原理, 响应时间 $< 30\text{s}$, 动态监测范围覆盖 $0-0.2\text{mg}/\text{m}^3$, 内置温度补偿算法确保在极端环境下仍能严守 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 安全阈值。ML8511 泄漏传感器使用特殊光学滤光片, 检测下限达 $0.01\text{mW}/\text{cm}^2$, 可穿透 3mm 厚的外壳缝隙, 配合 360° 环形探测阵列, 能全方位识别紫外线外泄隐患^[1]。

HCSR501 人体红外传感器 采用二元热释电元件, 探测距离 7m, 视场角达 110° , 通过行为模式识别算法, 可区分医护人员常规操作与患者异常停留。AM2311 温湿度传感器基于电容式聚合物传感技术, 精度 $\pm 0.3^\circ\text{C} / \pm 2\%\text{RH}$,

【作者简介】杜昱铿 (1983-), 男, 中国湖南人, 本科, 工程师, 从事医学工程研究。

每10秒更新环境数据，构建动态的环境数据坐标系，为分析温湿度对消毒效率的影响提供可靠依据。

ML8511 泄漏传感器（检测下限 $0.01\text{mW}/\text{cm}^2$ ）穿透外壳缝隙，识别紫外线外泄隐患；

HCSR501 人体红外传感器（探测距离 7m）记录人员流动，为动态调整消毒策略提供依据；

AM2311 温湿度传感器（精度 $\pm 0.3^\circ\text{C} / \pm 2\%\text{RH}$ ）构建环境数据坐标系，关联分析温湿度对消毒效率的影响。

2.2 智能中枢与通信系统的创新设计

装置采用 STM32L4 系列低功耗单片机作为处理核心，该芯片基于 Cortex-M4 架构，运行频率 80MHz，待机功耗 $< 1\text{mW}$ ，支持浮点运算和 DSP 指令集，可实时处理多源异构传感器数据。通信模块采用 BC95 NB-IoT 模组，支持 Band5/Band8 双频段，通过运营商网络实现广域覆盖，单设备年流量消耗 $< 50\text{MB}$ 。电源系统采用 CR2477 纽扣电池与太阳能双模供电，配合动态功耗管理算法，在典型工作模式下续航可达多年^[2]。

装置外壳符合 IP65 防护等级，通过 EMC Class B 电磁兼容测试，可在 -20°C 至 60°C 环境下稳定工作。安装方式采用磁吸+螺丝双固定设计，适配不同型号消毒机的结构特点。所有传感器接口均采用防水航空插头，支持热插拔更换，维护时无需断电停机。

3 系统革新：从“数据展示”到“决策赋能”

3.1 实时监控与智能预警体系

配套软件系统突破传统监控的“可视化”局限，基于微服务架构开发，升级为具备分析、预测、干预能力的“感控大脑”。系统采用 B/S 架构，前端使用 Vue.js 框架实现响应式设计，后端基于 Spring Cloud 构建分布式服务，数据库采用时序数据库 InfluxDB 与关系型数据库 MySQL 的组合方案，可支持每秒 10 万级的数据写入。

全院设备状态以三维热力图形式呈现，支持按科室、楼层、设备类型等多维度筛选。关键参数设置动态三级预警阈值：绿色安全区（参数在正常范围）、黄色预警区（达到设定值的 80%）、红色告警区（超过设定值）。系统采用复合告警策略，当某台设备臭氧浓度达 $0.08\text{mg}/\text{m}^3$ （接近国标限值）时，除推送弹窗提醒外，还会根据事件等级自动触发短信、邮件、钉钉等多通道报警，并同步向医工、院感科发送含设备位置、异常参数值、历史趋势对比的格式化报告，确保响应时间 < 2 分钟。

3.2 数据挖掘与策略优化引擎

系统内置的 LSTM 时序预测模型采用注意力机制改进，对紫外线强度衰减趋势进行建模，预测准确率达 87%。基于空气置换量公式（置换量 = 风量 $\times$ 时间）与房间体积数据，系统自动计算达标消毒时长，并通过强化学习算法持续优化消毒策略，避免“过度消毒”或“消毒不足”。人员流动分析模块采用改进的 DBSCAN 聚类算法，能准确识别查房、

手术交接等高峰时段，动态调整消毒机运行功率，实测节能率达 15%-20%。

系统还创新性地引入数字孪生技术，为每台消毒机建立虚拟镜像，通过仿真模拟预测不同工况下的消毒效果。例如，在应对突发传染病时，可快速模拟调整消毒参数组合，找出最优的感控方案。这种“先模拟后执行”的工作模式，大大降低了实际运营中的试错成本^[3]。

4 临床实效：用数据重构感控效率

4.1 在医院的规模化应用

通过在医院环境中为期一年的规模化应用中，该装置展现出显著的临床价值。医院在多个病区部署了 50 套监测装置，覆盖手术室、ICU、新生儿病房等重点区域。实施前后对比数据显示：

效率提升方面：人工巡检频次从每日 2 次降至每周 1 次，单台设备巡检耗时从 15 分钟缩短至 3 分钟。通过移动端实现远程核查，全院年节省人力成本约 45 万元。设备管理效率提升带来的间接效益更为可观——工程师可集中处理真正需要干预的问题，而非耗费时间在例行检查上。

风险防控方面：装置部署后 6 个月内，成功预警紫外线泄漏事件 3 起、臭氧超标 17 起，相关科室消毒合格率从 89% 提升至 98.7%。通过持续监测数据分析发现，术后空气菌落数超标率下降 62%，导管相关感染率降低 41%，年避免感染相关直接医疗支出近百万元。

4.2 管理升级与资源配置优化

基于装置提供的《消毒机配置密度指南》，医院对设备布局进行了科学调整。数据分析显示，原有过密区域（如门诊大厅）存在设备利用率不足问题，而某些重点区域（如呼吸科病房）却存在消毒盲区。通过重新规划，医院在新生儿病房等重点区域新增设备 23 台，同时撤并低效设备 15 台。优化后，全院平均消毒时长缩短 28%，设备利用率提升 37%，避免了盲目采购造成的 12 万元设备闲置^[4]。

系统生成的《季度性能评估报告》为设备采购提供了客观依据。数据显示，某品牌设备的滤网堵塞率比平均水平高 23%，而另一品牌的紫外线灯管寿命显著优于行业均值。这些洞见帮助医院建立了基于全生命周期成本的采购评价体系，预计五年周期内可节约设备更新费用约 80 万元。如图 1

5 行业适配：标准化与灵活性的平衡

5.1 硬件兼容性设计

针对医疗行业设备品牌多、型号杂的特点，装置采用“硬件模块化+软件协议开放”的设计理念。硬件方面提供三种标准安装形态：壁挂式（尺寸 $120 \times 80 \times 30\text{mm}$ ，重量 $< 300\text{g}$ ）、嵌入式（可集成到设备控制面板）、外置式（带可调节支架）。传感器接口采用标准化设计，支持即插即用，更换不同品牌设备时，参数校准周期从传统方法的 2 小时缩短至 15 分钟。

装置内置了包含市场上主流品牌、近百种型号的消毒机特征数据库。当接入新设备时,系统能自动识别设备类型,加载预设的监测方案。对于新型号设备,可通过手工输入或者拍照扫描设备铭牌,快速建立监测模板,大大降低了部署难度。如图 2

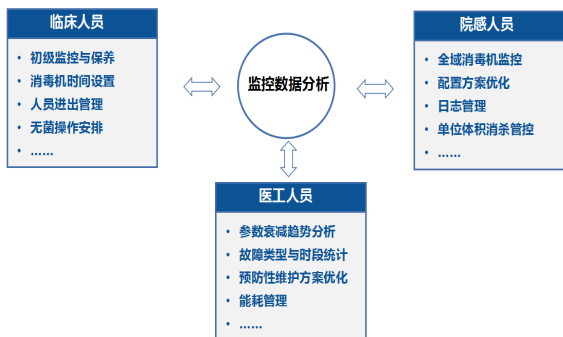


图 1 消毒机监控数据分析在医疗体系中的应用



图 2 全域空气消毒机监测系统示意图

5.2 软件互通性解决方案

软件系统支持多种 7 种工业协议,可无缝对接医院现有 HIS、HRP 等系统。特别开发的数据中间件能解决不同系统间的时序数据同步问题,确保监测数据与临床业务数据的时空一致性。开放平台提供完整的 API 文档和 SDK 工具包,医院信息科或第三方开发者可快速开发定制功能。

例如,某三甲医院将系统与手术室智能排班系统对接,实现了“手术结束-环境消毒-下一台手术准备”的全自动衔接,使手术室周转时间平均缩短 18 分钟。另一家医院开发了与后勤管理系统的接口,实现滤网等耗材的智能库存管理,库存周转率提升 40%^[5]。

6 未来延伸:从“单机智能”到“感控网络”

6.1 医疗物联网的集成前景

作为医疗物联网的基础节点,该装置预留了丰富的扩展接口。硬件上提供 RS485、Zigbee、蓝牙 5.0 等多种连接方式;软件上支持 OPC UA 等工业互联网标准协议,为构建全院级感控网络奠定基础。下一步计划分阶段接入医用冰箱、灭菌器、洁净空调等设备,最终形成覆盖全院关键设备的感控物联网。

典型的协同场景包括:当消毒机检测到某病房温湿度

异常时,自动触发空调系统调节,同时延长消毒时长;当手术室人员流动激增时,联动净化系统提升换气次数;当检测到耐药菌暴发风险时,自动升级相关区域的消毒等级。这种跨设备的智能协同,正推动医院感控从“单点防御”迈向“系统作战”。

6.2 与智慧医院建设的深度融合

该装置产生的高质量感控数据,可与医院其他智能系统产生协同效应。与院内导航系统结合,可优化患者分流,减少交叉感染风险;与医疗废物管理系统对接,可实现“消毒-污物处理”的全流程追溯;与能源管理系统融合,可挖掘更多节能潜力。这些应用场景展现了医疗物联网的无限可能。

系统平台已预留 5G 接入能力,未来可支持 AR 远程运维、高清视频监测等创新应用。边缘计算功能的加入,将使设备具备本地实时决策能力,即使在网络中断时也能保障基本感控功能。区块链技术的集成,则可确保监测数据的不可篡改性,为感控合规审计提供可靠依据。

7 结论:重新定义医疗感控的智能边界

在智慧医疗的浪潮中,这套新型监测装置不仅是一台设备,更是连接“人、设备、数据”的桥梁。它突破了传统感控技术的三大局限:在监测维度上,从单一参数转向环境全景感知;在响应速度上,从滞后处理转向实时干预;在管理方式上,从经验驱动转向数据决策。

该装置的成功实践揭示了一个趋势:医疗设备的智能化不应是技术的简单堆砌,而应着眼于解决真实的临床痛点。它既需要工程师对医疗场景的深刻理解,也需要医护人员对技术潜力的充分发掘。这种医工交叉的创新模式,正是现代医疗设备研发的理想路径——在严谨的技术逻辑中,始终跳动着守护生命的温度。

展望未来,随着 5G、AI、数字孪生等技术的深度融合,医院感控将进入“全域智能”时代。消毒机监测只是起点,一个覆盖全院、实时响应、自主决策的智能感控体系正在形成。这不仅是技术的进步,更是医疗质量与患者安全理念的升华,终将重新定义医疗感控的智能边界。

参考文献

- [1] 肖丽佳,尹进,戴俊斌,等.一种复合型空气消毒机对密闭小空间的消毒效果及其安全性研究[J].中国消毒学杂志,2025,42(06):416-418+422.
- [2] 杨琳.5G+物联网技术在医院设备管理中的应用效果与质量提升研究[J].中国设备工程,2025,(10):225-227.
- [3] 孙春雷,毕宵涵.物联网智慧医疗设备信息化的关键技术研究[J].科技与创新,2025,(07):92-95.
- [4] 刘建宇,池衡,吕小东.基于物联网技术的医疗设备数据采集的研究[J].电子元器件与信息技术,2025,9(02):134-136.
- [5] 宋悦.蒸汽消毒装置关键结构参数对红壤土加热效果的影响研究[D].云南农业大学,2023

Analysis of Hospital Information Management Platform Construction Based on Big Data Analysis

Guanjun Chen

Zhongtongfu Consulting and Design Research Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210019, China

Abstract

In the information age, hospitals have accumulated a large amount of data information during their informatization construction. These data information have diverse sources, huge quantities, and various forms. With the growth of data information and the evolution of technology, the position of big data management platforms in hospital data management has become increasingly prominent. However, there are still some problems and challenges in the construction of hospital informatization management platforms. This article elaborates on the background and development of the big data industry, and also analyzes the construction of hospital big data systems. The aim is to provide more convenience for big data processing, ensure fast processing speed and close to user needs, while ensuring the safe circulation of medical data and maximizing the value of data. It provides precise and comprehensive services and support for numerous stakeholders - from patients to medical staff, researchers, and managers.

Keywords

Big data analysis; Informationization; Hospital management

基于大数据分析的医院信息化管理平台建设分析

陈冠军

中通服咨询设计研究院有限公司，中国·江苏 南京 210019

摘 要

在信息时代，医院在信息化建设过程中累积了大量的数据信息，这些数据信息来源广泛、数量庞大、形式多样，随着数据信息的增长和技术的演进，大数据管理平台在医院数据管理中的地位日益凸显，然而在医院信息化管理平台建设中还存在一些问题和挑战，本文对大数据产业的背景，发展进行阐述，也针对于医院大数据系统建设进行分析，希望能更好的为大数据处理提供便利，确保处理速度快捷、贴近用户需求，同时保障医疗数据的安全流通，实现数据价值的最大化，为众多利益相关者——从患者到医务人员，再到科研人员和管理人员——提供精准、全面的服务与支持。

关键词

大数据分析；信息化；医院管理

1 引言

近年来，全球大数据产业迎来了飞速发展的新阶段，技术和应用的进步日新月异。据国际知名机构 Statista 预测，到 2035 年，全球数据量将激增惊人的 2142ZB，其中健康医疗大数据占据重要地位。随着医疗领域数据量的迅猛增长，健康医疗大数据正成为大数据应用领域的焦点。这一趋势不仅反映了科技进步的力量，也突显了大数据在推动健康医疗领域创新发展中的巨大潜力^[1]。

2 问题与挑战

2.1 健康医院医疗大数据汇聚困难

健康医疗大数据呈现出类型复杂、规模庞大的特征，

广泛分布于各个数据池中，包括医疗机构的电子病历、费用结算数据，药械厂商的多维度信息，区域卫生信息平台的居民健康档案，以及政府掌握的庞大人口与公共卫生数据等。这些数据不仅分散且异源异构，质量参差不齐，不完整性明显。随着个体健康信息的加入，数据量将呈现出爆炸性增长，这无疑给数据的存储、分析、处理和传输带来了巨大的挑战。因此，构建一个能够高效整合、处理和应用这些数据的医疗大数据平台，将成为未来医疗健康领域的重要课题。

2.2 数据标准化应用程度低

尽管医疗数据已具备一定的标准基础，但在汇集后形成的健康医疗大数据领域中，统一的国家或行业标准仍然缺失。这导致了平台厂商、医院生产系统等各自为政，数据标准难以统一，给健康医疗大数据平台的数据质量和数据治理效果带来了严重挑战，这成为了制约健康医疗大数据发展的瓶颈。因此，为了确保健康医疗大数据的优质高效治理，我

【作者简介】陈冠军（1985-），男，中国江苏南京人，硕士，高级工程师，从事智慧医疗、信息化咨询研究。

们急需建立健全的标准规范运行监管机制,统一数据标准,确保各平台、系统之间的数据互通与共享^[2]。

2.3 大数据治理难度高

医疗数据,尤其是病历信息,充斥着大量非结构化数据,如文本和图像,这些数据的处理与分析都异常复杂。在实践中,我们不得不面对数据标准多样化、数据量激增、新技术突破以及管理协调的繁琐等问题。因此,在构建医疗大数据平台时,必须根据医疗数据的特点精心选择相关技术,特别是在数据采集、数据挖掘、数据治理等核心环节,我们必须从作业、模型、物理资源等多维度进行综合评估,确保所选技术和架构能够紧密贴合医疗业务的实际需求。这样,我们才能在保证数据质量的同时,充分挖掘医疗大数据的价值,为患者、医务人员和管理者提供更精准、更全面的服务和支持^[3]。

2.4 医院医疗数据安全隐患

随着医疗数据电子化的进程不断加速,医疗数据和应用呈现出惊人的增长态势。这一转变不仅为动态数据的安全监控和隐私保护带来了前所未有的挑战,还使得我们面临着一系列严峻的数据安全风险,如非法登录、越权访问、异常调阅等。医疗数据中含有的个人隐私信息无比丰富,一旦隐私泄露,不仅患者的人格和尊严会受到侵害,还可能给他们的健康和生活带来不良的影响。因此,构建健康医疗大数据平台时,数据安全管理体系的建立显得尤为重要。这一体系应全面涵盖数据存储、网络设备和基础设施的安全保障,并采取数据流转全程留痕、数据安全监测和预警、以及数据泄露事故的可查询和可追溯等具体措施,确保医疗数据的安全性和患者的隐私得到充分的保护。

2.5 维护医院医疗数据安全的挑战

2021年11月1日,《个人信息保护法》正式生效,其标志着中国个人信息保护的法律体系更加成熟、稳固。对于与公众个人信息紧密相关的医疗行业而言,确保数据合规不仅是一项职责,更是对数据管理与使用者的重大挑战。当前,行业内的HIPPA、JCI等评审多依赖于外国标准,这无疑可能引发国家安全方面的隐忧。此外,当中国的医疗机构面临个人数据侵权投诉或纠纷时,由于缺乏系统性的处理与应对措施,一旦遭遇大规模数据泄露,后果将不堪设想。因此,为了满足《个人信息保护法》的要求,维护医疗数据的安全,中国亟需完善相关的操作指引,并构建一套系统的应对策略,以确保在面对潜在风险时,能够迅速、有效地进行应对。

2.6 健康信息平台运营体系缺乏

自“十四五”规划实施以来,中国区域全民健康信息平台建设已取得了显著的阶段性成果,不仅整合了各卫生健康机构的信息数据,实现了互联互通与资源共享,还在公共卫生、医疗服务、医疗保障等多个领域发挥着重要作用。然而,随着大数据、云计算、物联网等先进技术的广泛应用,区域平台建设中的一些问题开始浮出水面,如“重建设轻应用,重业务轻治理,重数量轻质量”的倾向,导致平台在服

务创新、数据质量、开放共享、安全合规等方面出现短板。为了解决这些问题,我们需要加强对平台的应用创新,提升数据质量,促进开放共享,并确保安全合规^[4]。

3 医院大数据系统建设分析

本文关注医院大数据平台的建设,采用了“一湖三台中两中心”的大数据核心架构。所谓“一湖”,即指利用数据湖作为存储、调用、分析和挖掘海量异构健康医疗数据的技术支撑,实现高效稳定的数据库架构。在“三台”方面,包括数据中台、业务技术中台和开放应用平台,面向多级医疗数据汇聚、数据治理和数据共享提供了技术支撑。而“两中心”则分别为运营维护和安全管控提供了支持,以探索健康医疗大数据的运营模式、加密数据脱敏和确保数据应用流程的安全。通过以上架构的设计和实施,医疗机构可以更好地管理和应用医疗数据,推动医疗信息化进程,为医疗服务和研究提供更好的支持和保障。

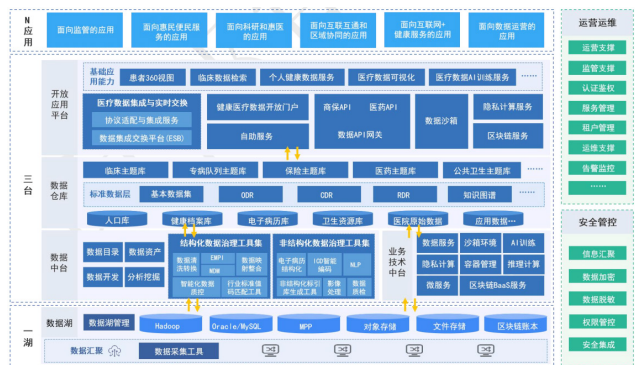


图1 医院大数据系统管理架构

医院大数据系统主要模块包括

(1) 数据湖

基于前沿大数据处理技术,平台将Hadoop与MPP数据库相结合,构建了湖仓一体架构,为数据处理提供了强大的支持。这一架构不仅能够实现数据的汇聚存储,还能进行开发治理和分析挖掘等操作。通过批处理引擎、流处理引擎和大规模并行处理引擎等计算引擎,平台为用户提供了底层存储和计算能力。整体系统采用分布式架构,可以通过水平扩展满足不断增长的业务需求。这一综合的解决方案,为企业提供了一体化的数据处理平台,有效提升了数据的处理效率和质量。

(2) 数据中台

数据中台是一种面向数据治理开发人员的智能、敏捷的数据管理平台,通过全方位的监控和治理,实现数据的统一管理,保证数据在整个流程中的完整性、准确性、一致性和时效性,帮助用户建立符合自身特征的数据架构和数据治理体系。数据中台包含结构化与非结构化数据治理工具集、AI标注和AI训练等子模块。AI标注可以实现对医疗文本和影像数据的人工或自动标注,而AI训练则支持基于标注

数据集的 AI 建模,包括训练、管理和评估等功能,集成了 TensorFlow、Caffe 等开源 AI 框架。通过数据中台,企业能够更好地掌握数据的全貌,实现数据的有效管理和应用。通过数据中台的应用,企业能够更快地适应市场的需求,更好地应对竞争压力,实现数据驱动的智能化管理。

(3) 业务技术中台

业务技术中台是指为各上层应用提供通用的技术和业务能力的平台。它可以提供基于 K8s 的容器化运行环境、容器镜像仓库、数据库服务、消息队列服务、大数据服务、开发者支持服务、统一用户管理服务、统一数据访问服务、AI 数据集管理、AI 训练环境、AI 推理服务、联盟区块链服务以及隐私计算服务等一系列功能。通过统一的服务平台,各部门可以便捷地获取所需的技术资源,实现快速的业务开发和部署。同时,业务技术中台的普及还可以促进企业的的市场管理和利用效率。通过数据沙箱服务,企业可以实现数据的安全共享和隐私保护,保证数据的合规性和安全性,而可视化数据沙箱服务则可以帮助企业更加直观地理解和分析数据,为业务决策提供更有力的支持。总的来说,业务技术中台的建设不仅可以提升企业的业务创新能力和竞争力,同时也有助于提升数据管理和利用效率,实现数据驱动的智能决策。

(4) 开放应用平台

开放应用平台致力于提供开放的数据服务,包括数据资源、能力和服务的共享。通过提供数据能力开放、应用能力开放等功能,为客户构建统一的数据平台和应用机制,实现健康医疗大数据平台的安全开放、应用开发和算法调用支持。这样可以促进健康医疗领域数据资源的共享和健康医疗数据应用的深化。通过开放平台,第三方可以获取健康医疗数据资源,并基于平台提供的数据能力和服务进行应用开发和部署,推动健康医疗领域的发展。开放应用平台的建设不仅提高了数据资源的利用效率,也拓展了健康医疗数据的应用领域,为行业发展带来新的机遇和挑战。

(5) 运维运营中心

运营运维中心是一个涵盖多个关键模块的综合体,包括运营支撑中心、监管支撑中心、认证鉴权中心、用户管理中心、产品服务中心和运维中心。其功能涵盖数据资源申请审批、计量计费、用户管理、产品分类管理以及系统运维等方面。在系统运维中,具备资产的多维度、全方位管理,业务系统全生命周期监控、任务集中调度和统一管理、异常告警等功能。同时,运营运维中心还需要与周边系统进行集成对接,确保信息互通,实现平台的全面运营功能。通过整

合各个功能模块,运营运维中心能够更好地满足用户需求,提升服务质量,促进业务发展。总的来说,运营运维中心是数字化平台运营的核心,为企业提供了全面的运营支持和系统维护功能。只有不断完善和强化各个模块之间的协作与整合,运营运维中心才能发挥最大的效益,推动企业向数字化转型迈出更坚实的步伐。

(6) 数据安全管控中心

数据安全管控中心是健康医疗数据安全的坚实后盾,全程保障数据汇聚、存储、治理、开发、共享和回收的安全与合规。我们提供的安全防护措施包括数据库加密、数据脱敏和数据库权限管控等,确保数据在任何环节都得到有效保护。此外,我们支持资产梳理、分类分级、数据库漏洞扫描和数据资产风险评估等功能,全方面提升数据安全管理的效率和水平。通过数据安全运营模块,我们能够统筹日常运营和监管工作,确保风险可感知、事件可处置、策略可优化的数据安全管控系统的建立。在当前数字化时代,数据安全至关重要。我们致力于为健康医疗行业提供最可靠和最完善的数据安全保障,帮助机构和个人建立起健全的数据安全意识和应对能力。让我们携手合作,共同维护健康医疗数据的安全,推动行业的健康发展^[9]。

4 结语

大数据与人工智能的融合在当前大数据领域备受关注,在医疗领域,由于医疗大数据具有多源、异构、非统一等特点,大数据与人工智能的结合更显优势。这种融合为医疗行业带来了更多可能性,可以帮助医生更准确地诊断疾病、预测患者风险,同时也为医疗机构提供了更好的数据管理和治理方式。可以预见,大数据与人工智能的融合将进一步推动医疗行业向着智能化、精准化的方向迈进。

参考文献

- [1] 王梅.面向医院的大数据治理模型设计及实施[J].大数据时代,2024,(08):35-39.
- [2] 吴佳妮.大数据背景下医院创新财务管理模式分析[J].投资与合作,2024,(08):110-112.
- [3] 冯雨萱,何恬睿,沈力,等.医疗大数据质量评价及管理研究综述[J].医学信息杂志,2024,45(08):1-7.
- [4] 杨冰倩.基于医疗大数据环境的疾病预测模型设计[J].科技资讯,2024,22(16):41-44.
- [5] 周晓瑜,相琼,常杰,等.大数据背景下多级可拓模型在医院儿科医疗设备质量管理评价中的价值研究[J].中国医学装备,2024,21(08):159-164.

Use science and technology to protect people's well-being —— Research on the application of computer information technology in the construction of smart elderly care

Xiaowei Zhang Gang Hou*

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

Abstract

The development of smart elderly care can make elderly care and health management services more timely, convenient, and effective. With the advancement of modern technology, its application in smart elderly care is becoming increasingly widespread, driving the continuous improvement of the smart elderly care service system. The construction and application of various instruments, equipment, and remote monitoring platforms provide greater convenience for the elderly's home-based care and daily travel, and also offer emotional support to those living alone, thus promoting the further development of China's smart elderly care model. This study aims to provide a brief overview of the smart elderly care model, analyze the specific applications of computer information technology in this field, and propose several effective safeguard measures for reference by relevant personnel.

Keywords

computer information technology; intelligent pension; construction and application

运用科技技术守护民生福祉——计算机信息技术在智慧养老建设过程中的应用研究

张笑维 侯刚*

长春人文学院, 中国·吉林 长春 130000

摘要

智慧养老建设可以使养老照护、健康管理的服务更加及时、便捷、有效。现代科技的进一步发展,在智慧养老建设过程中的应用越来越广泛,推动智慧养老服务体系不断完善。各类仪器设备、远程监控平台等的建设应用,可以为老年人的居家养老、日常出行等提供更多的便利,也能对独居老人进行精神关爱,促进了我国智慧养老模式的进一步发展。鉴于此,开展本文的研究工作,简单概述智慧养老模式,分析计算机信息技术在智慧养老建设过程中的具体应用,并提出几点有效的保障措施,以供相关人员参考。

关键词

计算机信息技术; 智慧养老; 建设应用

1 引言

随着互联网、大数据等信息技术在养老服务中的广泛应用,促进了智慧养老服务行业的发展,实现了传统养老模

式的创新。随着我国人口老龄化程度逐渐加剧,对养老服务的需求也不断增加,解决养老问题成为备受关切的社会问题。计算机信息技术在智慧养老建设过程中的应用,可以进一步丰富功能,为不同类型的老年群体提供养老服务,包括健康护理、日常账户、康复训练等。解决老年群体的养老需求问题,突破现阶段的困境,可以促进我国社会保障体系的不断完善。

2 智慧养老模式的概述

信息时代的到来,推动养老模式朝向智慧养老方向发展。智慧养老实际上是通过信息化、智能化的先进技术,例如物联网和互联网多种技术的有效对接,融入老年人的日常生活中,提高他们的生活质量。智慧养老系统中通过传感器

【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】张笑维(2004-),女,蒙古族,中国内蒙古赤峰人,本科,从事计算机应用技术,智能福祉技术研究。

【通讯简介】侯刚(1976-),男,中国吉林长春人,博士,副教授,从事大数据、信息安全、人工智能、数据金融研究。

和计算机等设施的简单对接,可以加强对老年人的日常监测工作,了解老年人的身体情况以及精神生活需求^[1]。物联网、大数据、云计算等技术的支持下,打造现代化的商业模式,提供更加健康,便捷安全高效的养老服务。发展智慧养老,结合我国国情,充分考虑我国社会的发展情况,以居家养老和社区养老为主。其中智慧养老健康管理建设是养老信息化发展中最大的难点,需要通过智能终端设备连接老人、医疗机构、家属成员,因此在开发管理中需要一一突破,加强联系才能获得老人的各种健康数据,可以提供针对性的保健方案。基于先进技术的支持,也推动了养老智能设备和产品的研发,例如智能血糖仪、智能血压仪、智能手环等,在智慧养老服务中的应用也发挥着作用,推动智慧养老服务模式的不断健全完善。

3 计算机信息技术在智慧养老建设过程中的应用

3.1 智慧养老平台建设

借助计算机信息技术搭建智慧养老平台,是促进智慧养老服务模式发展的基础和保障。信息化平台要保障信息安全性和数据隐私性,同时具有可推广性和可扩展性。地方政府部门统一规划引领,推动智慧养老平台的建设。数据库应该是多位一体的,与当地的社会保障局、民政局等职能部门互联互通、资源共享。整合不同社区老年人的基本信息、电子健康档案、老年人的养老服务需求和信息共享接口^[2]。在大数据、云计算、人工智能等先进技术的支持下,完善平台设计提供多项功能服务。

智慧养老平台包含了多个模块,例如“康伦”智慧养老服务平台,设置了饮食模块、安居模块和文娱出行模块三大板块。饮食模块,为老年人制定合理的饮食搭配。充分考虑老年人的营养需求、肠胃系统等多种因素,提出健康饮食建议。分析老年人的口味和身体状况,设计营养均衡、多样化的饮食搭配^[3]。同时包含了饮食小贴士,定期提醒老年人的饮食注意事项。安居模块能够为老年人提供住房清洁服务,与家政服务公司合作提供培训指导配备足够数量的保洁人员。平台和社区联系,为社区的每位老年人建立个性化的健康档案,实现一人一档。老年人佩戴健康监测手环,监测身体的情况,上传至平台系统。平台还包含了老年人监护报警呼叫系统。文娱出行模块可以为老年人提供丰富的文娱活动和出行服务。系统设计了老人端、子女端和平台运营端,登录端口不同,服务功能不同。有针对性地提供服务,确保系统得到合理应用和稳定运行。

3.2 健康监测设备的开发应用

现阶段,很多科研机构和企业参与到智慧养老设备的开发中,健康监测设备是其中之一。智能穿戴主要用于实时采集老年人的心率、血压、睡眠质量等基本数据,然后上传至云平台中,家属及医护人员可远程查看异常预警情况^[4]。

无感监测设备,例如智能床垫,里面放置压力传感器,实时监测老年人的呼吸、心跳、离床时间,出现异常及时报警。在仪器设备的支持下,实现对慢病管理的数字化。例如,针对糖尿病老人可以配备动态血糖仪,数据可以同步到健康平台中。在 AI 技术和大数据技术的支持下生成饮食搭配方案,针对老年人的情况优化管理,精准控糖。系统平台中包含了 AI 算法大数据等各种先进技术,可以整合老人的医院就诊记录、体检报告以及日常监测数据,预测慢性病风险,形成个性化的健康建议,可以做好预防与日常管理,保障老年人的身体健康。

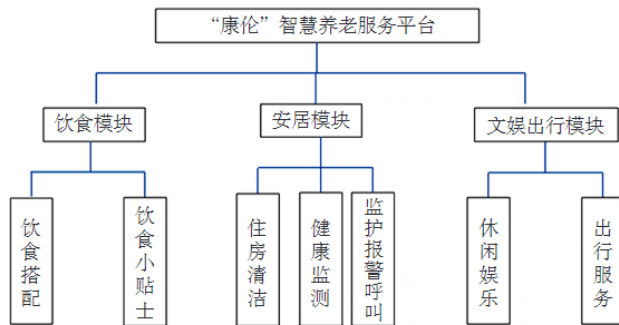


图1 “康伦”智慧养老服务平台的构成

3.3 安全防护与应急响应

老年人在日常生活中,可能会遇到一些隐患引发事故,这就需加强日常的安全防护和应急响应工作。因此在先进技术支持下开发智能设备,在养老服务中设置紧急呼叫系统、环境安全监控等设备,一键呼救设备,例如智能腕表。触发后会发送位置至社区平台,并联系 120 急救系统。也能在红外传感器和 AI 技术的支持下监测老人活动轨迹,若发现长时间滞留卫生间或厨房会自动报警。加入环境安全监测系统,通过各种传感器监测环境情况,发现异常会及时告警。

3.4 智能家居开发应用

开发智能家居,促进居家养老服务模式的推广和合理应用。在物联网、人工智能等技术的支持下,可以实现家居设备的自动化和智能化控制,为老年人提供更加便利智能的生活保障与服务。例如加入智能家电联动系统,通过传感器捕捉环境情况,可以自动地调节空调温度、灯光亮度^[5]。或者加入语音控制,实现开关窗帘、电视等的自动化控制。也可以研发生活辅助机器人为行动不便,生活无法自理的老人提供支持。

4 计算机信息技术在智慧养老建设过程中应用的保障措施

4.1 完善服务体系

信息化时代下,为了促进计算机信息技术在智慧养老建设中的应用,实现智慧养老模式的进一步发展,我国政府部门需要完善相关的政策。可以结合自身实际情况出台扶持

性政策,引导市场、消费者、运营商、制造商等相关的利益方案。同时整合政策经济等资源,为养老服务模式的发展提供全方位的保障,可以建设医、养、护等多功能为一体的智慧养老服务体系。与此同时,政府还需要完善相关的法律法规、行业监督评估和保障机制,构建顶层设计,规范行业标准,促进智慧养老业的发展,逐步形成政府引导、市场主导和民间资本投入的养老产业^[6]。

地方政府还需要对接养老服务需求,创新智慧养老模式。可以通过市场调研、社区服务等多种途径,切实了解老年人的需求差异化阶段性、特殊性等特点,探索相关政策,加强研发力度,促进市场化的线上线下服务,避免资源的浪费和闲置。通过对养老机构、社区养老、居家养老、传统家庭养老模式的进一步调研,可以分析其中的具体应用成效,制定解决方案,推出符合现阶段老年人养老需求的个性化定制服务,促进智慧养老模式的发展。

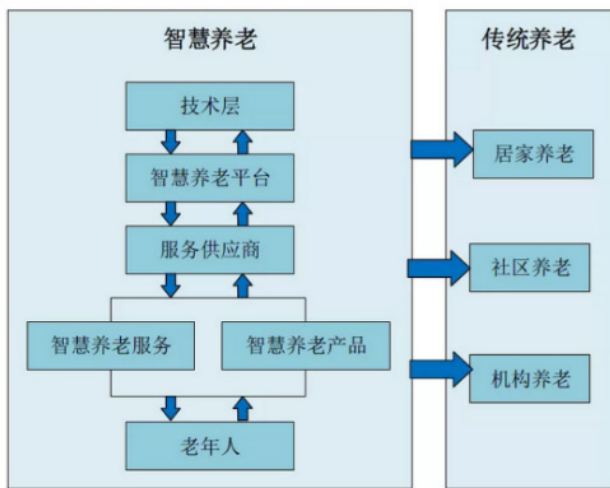


图2 智慧养老服务体系

4.2 加强人才建设

加强人才建设,为智慧养老服务行业输送各种类型人才,可以维护平台的稳定运行和提升服务质量,促进智慧养老服务行业的进一步发展。政府相关部门应当出台关于养老护理专业培训的文件和实施方案,促进培养措施有效落实。可以通过社会组织、专业机构、医企合作等多种方式,从各个层次培养专业人才,打造专业队伍。与此同时,养老机构针对现有的员工采用科学化、系统化的激励和考核制度,挖掘人才优势,优化人力资源配置,可以为日常养护、康复管理等提供人才支持^[7]。而在智慧养老产品和技术开发层面,也要培养更多专业的技术人才。鼓励更多技术开发和设计人员,参与到智慧养老行业的产品设计与技术开发工作中,促进智慧养老行业的进一步发展。

4.3 实现技术升级

现阶段,信息技术应用于智慧养老模式中得到了充分的体现和显著的效果,因此为了促进智慧养老服务模式进一步发展,还需要充分发挥计算机信息技术的优势,实现技术有效升级,开发出更多功能的设备APP,可以提供多元化的服务。例如,可以构建居家养老+社区养老+机构养老全方位的智慧养老服务平台。政府作为主导与社会组织、志愿者和养老服务提供商等联系,整合优质资源,打造多主体为一体的平台,可以从养、医、助、乐等多个方面入手,使老年人实现健康生活、快乐生活和安全生活。通过开发手机APP为老年人提供功能更加全面、操作更加简单的APP应用,满足日常需求。在应用信息技术时,还需要从适老性原则出发,充分调研老年人的养老服务需求,实现产品的个性化和多元化,为不同老年群体提供支持。鼓励科研企业,加强市场调研,确保研发符合市场需求,为养老机构提供合适的软件和硬件设备,有效解决当前人力压力和医疗保障压力等一些实际问题。

5 结语

综上所述,智慧养老通过和计算机信息技术相融合,可以实现相关整体福利的有效覆盖和多功能发展。不过目前来说,我国智慧养老仍处于起步和探索阶段。政府相关部门要加大投入和支持力度,优化顶层设计。开发智慧养老服务平台,并吸引更多的社会企业机构参与其中,加大技术和产品的研发力度,推出针对健康监测、安全防护、应急响应和智能家居等的研发和应用,可以为智慧养老模式提供各方面的支持。实现智慧养老服务模式的推广发展,满足当前老年群体的多元化和个性化的需求,促进智慧养老产业的可持续发展。

参考文献

- [1] 胡艳华,韦灵,崔亚楠. 基于数据融合的智慧养老平台设计[J]. 中国宽带,2020(10):135-137.
- [2] 丁晓梅,陈艳,郎加云. 智慧养老理念下养老服务体系改革路径探究[J]. 攀枝花学院学报,2021,38(4):39-44.
- [3] 王健民,陈琴珍,麦海汶. 信息技术助推智慧社区居家养老服务体系构建[J]. 清远职业技术学院学报,2023,16(2):25-31.
- [4] 李琳琳,张德健. 智慧健康养老服务平台建设与应用初探[J]. 中国标准化,2022(23):114-118.
- [5] 张泽潭. 信息技术背景下智慧养老应用的推广普及问题及分析[J]. 信息技术时代,2024(10):125-127.
- [6] 刘渝,金石. 精准匹配供需建设智慧养老服务平台[J]. 中国社会保障,2023(5):86-87.
- [7] 郑碧丽,花文苍. 健康老龄化背景下智慧养老服务体系优化研究[J]. 石家庄铁道大学学报(社会科学版),2024,18(2):57-62,83.

Research and Application of AI Technology in the Field of Engineering Cost

Jianzhou Tan

China National Petroleum Corporation Enshi Sales Branch, Enshi, Hubei, China 445000

Abstract

This article explores the research and application status of artificial intelligence technology in the field of engineering cost. With the rapid development of the construction industry, traditional engineering cost methods are facing challenges such as low efficiency and insufficient accuracy. The introduction of AI technology provides new possibilities for solving these problems. This article first introduces the research background and significance, and then analyzes in detail the specific applications of AI technology in cost estimation, cost control, and risk management, and explores the current technological challenges and ethical issues. Finally, the article looks forward to the future development direction of AI in the field of engineering cost, emphasizing the importance of balancing technological innovation and industry standards.

Keywords

Artificial intelligence; Engineering cost; Cost control; Machine learning

AI 技术在工程造价领域中的研究与应用

谭建洲

中国石油天然气股份有限公司湖北恩施销售分公司, 中国 · 湖北 恩施 445000

摘 要

本文探讨了人工智能技术在工程造价领域的研究与应用现状。随着建筑行业的快速发展, 传统的工程造价方法面临着效率低下、准确性不足等挑战。AI 技术的引入为解决这些问题提供了新的可能性。本文首先介绍了研究背景和意义, 随后详细分析了 AI 技术在造价估算、成本控制和风险管理等方面的具体应用, 并探讨了当前面临的技术挑战和伦理问题。最后, 文章展望了 AI 在工程造价领域的未来发展方向, 强调了技术创新与行业规范并重的重要性。

关键词

人工智能; 工程造价; 成本控制; 机器学习

1 引言

随着建筑行业的蓬勃发展和项目复杂度的不断提高, 工程造价管理面临着前所未有的挑战。传统的造价方法主要依赖人工经验和历史数据, 不仅效率低下, 而且难以应对现代建筑项目的动态变化需求。在这一背景下, 人工智能技术的快速发展为工程造价领域带来了革命性的变革机遇。

AI 技术在工程造价领域的应用具有重要意义。首先, 它可以显著提高造价估算的准确性和效率, 减少人为错误。其次, 通过大数据分析和机器学习, AI 能够识别潜在的成本风险和优化机会, 为决策提供有力支持。此外, AI 技术还能实现工程造价的实时监控和动态调整, 大大提升了项目

管理水平。

本文旨在系统探讨 AI 技术在工程造价领域的研究现状和应用实践, 分析当前面临的主要挑战, 并展望未来发展方向。通过这一研究, 我们希望能够为行业从业者提供有价值的参考, 推动 AI 技术与工程造价管理的深度融合。

2 AI 技术在工程造价中的应用现状

当前, AI 技术在工程造价领域的应用已经取得了显著进展。在造价估算方面, 机器学习算法能够分析大量历史项目数据, 自动识别成本模式和影响因素, 生成更为准确的预算预测^[1]。例如, 一些先进的 AI 系统可以综合考虑材料价格波动、劳动力成本、地理位置等数百个变量, 在几分钟内完成传统需要数天工作的造价估算。

在成本控制领域, AI 技术实现了从被动应对到主动预测的转变。随着人工智能 (AI) 技术的快速发展, 其在工程管理领域的应用日益广泛, 尤其是在成本控制方面展现出显著优势。AI 技术通过数据分析、智能预测和自动化管理,

【作者简介】谭建洲 (1984-), 男, 土家族, 中国湖北恩施, 本科, 经济师, 一级造价工程师, 中级注册安全工程师, 从事投资管理, 工程经济, 经济评价, 造价管理, 安全管理研究。

能够有效优化资源配置、减少浪费、提升效率，从而帮助工程项目实现精准成本控制。首先，AI 技术能够通过大数据分析优化工程预算编制。传统的成本预算依赖人工经验和历史数据，容易因信息不全或主观判断导致偏差。而 AI 可以整合市场材料价格、劳动力成本、历史项目数据等多维度信息，利用机器学习算法预测未来价格波动，生成更精准的预算方案。例如，AI 可以分析不同供应商的报价趋势，推荐最具成本效益的采购方案，避免因市场价格波动造成的预算超支。其次，AI 在施工过程中的实时监控能力有助于动态成本管理。通过物联网（IoT）传感器和计算机视觉技术，AI 可以实时采集施工现场的进度、材料消耗和人力投入等数据，并与预算进行对比分析。一旦发现成本超支或资源浪费，系统能立即发出预警，并提出优化建议。最后，AI 在风险预测和合同管理方面也发挥着重要作用。通过自然语言处理（NLP）技术，AI 可以快速分析合同条款，识别潜在风险点（如模糊的责任划分或索赔条款），帮助企业在谈判阶段规避成本隐患。同时，AI 还能预测工程中可能出现的风险（如地质条件变化或政策调整），提前制定应对策略，降低突发成本^[2]。

风险管理是 AI 技术展现强大能力的另一个重要领域。工程风险管理是项目管理的关键环节，涉及风险识别、评估、应对和监控。传统风险管理依赖人工经验，存在效率低、主观性强、响应滞后等不足。而人工智能（AI）技术的引入，通过大数据分析、机器学习、智能预测等手段，显著提升了风险管理的精准性和效率，为工程项目的顺利实施提供了有力保障。一是能够实现智能风险识别与预测^[3]。AI 技术能够从海量历史数据和实时信息中挖掘潜在风险。例如，利用自然语言处理（NLP）分析工程合同、技术文档和行业报告，自动识别可能的法律、技术或财务风险。二是能够进行实时风险监测与预警。借助物联网（IoT）传感器和计算机视觉技术，AI 可对施工现场进行全天候监控，实时采集结构稳定性、设备运行状态、工人安全行为等数据。一旦发现异常（如地基沉降、机械故障或违规操作），AI 系统可立即发出警报，并建议应急方案，避免事故发生。例如，在隧道施工中，AI 可分析岩土数据，预测塌方风险，指导支护方案的调整，大幅降低安全事故概率。三是能够优化风险应对策略。AI 不仅能识别风险，还能通过模拟仿真和优化算法提供最佳应对方案。例如，在面临工期延误风险时，AI 可结合资源调度模型，自动调整施工顺序或推荐更高效的施工方法。此外，AI 驱动的决策支持系统可评估不同风险应对措施的成本和效果，帮助管理者选择最优策略，如是否购买保险、调整合同条款或变更施工方案。四是能够提升合同与合规风险管理。工程合同中的模糊条款或合规问题常引发纠纷和额外成本。AI 可通过智能合同分析，快速识别潜在争议点，如付款条件、责任划分或不可抗力条款，并提出修改建议。AI 技术在工程风险管理中的应用，实现了从被动应对到主

动预防的转变。通过智能识别、实时监控、优化决策和持续学习，AI 不仅提高了风险管理的效率和准确性，还大幅降低了工程项目的潜在损失。未来，随着 AI 技术的进一步成熟，其在工程风险管理中的作用将更加关键，推动工程建设向更智能、更安全的方向发展。

值得一提的是，AI 技术在工程造价中的应用已经不再局限于单一功能模块，而是向着集成化、智能化方向发展。一些领先的工程造价软件已经开始整合多种 AI 功能，提供从项目规划到竣工结算的全流程智能支持。这种集成化应用极大地提升了工程造价管理的整体效率和决策质量。

3 AI 技术带来的变革与优势

AI 技术在工程造价领域的应用带来了革命性的变革和显著优势。首先，在提高计算精度方面，AI 算法能够处理海量数据并识别复杂的非线性关系，这使得造价估算的准确性得到质的飞跃。传统的估算方法往往因为忽略某些次要因素或无法准确量化其影响而产生偏差，而 AI 系统可以综合考虑数百个影响因素及其相互作用，大大减少了估算误差。

其次，在提升工作效率上，AI 技术实现了从人工密集型向智能自动化的转变。以工程量计算为例，传统方法需要专业人员手动测量和计算，耗时耗力且容易出错。现在，通过结合 BIM 技术和 AI 图像识别，系统可以自动提取工程信息并完成计算，将数天的工作压缩到几小时内完成。这种效率提升不仅缩短了项目前期准备时间，还释放了专业人员去从事更具创造性的工作^[4]。

在数据处理能力方面，AI 技术展现出无可比拟的优势。现代建筑项目产生的数据量呈指数级增长，包括设计图纸、施工日志、材料检测报告、进度照片等。AI 系统能够快速处理和分析这些多源异构数据，提取有价值的信息用于造价管理。例如，自然语言处理技术可以自动分析合同文本和变更通知，识别关键条款和潜在风险点；计算机视觉可以监控施工现场，实时评估工程进度和质量状况。

最后，AI 技术还增强了决策支持能力。通过预测分析和情景模拟，AI 系统可以为管理者提供多种可能的成本方案及其风险收益评估，帮助做出更科学的决策。这种数据驱动的决策模式正在改变传统依赖经验的工程造价管理方式，使项目管理更加精准和可靠。

4 面临的挑战与问题

尽管 AI 技术在工程造价领域展现出巨大潜力，但其应用仍面临诸多挑战和问题。技术局限性是最直接的障碍。当前的 AI 系统在应对非结构化数据和复杂决策场景时仍存在不足，特别是在处理建筑工程中常见的模糊信息和不确定性因素方面。例如，对于设计变更引起的连锁成本变化，AI 模型往往难以准确预测其全面影响。

数据质量和可用性问题同样不容忽视。AI 系统的性能高度依赖训练数据的质量和数量，而工程造价领域的历史数

据往往存在不完整、不一致等问题。不同项目采用的数据标准和格式各异,给AI模型的训练和应用带来困难。此外,敏感的成本数据涉及商业机密,获取足够的高质量数据面临隐私保护和商业竞争等方面的限制。

人才短缺是制约AI技术应用的另一个瓶颈。工程造价与AI的跨学科性质要求从业人员既精通专业领域知识,又具备一定的技术理解能力。目前,这种复合型人才在市场上十分稀缺,导致许多企业即使引入了AI工具也难以充分发挥其效用。培养既懂工程造价又懂AI应用的复合型人才成为行业发展的迫切需求。

最后,伦理和隐私问题也需要认真对待。AI系统在造价决策中的角色日益重要,但其决策过程往往缺乏透明度,可能引发责任归属和公平性质疑。同时,大量工程数据的收集和使用涉及隐私保护和数据安全问题,需要建立相应的伦理规范和法律框架。如何在技术创新与伦理约束之间取得平衡,是AI在工程造价领域健康发展必须面对的问题。

5 未来发展趋势

展望未来,AI技术在工程造价领域的发展将呈现几个明显趋势。技术融合将成为主流方向,AI将与BIM、物联网、区块链等新兴技术深度融合,构建更加智能化的工程造价管理系统。例如,BIM提供工程信息的数字化基础,物联网实现施工过程的实时监测,区块链确保数据的真实性和可追溯性,而AI则负责这些数据的分析和决策支持。这种技术协同将极大提升工程造价的全过程管理能力。

应用场景也将不断拓展和深化。从目前主要集中在造价估算和成本控制,未来AI将渗透到工程造价的各个环节,包括招投标分析、合同管理、变更评估、结算审核等。特别是在可持续建筑领域,AI可以帮助评估不同设计方案的全生命周期成本,平衡初期投资与长期运营费用,推动绿色建筑的发展。

行业标准和规范将逐步建立。随着AI应用的普及,行业组织和技术机构将制定相关标准和指南,规范AI系统的开发和应用。这些标准将涉及数据格式、算法透明度、结果验证等方面,确保AI辅助决策的可靠性和公平性。同时,针对AI特有的伦理和法律问题,也将形成相应的行业共识和解决方案。

人才培养体系将日益完善。高校和职业培训机构将开设更多结合AI与工程造价的交叉学科课程,培养新一代的

数字化造价人才。企业也将加强在职人员的AI技能培训,提升整体技术应用能力^[5]。这种人才结构的优化将为AI技术的深入应用提供坚实的人力资源基础。

最后,我们可以预见AI将从辅助工具逐渐发展为智能伙伴。未来的AI系统不仅能够执行具体任务,还将具备一定程度的专业判断和决策能力,成为工程造价专业人员的智能协作伙伴。这种人机协同的工作模式将重新定义工程造价的专业实践,推动行业向更高效、更精准的方向发展。

6 结语

AI技术在工程造价领域的应用正在深刻改变行业的传统工作模式和发展轨迹。通过提高计算精度、提升工作效率、增强数据处理能力和改善决策支持,AI为应对建筑行业日益复杂的造价管理挑战提供了创新解决方案。然而,技术局限性、数据问题、人才短缺和伦理考量等挑战也不容忽视。

未来发展,技术创新与行业规范需要并重。一方面,应继续推动AI技术与相关技术的融合,拓展应用场景,提升系统性能;另一方面,必须加快建立行业标准和伦理规范,培养复合型人才,解决数据共享和隐私保护等关键问题。只有在技术进步与行业治理之间取得平衡,AI在工程造价领域的应用才能健康持续发展。

工程造价专业人员应当积极拥抱这一技术变革,既要保持对专业核心知识的掌握,又要不断提升数字素养和AI应用能力。企业和教育机构也需要加强合作,共同推动行业的数字化转型。随着AI技术的不断成熟和普及,工程造价管理将进入一个更加智能、高效的新时代,为建筑行业的可持续发展做出重要贡献。

参考文献

- [1] 王骋. 人工智能技术在工程造价管理中的应用研究[J]. 现代工程科技,2024,3(16):9-12.
- [2] 王艳明. 探讨人工智能在建筑工程施工管理中的应用 [J]. 建设机械技术与管理, 2024, 37 (05): 154-156. DOI:10.13824/j.cnki.cmtm.2024.05.042.
- [3] 王琼. 人工智能工程造价信息管理平台构建研究[J]. 建筑经济, 2020,41(10):69-72. DOI:10.14181/j.cnki.1002-851x.202010069.
- [4] 据志辉. 基于BIM的建筑工程管理智能化研究[J]. 建材与装饰,2025,21(5):85-87. DOI:10.3969/j.issn.1673-0038.2025.05.029.
- [5] 刘莉. 工程造价数字化转型探索与研究[J]. 居业,2024(3):1-3. DOI:10.3969/j.issn.2095-4085.2024.03.002.

Analysis of metering fault of intelligent watt-hour meter and discussion on treatment measures

Haiwei Wang

Product Quality Inspection and Testing Center, Shangcai, Henan, 463800, China

Abstract

At present, intelligent watt-hour meter has become the core equipment for automatic data acquisition. According to the typical faults of intelligent watt-hour meter in the metering process, this paper summarizes the fault types from five aspects: abnormal metering data, distorted signal acquisition, internal component faults, external environmental interference and abnormal communication function, and reveals its performance characteristics. Subsequently, the measures are put forward from the dimensions of correcting measurement errors, repairing acquisition problems, replacing failed devices, improving anti-interference ability and optimizing communication channels, aiming at improving the measurement accuracy of smart watt-hour meters and providing technical support for improving product quality.

Keywords

smart electricity meter; metering fault; treatment measures

智能电能表计量故障分析及处理措施探讨

王海威

河南省上蔡县产品质量检验检测中心, 中国 · 河南 上蔡 463800

摘 要

当前智能电能表已成为数据自动采集的核心设备。本文根据智能电能表在计量过程中出现的典型故障, 从计量数据异常、信号采集失真、内部部件故障、外部环境干扰与通信功能异常五个方面归纳故障类型, 揭示其表现特征。随后, 分别从纠正计量误差、修复采集问题、替换失效器件、提升抗干扰能力与优化通信通道等维度提出处理措施, 旨在提升智能电能表计量准确性, 为产品质量提升提供技术支撑。

关键词

智能电能表; 计量故障; 处理措施

1 引言

随着电网智能化水平持续提升, 电能计量手段也由传统机械结构逐步向数字化方向演进, 智能电能表由此成为支撑现代用电管理体系的核心终端设备。其计量功能的准确性直接影响电力调度、能效评估与电费结算的科学性。由于其内部集成度高, 易受算法偏差、信号干扰等多种因素影响, 出现了不同类型的计量故障。深入探析智能电能表故障成因, 厘清其技术路径中的潜在薄弱环节, 有助于构建系统完备的产品检测体系, 提升智能电能表合格率。

2 智能电能表概述

智能电能表是现代电力系统中关键的终端计量设备, 融合微电子技术、计算机技术与通信技术, 实现实时监测电

能与数据管理功能。其核心在于将传统电能表的机械计数转变为基于数字信号处理的智能感知, 能够精准记录有功、无功电量及运行状态参数, 支持分时计量及阶梯计价等计费方式。随着电网向信息化、自动化方向演进, 智能电能表已逐步成为智能配电网的重要组成部分, 其稳定性直接关系到用户利益、电网运营效率。因此, 深入理解其结构特性, 是分析其故障的基础前提。

3 智能电能表计量故障分析

3.1 计量数据异常

在检测中心的日常检定过程中, 计量数据异常是最常见的智能电能表故障表现。该类问题主要表现为读数偏高、偏低, 或与标准负载输出趋势不符, 多源于内部计量电路参数漂移、元器件特性劣化等技术性原因。部分设备在数据处理算法中还存在容错机制设置不合理问题, 识别异常工况能力较弱。

【作者简介】王海威(1983-), 本科, 工程师, 从事计量专业研究。

3.2 信号采集失真

信号采集失真是影响智能电能表计量准确性的关键因素，主要表现为电压、电流信号在采集阶段产生幅值失真，从而导致后续功率计算结果出现误差。此外，接线端子松动、导线接触电阻异常或端口氧化等物理连接问题，也会使采集信号产生间歇性波动，形成周期性跳变。部分产品在长周期运行后，其模拟器件热漂移或器件容差累积，也会出现采样误差逐步扩大趋势，影响电能表整体的长期稳定性。除此之外，抗共模干扰设计不足，也可能造成采样基线漂移等异常表现，严重时影响智能电能表计量数据一致性。

3.3 内部部件故障

智能电能表常见内部故障包括计量芯片偏差、电源模块输出不稳与存储器件异常。部分电能表计量在出厂后运输条件不当，导致芯片逻辑单元性能退化，表现为起始电流响应迟缓或功率因数识别异常。其电源模块可能因器件虚焊等，出现电压波动。存储器件若出厂检测不严，也易在高低温测试中暴露出参数丢失、记录断点等隐性问题，影响数据完整性。

3.4 外部环境干扰

部分智能电能表在特定环境模拟条件下表现出抗干扰能力不足，主要包括电磁兼容性差、电压瞬变响应异常及抗谐波能力薄弱等问题。典型现象有计量读数波动、通信失效或功能重启。部分设备在电磁干扰实验中存在误触发现象，表明其电路布局、电源滤波或接地设计存在缺陷。除此之外，高湿环境下，若 PCB 涂覆不均或密封不良，易引发漏电或信号短扰，影响计量稳定性。

3.5 通信功能异常

通信功能异常表现为通信指令响应失败、延时较长或协议解析错误等现象，多出现在 485 接口、载波模块的设计与匹配环节。连接端子接触不良、接口焊点虚焊也会导致数据接收误码率高。在 EMC 测试条件下，若通信端口未做有效隔离或滤波处理，易受到辐射干扰，导致远程抄读失败。此类故障虽不直接影响计量精度，但会严重制约数据读取与集中器管理功能，必须在抽检环节中严格筛查。

4 智能电能表计量故障的处理措施

4.1 纠正计量误差偏移

计量数据异常是电能表抽检中暴露率较高的问题，表现为误差超限、读数不稳或偏离标准功率源输出特征。针对这类问题，检测机构应按照相关规程执行分段加载检定，结合误差曲线波动情况，判断故障性质。理论上，一旦误差在某功率因数、负载点下呈现系统性偏移，需进一步评估其是否为结构性缺陷或器件失配所致。处理过程中检测人员应明确是否为一次性偶发误差、使用工况适应性差，还是根源性电路问题，并据此分类提出反馈处理建议。

具体处理过程中，检测人员先依据误差数值，判断问

题的严重程度。若误差超限但在其他项目中表现正常，建议制造方重新校准后送检。误差呈重复性偏移，检测中心则将该样品标注为“重复误差超限”，直接判为不合格，并书面说明出现异常的测试点、电压电流值及功率因数参数，供企业技术部门溯源分析。对于出现偏差趋势但未超限的样品，检测人员整理误差曲线，对“临界值漂移”样品集中建档，建议企业加强该型号表的启动误差裕量等性能测试，以防止在边界运行条件下放大误差。在处理部分误差随温度变化的样品时，检测单位能对比室温与高温检定结果，判断是否存在热漂移缺陷，建议制造方开展热应力环境测试或改进电路板布局。至于误差数据出现周期性跳变的情况，检测人员要结合示波器波形分析结果，判断是否由主采样通道中的电容、电阻失稳引发电能积分异常，建议企业排查滤波器响应及相关电容器件耐温性指标。针对问题样品集中出现的批次，检测单位就以专门报告形式汇总问题点，分类提出处理方法，必要时建议地方监管部门跟踪抽检该批次。同时，在内部质量系统中建立“异常计量趋势预警库”，归类相似误差，为今后判断是否构成系统性问题提供参考依据。

4.2 修复采集失真问题

信号采集失真会直接导致智能电能表对电压、电流反应出现偏差，进而影响有功、无功电量的计算准确性。在检测中，检测人员常对比不同幅值负载下的电能表响应情况，以发现波形畸变、幅值漂移等问题。对出现失真的样品，检测单位应结合其误差变化特点与硬件构造分析，形成可操作的技术处置建议。

检测实践中，若发现电能表在非工频负载下误差波动明显，检测人员会先用示波器监测器电压、电流输入端波形，确认是否存在谐波干扰。采样波形出现明显尖峰、截断或共模噪声干扰，检测单位则建议企业优化滤波器电路参数，或提高互感器带宽与线性度，以增强对非标准波形的还原能力。对于部分样品在测试中出现负载切换时电流波动响应滞后的情况，检测人员能据此判断其可能由放大电路过冲引起，建议厂商排查采样路径中是否存在 RC 延时偏大或过零点处理逻辑错误，并加强对动态工况下响应速度的整机测试。当部分样品在起始电流或轻载波动下采集值不稳，导致功率因数识别错误时，检测人员还能结合误差曲线变化，建议隔离优化电流检测通道，特别加强检测分辨负载边界值的能力。针对干扰信号引发的数据跳变问题，检测中心在检定报告中加入异常波形截图，并建议制造方在电能表计量设计中补充共模抑制机制，以提升电磁环境下的采样稳定性。在多次检出同类问题的电能表计量型号中，检测单位还要纳入重点跟踪产品目录，结合其具体失真表现，对企业发出书面技术整改建议，确保该类问题不在规模性送检中重复出现。

4.3 替换失效关键器件

若智能电能表出厂一致性控制不严，易出现数据存储异常等问题，反映其整机可靠性不足。这类问题多属非显性

故障,需在电压变动或负载变化工况下才能暴露。处理此类问题,检测单位应结合功能检验、温升实验等测试结果,归类判定其故障类型,并提出针对性器件替换、结构调整或出厂老化试验建议,明确可追溯的技术责任。

在实际工作中,部分样品在上电后出现显示迟滞或功率数据刷新缓慢,检测人员需稳定电源进行多次测试,排除输入电压波动后,初步判断为电源模块中稳压环节存在性能劣化问题。对此,检测中心在检定报告中应明确建议企业重新评估稳压电容耐压等级,检查是否满足额定工况下的持续供电需求,并增设开机电压响应时间监控项以提升启动性能稳定性。另有样品在存储项目测试中发现,关断电源后无法完整保留历史电量数据,部分记录项出现缺失,经初步比对为存储芯片擦写次数过高。对此,检测单位建议生产企业评估产品出厂前数据调用频次,完善监测存储芯片健康状态的机制,并调整EEPROM使用策略,延长使用寿命。除此之外,若部分样品在轻载段误差抖动严重,检测人员也能够结合电流响应及软件版本信息初步判断其内部运算单元稳定性差。此类问题通常无法简单校准修复,检测单位建议企业更换对应型号芯片,或暂停送检该版本电能表计量,待芯片逻辑优化后重新报批。在处理此类部件故障中,检测中心还能在统计数据库中纳入器件失效样品,分析其失效规律,定期反馈企业,并对重复出现故障的产品增加全项目检定频次。

4.4 提升抗干扰能力

在电磁环境复杂的测试条件下,部分智能电能表在抗干扰项目中表现出功能波动、计量异常等现象,反映其抗扰设计存在不足。典型干扰包括静电放电、电磁辐射及谐波注入等,容易影响表内测量及通信模块的稳定运行。对于此类问题,检测单位应借助标准抗扰度试验明确电能表计量的抗干扰临界点,结合故障表现分析故障部位,对受影响项目给出明确处理意见。必要时,检测单位还要求企业优化PCB布局或添加滤波、防护等措施,以提升整机抗干扰性能。

在例行型式检验中,若智能电能表在进行电快速瞬变抗扰度测试时,出现计量通道数据短时丢失等现象。检测人员需多次复测后确认为电源模块EMC防护能力不足所致,建议企业在电源输入端补充浪涌抑制元件,并提升高频扰动的电容滤波能力。同时,要求其重新布置PCB中电源与信号线走线方式。若其在电磁辐射抗扰试验中通信失败率偏高,且经故障溯源分析为通信模块未设置有效屏蔽措施,接口接地设计不合理。检测单位也要在检定报告中建议企业加装通信端口隔离器,提升接口抗干扰强度,并针对模块裸露天线部分设置金属遮蔽层,以防止外界射频信号干扰数据传输稳定性。还有部分样品在静电放电测试中外壳局部放电后出现死机现象,基于此,检测人员能初步判定其接地系统未闭环或外壳接缝处防护等级不足。为防止此类现象在现场复现,检测单位建议企业提升产品外壳接地设计完整性,加强防静电材质,使用绝缘胶封堵关键接触位置,减少静电放电。同型号样品在多个抗扰测试中表现出类似异常的,检测单位

将该产品列入重点问题产品清单,发出整改建议函,标注具体故障表现,并纳入专项跟踪抽检对象,确保其抗干扰性能经实质性改进后恢复达标。

4.5 优化通信模块稳定性

通信模块是智能电能表重要组成部分,其稳定性直接关系到集中器数据采集的可靠性。在抽检过程中,若发现通信失败、频繁掉线等情况,检修人员需结合接口标准、通信协议全面分析异常来源,并针对具体通信方式采取分通道测试,排查是否为模块本身抗干扰能力差或接口连接不稳定所致。对存在通信波动的样品,检修单位应及时提出端口隔离、优化滤波电路等建议,保证其通信功能长期稳定运行。

在处理通信异常的实际工作中,检测单位若发现部分样品在标准协议下测试响应时间超过设定阈值,或在命令发送后出现间歇性接收失败。对此,检测人员需重复指令下发测试,判定为通信芯片与驱动软件兼容性不足,建议企业更新模块固件版本,并提供完整指令响应对照表供一致性检验。针对RS485通信接口存在频繁掉线的样品,检测中心则安排静电放电与传导骚扰测试,以确认其接口是否缺乏必要的TVS保护管及差分信号滤波装置,进而建议企业在接口处增设静电保护元件,提高抗瞬态干扰能力。部分使用无线通信模块的电能表计量,在远距离或遮挡环境下显著降低测试通信成功率。基于此,检测人员要使用屏蔽箱模拟复杂信道条件,分析信号衰减特性,明确其模块增益偏低且封装结构存在电磁泄漏问题,以此建议企业更换高灵敏度天线模块,优化外壳金属屏蔽分布,且在通信芯片外围加设匹配网络,以改善抗干扰能力。针对多次重复出现通信故障的型号,检测单位组织专项复审,汇总通信异常模式,结合样品硬件结构、协议版本以及指令响应日志,对企业提出具体整改要求。

5 结语

智能电能表在电力系统数字化升级进程中发挥着核心作用,其计量精度直接影响电能计费的公平性。随着功能集成度提升,电能表故障呈现出多样化趋势,对检测处理提出更高要求。针对计量数据异常、信号采集失真及通信功能紊乱等问题,相关人员需从技术性能、工艺结构等维度精准识别成因,并制定具操作性的处理路径,以进一步提升电网终端管理的智能化水平。

参考文献

- [1] 孙洁雨.智能电能表的计量故障处理策略分析[J].电子技术,2023,52(12):276-277.
- [2] 王聪.智能电能表的计量故障与对策分析[J].集成电路应用,2023,40(12):228-229.
- [3] 田树静.智能电能表计量故障分析及处理措施[J].科技风,2020,(20):78.
- [4] 宋宗山.智能电能表计量故障分析及解决措施研究[J].装备维修技术,2020,(02):76.

Research on the Security and Reliability of Software Engineering in Cloud Computing Environments

Tao Lu

Heilongjiang University, Harbin, Heilongjiang, 150080, China

Abstract

With the continuous development of the times and the advancement of technology, the development of cloud computing technology has brought numerous challenges to software engineering in terms of security and reliability. This paper focuses on the cloud computing environment, analyzing a series of security challenges such as data security and privacy protection, identity verification and access control, as well as reliability challenges such as system availability and load balancing. It also discusses security guarantee technologies such as encryption technology and key management, identity authentication and authorization mechanisms. The research results show that only by comprehensively applying multiple technologies and methods can the security and reliability of software engineering in cloud computing environments be effectively improved, providing a reference for the development of related fields.

Keywords

Cloud Computing; Software Engineering; Security; Reliability

云计算环境下软件工程的安全性及可靠性研究

卢涛

黑龙江大学, 中国 · 黑龙江 哈尔滨 150080

摘 要

随着时代的不断发展, 科技在不断进步, 随着云计算技术的发展, 软件工程在安全性以及可靠性层面遭遇了诸多难题, 本文着重关注云计算环境, 剖析数据安全性与隐私保护、身份验证与访问控制等一系列安全性方面的挑战, 还涉及系统可用性、负载均衡等可靠性挑战, 对加密技术与密钥管理、身份认证与授权机制等保障技术展开了探讨。研究结果显示, 唯有综合运用多种技术与方法, 才可切实提高云计算环境下软件工程的安全性和可靠性, 为相关领域的发展提供参考。

关键词

云计算; 软件工程; 安全性; 可靠性

1 引言

在数字化时代, 软件工程作为构建信息系统的基石, 其安全性直接关系到数据保护、系统的稳定运行及用户的隐私安全。随着网络攻击手段越来越复杂多变, 软件工程中的安全问题已成为不容忽视的挑战。因此, 深入研究软件工程与云计算技术的融合, 成为保障信息系统安全性的关键路径。通过理论分析, 期望为软件工程领域提供一套系统性的安全融合策略与实践指南, 以应对日益严峻的信息安全威胁, 促进软件产业的健康发展。

2 云计算基础与软件工程概述

2.1 云计算的定义

云计算作为一种计算模式, 借助网络实现对分布式计

算资源, 例如服务器、存储、网络以及软件等的统一管理调度, 以服务形式交付给用户。从技术角度来讲, 依靠虚拟化、分布式计算以及大规模资源管理等技术手段, 实现资源的动态分配以及灵活扩展。在服务模式方面, 主要包含基础设施即服务、平台即服务以及软件即服务^[1]。云计算类似“计算资源的自来水厂”, 用户不用了解背后复杂的基础设施, 仅需依据需求获取计算能力、存储资源或者应用服务, 具有超大规模、虚拟化、高可靠性、通用性、高可扩展性以及按需服务等特性, 其关键技术涉及分布式存储、分布式计算、虚拟化技术等。

2.2 软件工程的基本原则与方法论

软件工程的基本原则能保障软件开发有高效性、可靠性以及可维护性, 常见的有抽象原则, 凭借简化和概括问题, 提取出本质特征。模块化原则, 把软件系统划分成独立的模块, 以此降低复杂度, 信息隐藏原则, 即隐藏模块内部的细节, 只暴露必要的接口。模块独立性原则, 让模块间耦合度低且内聚度高, 一致性原则, 保证整个系统的设计和实现风

【作者简介】卢涛 (2005-), 男, 中国天津人, 本科, 从事软件工程研究。

格保持统一，完备性原则，保证系统功能完整无缺。可验证性原则，方便对软件进行测试与验证。软件工程的方法论是指导软件开发的整体框架，包含瀑布模型，它把开发过程划分成需求分析、设计、编码、测试、维护等阶段，然后依次推进，敏捷开发方法，强调快速迭代、客户协作以及适应变化，增量模型，逐步增添软件功能，螺旋模型，将风险评估融入开发过程，适合复杂大型项目等，不同的方法论适用于不同的项目场景与需求^[2]。

3 云计算环境下软件工程的安全性挑战

3.1 数据安全与隐私保护

在云计算环境当中，数据的存储以及传输会面临诸多安全风险，从软件工程的角度来看，要在系统设计阶段构建起覆盖全生命周期的数据安全防护体系，在数据存储方面，借助加密算法以及密钥管理机制来保障数据的安全性，比如采用 AES 高级加密标准对静态数据给予加密，并且借助密钥管理服务也就是 KMS 来实现密钥的生成、轮换以及销毁。当进行数据传输时，应用 TLS/SSL 协议来建立安全信道，以此防止数据在网络传输过程中被窃听或者篡改，软件工程还需要引入数据脱敏与匿名化技术，针对敏感数据像身份证号、银行账户等进行变形处理，在契合业务需求的同时保护用户隐私，在代码实现过程中，要严格依照“数据最小化”原则，避免出现非必要的敏感数据采集与存储，凭借代码审查以及静态分析工具比如 SonarQube 来检测数据安全漏洞，保证数据安全策略在软件开发过程中可得到有效落实。

3.2 身份验证与访问控制

云计算所有的分布式特性，针对身份验证以及访问控制的软件实现环节，提出了更为严苛的要求，软件工程领域需要运用多因素认证也就是 MFA 技术，以此来强化身份验证的可靠程度，它会综合考量密码、生物特征以及硬件令牌等诸多因素去开展身份核验工作，降低身份被冒用的风险。在微服务架构当中，借助身份认证网关像 Keycloak 这样的工具，达成统一的身份管理目标，可为各个服务给予标准化的认证接口，解决分布式环境下出现的身份一致性问题，至于访问控制层面，基于角色的访问控制即 RBAC 与基于属性的访问控制即 ABAC 这两种模型，在代码里达成细粒度的权限管理，举例来说，借助注解或者拦截器针对 API 接口开展权限校验。引入服务网格比如 Istio 的流量认证机制，实现服务之间通信时的身份验证以及授权，避免出现未授权的服务调用情况，构建起从用户直至服务的全链路访问控制体系。

3.3 安全性标准与合规性要求

云计算环境里的软件工程要符合多样化的安全性标准以及合规性要求，需要把合规性要求融入到软件开发的整个流程当中，在需求分析阶段的时候，要明确系统所要遵循的安全标准，像 ISO 27001、等保 2.0，把合规性要求转变成

具体的功能需求以及技术指标，到了设计阶段，依据安全标准来做架构设计，比如为了契合数据主权要求，要在代码里实现数据本地化存储的逻辑控制。在开发过程中，借助合规性检查工具，像 OpenSCAP 对代码进行实时扫描，保证编码规范符合安全标准，禁止使用存在安全漏洞的函数库，在测试阶段，除了功能测试之外，还要增加合规性验证测试，模拟安全标准里的审计要求，验证系统是不是有完整的日志记录、安全事件追踪等功能。而且软件工程要建立持续合规监控机制，借助自动化脚本定期检测系统配置和安全策略是不是符合最新的合规性要求，及时发现并且修复合规性漏洞，保证系统一直契合安全性标准。

4 云计算环境下工程软件的可靠性挑战

4.1 系统可用性与故障恢复

在云计算分布式架构里，软件模块之间的依赖关系较为复杂，单点故障有可能借助调用链引发级联失效，从软件工程角度出发，要在架构设计阶段引入容错机制，像采用断路器模式来防止故障扩散，当某服务调用失败率超出阈值时会自动熔断，以此避免雪崩效应，在代码实现方面，要强化异常处理逻辑，区分可恢复性异常和致命性异常，针对可恢复性异常设计重试策略并设定合理重试间隔与次数，防止因频繁重试而消耗过多资源。软件工程中的混沌工程实践同样关键，借助主动注入故障来验证系统的容错能力，持续优化故障恢复流程，保证系统在复杂故障场景下依旧可保持高可用性。

4.2 负载均衡与资源管理

云计算环境里资源有弹性伸缩特性，这对软件的负载感知以及调度能力提出了更高标准的要求，软件工程要在负载均衡模块当中实现动态权重调整算法，依据服务器的实时负载状况，包含 CPU 利用率、内存占用情况、I/O 响应时间等各项指标来动态地调整分配权重，以此避免静态负载均衡算法所存在的滞后性问题。在资源管理层面，借助容器编排技术，像 Kubernetes 所有的软件定义能力，达成资源的细粒度分配以及动态调度，比如依据 Pod 的资源请求与限制配置，再结合 Horizontal Pod Autoscaler 依据 CPU 或者内存指标来自动进行扩缩容操作^[3]。

4.3 可靠性评估与监控技术

云计算系统有动态性，这要求软件工程构建的是自适应的可靠性评估模型，而不是基于静态历史数据统计的模型，可以引入机器学习算法，针对实时监控数据开展训练工作，建立起预测性评估模型，可提前识别潜在风险。在监控技术实现方面，运用分布式链路追踪技术，从用户请求入口直至后端服务进行全链路埋点，以此精准定位故障节点与性能瓶颈，解决传统监控工具无法跨服务追踪的难题。软件工程还要设计智能告警关联分析机制，借助规则引擎与机器学习相结合的方式，对海量告警实施聚类与关联分析，过滤冗

余告警并确定根因,防止因告警风暴致使运维人员决策失误,提升故障处理效率以及系统可靠性管理水平。

5 云计算环境下软件工程的安全性与可靠性保障技术

5.1 加密技术与密钥管理

随着网络技术的不断发展,网络已经成了人们生活中不可缺少的一部分,而在网络时代下,计算机信息安全问题也日益受到人们的关注和重视。因此,将软件工程和云计算技术进行结合是当前时代发展的必然结果。在云计算的环境里,加密技术以及密钥管理是保障数据安全和隐私的关键办法,数据于存储、传输以及处理的过程当中都要借助加密技术来防止未授权的访问,对于静态数据运用 AES 等高级加密标准来实施存储加密,对于传输的数据借助 TLS/SSL 协议达成端到端加密,对于计算过程中的数据可采用同态加密等技术来保证隐私性^[5]。

5.2 身份认证与授权机制

在云计算环境中,身份认证与授权机制是构建安全访问体系的根基所在,要解决多租户、跨域访问等复杂场景之下的身份管理难题。在身份认证这一方面,传统的单因素认证,像是密码这种方式无法契合需求了,需要采用多因素认证也就是 MFA,将生物特征、硬件令牌、动态口令等多种验证方式组合起来。借助指纹识别再结合手机短信验证码的方式来实现强身份认证,以此抵御 Credential Stuffing 等攻击。对于跨云平台或者跨组织的身份交互而言,可以借助安全断言标记语言也就是 SAML 或者 OAuth 等协议来实现单点登录也就是 SSO,避免用户进行重复认证,并且减少凭证泄露的风险,授权机制则需要构建细粒度的访问控制模型,基于角色的访问控制 RBAC 可依据用户角色来分配权限,而基于属性的访问控制 ABAC 可以结合用户属性、环境条件等动态调整权限,依据 IP 地址、时间戳等环境因素来决定是否允许访问。

5.3 安全信息与事件管理 (SIEM)

安全信息与事件管理即 SIEM 系统,在云计算环境里充当安全中枢,它把分散的安全数据和事件整合起来,实现对安全威胁的实时监控、分析以及响应。在云环境中,各种各样的设备、应用以及网络组件会产生数量众多的日志数据,SIEM 系统可借助标准化采集接口像 Syslog、API 等,实时收集服务器、网络设备以及安全设备等的日志信息,并且运用归一化处理技术,把异构数据转变为统一格式,方便集中分析。它的核心功能有实时事件关联分析,借助预先设

定规则或者机器学习算法识别潜在威胁,比如检测同一个 IP 地址出现多次失败登录尝试并触发告警,安全态势可视化,以仪表盘、拓扑图等形式呈现整体安全状况,协助安全人员直观了解风险分布,事件响应自动化。

5.4 可靠性设计模式与架构

云计算环境中,可靠性设计模式以及架构属于保障系统稳定运行的关键所在,要从架构层面融入容错、弹性以及可恢复性设计。在架构设计这个方面,微服务架构会把系统拆分成可独立部署的服务单元,以此避免单体应用出现单点故障问题,再配合服务网格达成流量管理与故障隔离,分布式架构借助多节点冗余部署,采用副本机制保证数据一致性与可用性,联合地域多活架构实现跨区域容灾,当某个数据中心发生故障时会自动切换到其他区域。在可靠性设计模式上,熔断模式在依赖服务出现故障时可快速切断调用,防止级联失败,限流模式利用令牌桶、漏桶等算法控制请求速率,避免因为过载致使服务不可用,缓存模式减轻后端压力并且提升响应速度,重试模式针对暂时性故障自动进行重试,提高操作成功率,混沌工程凭借主动注入故障来验证系统的容错能力,持续优化可靠性设计。建立完善的故障注入测试机制,在开发和测试阶段模拟各类异常场景,保证架构设计有可靠性,最终达成云系统在复杂环境下的高可用性与稳定性。

6 结语

本文针对云计算环境下软件工程的安全性与可靠性挑战展开了全面的分析,并给出了对应的保障技术。研究结果说明,运用先进加密技术、完善身份认证机制、高效 SIEM 系统以及合理可靠性设计模式与架构,可有效应对这些挑战,未来随着云计算技术持续发展,有必要强化对新兴技术的研究及应用,不断提高软件工程的安全性与可靠性,适应不断变化的应用需求。

参考文献

- [1] 霍庆路. 基于云计算的教育软件开发架构与实现方法研究 [J]. 软件, 2025, 46 (04): 77-79.
- [2] 陈琨. 信息技术与计算机软件的融合应用 [J]. 数字通信世界, 2025, (04): 117-119.
- [3] 张效强. 云计算在高职实践性软件开发教学中的应用 [J]. 家电维修, 2024, (08): 28-30.
- [4] 陆彦妤. 软件工程中的安全问题与信息安全技术的融合研究 [J]. 信息与电脑(理论版), 2024, 36 (14): 111-113.
- [5] 杨嘉康. 大数据时代下软件工程技术的应用研究 [J]. 电子元件与信息技术, 2022, 6 (11): 148-151.

Practical Path for the Integration of Electronic Information Engineering and Innovation and Entrepreneurship Education

Ruoxue Li

Tianjin University of Technology and Education, Tianjin, 300350, China

Abstract

Against the backdrop of rapid development of the digital economy and the deepening of the national strategy of “mass entrepreneurship and innovation”, electronic information engineering, as a key pillar of strategic emerging industries, plays a core role in promoting technological innovation and industrial upgrading. However, the talents cultivated by traditional education models are no longer able to meet the high requirements of the industry for innovative practical abilities. It is urgent to cultivate composite talents with both innovative thinking and entrepreneurial abilities through deep integration with innovation and entrepreneurship education. This article summarizes the basic concepts of professional education and innovation and entrepreneurship education, analyzes the current situation of their integration, and proposes a practical path for integration from three dimensions: integrated management mechanism, unified educational philosophy, and balanced teacher development, to promote the development of innovative talents in the field of electronic information engineering.

Keywords

innovation and entrepreneurship; Electronic Information Engineering major; education fusion

电子信息工程专业与创新创业教育融合实践路径

李若雪

天津职业技术师范大学, 中国 · 天津 300350

摘 要

在数字经济快速发展与国家“大众创业、万众创新”战略深入推进的背景下,电子信息工程专业作为战略性新兴产业的关键支柱,在推动技术革新与产业升级中发挥着核心作用。然而,传统教育模式培养的人才已难以满足行业对创新实践能力的高要求,亟需通过与创新创业教育的深度融合,培养兼具创新思维与创业能力的复合型人才。本文对于专业教育与创新创业教育的基本概念进行梳理,针对当前两者融合方面的现状进行分析,从整合管理机制、统一教育理念、均衡师资发展三个维度,提出融合实践路径,促进电子信息工程专业的创新人才发展。

关键词

创新创业; 电子信息工程专业; 教育; 融合

1 引言

电子信息工程专业涵盖电路设计、信号处理、通信技术、人工智能等前沿领域,是推动信息技术革新、产业升级的核心力量。随着 5G、AI、物联网、大数据等技术的广泛应用,社会对于对既精通电子信息技术,又具备创新创业能力的复合型人才需求日益迫切。然而,传统专业教育侧重理论知识传授与技术技能培养,与以实践应用和商业转化为导向的创新创业教育之间具有一定的差异化。所以,将两者深度融合既是顺应产业发展趋势,也是提升学生就业竞争力的必然要求。

2 专业教育与创新创业教育的基本概念

2.1 创新创业教育

创新创业教育是以培养学生创新意识、创业精神和创业能力为核心目标的教育模式。它强调通过课程教学、实践活动、项目孵化等途径,激发学生的创新思维,使其掌握市场调研、团队管理、风险应对、商业策划等创业技能,并引导学生将创新成果转化为实际生产力。创新创业教育突破传统教育的知识传授局限,注重培养学生的资源整合能力、问题解决能力以及社会责任感,本质上是培养学生未来适应社会发展的素质教育。

2.2 专业教育

电子信息工程专业教育以电子科学与技术、信息与通信工程等学科知识体系为基础,旨在培养学生掌握电子电路设计、信号处理算法、通信网络构建、嵌入式系统开发等专

【作者简介】李若雪(2003-),女,中国湖北襄阳人,本科,从事电子信息、应用电子研究。

业技能。通过系统的理论课程学习（如《电路分析》《数字信号处理》《通信原理》）与实践教学（如课程实验、毕业设计、企业实习），学生能够具备从事电子信息产品研发、信息系统设计与维护等工作的专业能力。专业教育注重学科知识的系统性和技术应用的专业性，强调学生对本领域前沿技术的掌握与创新能力的初步培养。

3 专业教育与创新创业教育的融合现状分析

3.1 专业教育与创新创业教育管理机制分离

当前，电子信息工程专业教育与创新创业教育分属不同管理部门。专业教育由学院教务处负责，主要围绕学科建设、课程体系优化、学分管理等开展工作；创新创业教育多由创新创业学院或就业指导中心主导，重点关注创新创业竞赛组织、创业项目孵化和创业政策宣传。这种管理机制的分离导致资源分散、缺乏协同。例如，在课程安排上，专业课程与创新创业课程存在时间冲突，学生难以兼顾；在项目支持方面，专业实验室与创业孵化基地的设备、场地等资源无法共享，限制了学生创新实践活动的开展。此外，由于缺乏统一的管理协调机构，二者在培养目标、教学计划制定上难以形成有效衔接，导致融合流于表面。

3.2 两者理念不同

专业教育与创新创业教育在教育理念上存在显著差异。专业教育以学科知识体系为中心，强调知识的系统性和深度，注重学生专业技术能力的培养，评价标准多以理论考试成绩和技术实践成果为主；而创新创业教育以市场需求为导向，更关注学生创新思维的激发、创业技能的提升以及创新成果的商业价值转化，评价标准侧重于项目可行性、市场潜力和社会效益。这种理念差异使得二者在教学内容设计、教学方法选择上难以融合。例如，专业课程中对技术原理的讲解缺乏市场应用场景的拓展，学生难以将技术与实际需求结合；创新创业课程则因脱离专业技术背景，导致学生的创意缺乏技术支撑，难以落地实施。

3.3 师资发展不平衡

电子信息工程专业教师多毕业于相关学科领域，具备扎实的学术背景和专业技术能力，但普遍缺乏创业实践经验和创新创业教育教学能力。他们在教学中更擅长传授理论知识和指导技术实践，对商业策划、市场营销、风险投资等创业相关内容了解有限，难以引导学生将技术创新与商业运作结合。而创新创业教育教师虽熟悉创业流程和方法，但对电子信息领域的专业技术细节掌握不足，在指导学生开展专业相关的创新创业项目时存在知识短板。此外，校企合作师资引入不足，企业导师参与教学的比例较低，导致教学内容与行业实际需求脱节，无法为学生提供真实、有效的创业指导。

4 融合实践路径的构建原则

4.1 理论与实践相结合

以电子信息工程专业理论知识为基础，通过创新创业

项目、学科竞赛、企业实习等实践活动，将抽象的理论知识转化为实际应用能力。例如，在《嵌入式系统设计》课程中，结合智能家居、智能穿戴设备等创业项目，让学生在实践中掌握硬件设计、软件开发技术，并体会技术成果商业化的过程^[1]。同时，通过实践反馈，进一步深化对理论知识的理解，形成“理论指导实践，实践反哺理论”的良性循环。

4.2 创新思维与创业技能并重

在融合教育与实践的过程中，既要高度重视培养学生在电子信息领域的专业技术创新能力，同时还必须着力强化学生在商业策划、团队高效管理、市场精准运营等方面的综合创业技能。具体而言，当教师在指导学生开展各类创新创业项目时，一方面要积极鼓励学生充分运用其所学的专业知识，大胆提出具有创新性和实用性的技术解决方案，以推动技术层面的突破；另一方面，也要有针对性地引导学生深入进行市场调研与分析，科学制定切实可行的商业模式，并系统撰写详尽的商业计划书。这样做的目的，是为了确保学生的创新成果不仅能够技术上保持领先地位，更能够在激烈的市场竞争中展现出强大的竞争力和高度的商业可行性，从而实现技术创新与市场价值的双重提升。

4.3 项目驱动与团队合作

以真实或模拟的创新创业项目为载体，将教学内容融入项目任务中，通过项目的策划、实施和完成，引导学生主动学习知识、提升能力。同时，鼓励学生组建跨学科团队，成员涵盖电子信息工程、市场营销、财务管理等不同专业，促进知识互补与技能融合。例如，在开发一款智能健康监测设备的项目中，电子信息专业学生负责硬件设计与软件开发，市场营销专业学生负责市场调研与推广方案制定，财务管理专业学生负责成本核算与融资规划，通过团队合作实现项目的全面推进，培养学生的团队协作能力和综合实践能力。

5 融合实践路径的具体实施策略

5.1 整合管理机制，构建协同育人体系

在推进电子信息工程专业与创新创业教育深度融合的过程中，首要任务是整合现有的管理机制，构建一个高效协同的育人体系。具体而言，包括几个方面：首先，学校应打破传统的学科壁垒，促进电子信息工程专业与创新创业教育相关部门之间的紧密合作。通过建立跨学科的管理委员会或工作小组，统筹协调各方资源，确保创新创业教育理念贯穿于电子信息工程专业的各个环节。其次，需要优化资源配置，将创新创业教育的相关资源与电子信息工程专业的教学资源进行有效整合。这包括实验室设备、师资力量、课程设置等方面的整合，以实现资源共享和优势互补。最后，建立健全一套激励机制，充分调动教师和学生积极参与到各类创新创业教育活动中去的积极性。具体而言，可以通过设立专门的创新创业教育基金，为那些富有创意和潜力的项目提供资

金支持；同时，针对在创新创业过程中涌现出的优秀项目和成果，给予相应的物质奖励和精神表彰，以此激发学生的创新热情和创业动力，形成良好的创新创业氛围。

5.2 统一教育理念，重塑课程与实践体系

5.2.1 课程体系融合重构

教育理念的统一是融合实践得以顺利进行的基础。所以，要坚决放弃过去那种仅仅局限于单一专业领域的传统教育观念，转而积极树立一种全新的教育理念，即以学生为中心，以培养学生的创新能力作为整个教育活动的核心。在这一先进教育理念的引领下，需要对现有的课程体系进行一次全面、细致的梳理和系统性的重构工作。具体来说，要将创新创业教育的相关内容以有机的方式融入到电子信息工程专业的每一个教学环节之中。例如，可以通过增设一系列与创新创业紧密相关的课程、对传统课程内容进行适时的改造和更新、引入以项目为导向的学习模式等多种途径，确保学生在扎实掌握专业知识的基础上，同步提升自身的创新思维和创业能力。此外，高度重视实践教学环节的改革与创新，不断增加与创新创业相关的实践项目，积极鼓励学生参与到科研项目、创业竞赛等丰富多彩的活动中去。通过这些实践活动的锻炼，学生的综合素质和创新能力将得到全面提升。通过上述一系列措施的稳步推进和有效实施，构建出一套既充分体现电子信息工程专业独特特点，又能够兼顾创新创业教育各项要求的新型课程与实践体系，为培养适应新时代需求的高素质人才奠定基础。

5.3 均衡师资发展，打造复合型师资队伍

5.3.1 加强校内教师培训

为提升电子信息工程专业教师队伍的创新创业教育水平，学校将定期组织相关教师参加一系列内容丰富、针对性强的创新创业教育专题培训活动。这些培训内容涵盖了创业项目的策划与构思、商业模式创新设计、创业过程中的风险管理等多个关键领域，旨在帮助教师们全面掌握创新创业教育的核心要素和实用技能。

此外，学校积极鼓励和支持教师们走出校园，深入企业一线进行挂职锻炼，以切实提升其实践能力和创业经验。通过这种方式，教师们可以在真实的商业环境中积累宝贵的创业实践经验，从而更好地指导学生。例如，学校可以选派

优秀教师到创业公司担任技术顾问，直接参与公司的产品研发和市场推广工作，将企业实践中的成功经验和典型案例带回课堂，转化为生动实用的教学案例，丰富教学内容。

为了进一步激发教师们参与创新创业教育的积极性和主动性，学校还可以建立一套科学合理的教师创新创业教育教学能力评价机制。该机制将把教师在创新创业教育方面的教学成果和贡献纳入到其绩效考核体系中，作为评优评先的重要依据^[1]。通过这种激励措施，学校希望能够有效推动教师们积极参与到融合创新创业理念的教学改革中去，不断提升电子信息工程专业的教学质量和人才培养水平。

5.3.2 引进校外优质师资

聘请电子信息领域的创业人员、企业高管、风险投资人等担任兼职教师或创业导师，定期到校开展讲座、工作坊和项目指导。例如，邀请智能硬件创业公司创始人分享创业历程与经验，指导学生开展项目策划；邀请风险投资人讲解投资逻辑与项目评估标准，帮助学生提升商业计划书撰写能力。此外，建立校企师资联合培养机制，企业导师与校内教师组成教学团队，共同指导学生创新创业项目，实现优势互补，提升教学指导质量。

6 总结

综上所述，电子信息工程专业与创新创业教育的深度融合是适应产业发展需求、培养高素质创新人才的必然选择。通过整合管理机制、统一教育理念、均衡师资发展等实践路径的实施，能够有效解决当前融合过程中存在的管理分离、理念差异、师资失衡等问题，构建起理论与实践相结合、创新思维与创业技能并重、项目驱动与团队合作的融合育人体系。

参考文献

- [1] 付贵海,周慧,曾革.地方应用型高校创新创业教育与专业教育融合路径研究[J].湖南科技学院学报, 2022, 43(5):119-121.
- [2] 王磊.大学生创新创业教育与专业教育融合发展研究--以伊犁师范大学广播电视学和新闻学专业为例[J].伊犁师范大学学报, 2021, 39(4):80-85.
- [3] 张仲昭,代家玲,何莹,等.中医类高等学校创新创业教育与专业教育融合机制探讨[J].教育进展, 2023, 13(12):10098-10104.

Network security risk assessment and defense of nuclear power plants

Zhengzheng Zhang

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

The widespread application of digital and intelligent technologies in nuclear power plants has increased the reliance on network systems for production control, safety monitoring, and operational management. This paper addresses the cybersecurity issues in nuclear power plants by systematically analyzing risk factors, including external network attacks, internal personnel operations, equipment system vulnerabilities, supply chain risks, and natural disasters. It then establishes risk assessment goals and principles, constructing a comprehensive process that includes asset identification, threat identification, vulnerability identification, risk analysis and assessment, and response monitoring. Furthermore, it proposes cybersecurity defense strategies from three perspectives: technical defense, management defense, and physical environment security.

Keywords

nuclear power plant; network security; risk assessment; defense strategy; risk analysis

核电厂网络安全风险评估与防御

张峥峥

大亚湾核电运营管理有限责任公司，中国·广东 深圳 518000

摘 要

数字化、智能化技术在核电厂中的广泛应用，使得核电厂的生产控制、安全监测、运营管理等环节对网络系统的依赖程度日益加深。本论文则针对核电厂网络安全问题，系统地分析了外部网络攻击、内部人员操作、设备系统漏洞、供应链及自然灾害等风险因素。随后通过确立风险评估目标与原则，构建了包含资产识别、威胁识别、脆弱性识别、风险分析评估及应对监控的完整流程，还从技术防御、管理防御和物理环境安全保障三个方面入手提出了网络安全的防御策略。

关键词

核电厂；网络安全；风险评估；防御策略；风险分析

1 引言

核电厂作为关乎国家能源安全与公众生命财产安全的重要基础设施，其网络安全不仅影响自身的安全稳定运行，在遭受了网络攻击或出现安全漏洞时，甚至还可能引发核泄漏等灾难性的后果，最终会对环境和社会造成不可估量的危害。近些年来，全球范围内针对关键基础设施的网络攻击事件频发，核电厂自然也成为了黑客攻击的潜在目标，因此网络安全问题已经成为了核电厂安全管理的重要组成部分。在该情况之下，深入地开展核电厂网络安全风险评估与防御研究，对于保障核电厂的安全稳定运行、维护国家安全和社会稳定都具有重要的现实意义。

2 核电厂网络安全风险分析

2.1 外部网络攻击风险

核电厂面临着多种来自外部的网络攻击威胁。黑客便是当中的头号威胁，他们可能会利用网络漏洞对核电厂的控制系统、数据中心等关键的网络设施发起攻击。以分布式拒绝服务（DDoS）攻击为例，黑客通过大量的非法请求可以占用网络带宽和系统资源，进而导致网络瘫痪，使核电厂的监测和控制功能无法正常的运行。此外，恶意软件攻击也是黑客们常见的手段，类似病毒、木马、勒索软件等恶意程序一旦侵入核电厂网络，就可能会窃取敏感数据、篡改控制指令，最终破坏核电厂的正常生产秩序。甚至一些国家或组织出于政治、经济等目的，也可能对核电厂发动有针对性的高级持续性威胁（APT）攻击，由于这类攻击具有隐蔽性强、持续时间长、攻击手段复杂等特点，所以能够长期的潜伏在核电厂网络中伺机而动，其严重地威胁着核电厂的安全运行^[1]。

【作者简介】张峥峥（1990-），男，中国江苏南通人，本科，工程师，从事通信、网络安全、数字化转型研究。

2.2 内部人员误操作与恶意行为风险

内部人员的行为对于核电厂的网络安全有产生直接的影响。一方面部分员工由于自身网络安全意识淡薄、操作技能不足等原因,极可能会在日常工作中出现误操作,像随意下载不明来源的文件、使用弱密码、未按规定流程操作网络设备等等,从而为网络攻击打开缺口。另一方面则是存在着内部人员恶意行为的风险,个别心怀不轨的员工可能出于利益驱使、报复心理等原因,会选择故意泄露核电厂网络安全信息、篡改系统数据、破坏网络设备,此情况给核电厂的网络安全带来了严重的危害。

2.3 网络设备与系统漏洞风险

现阶段,核电厂内使用的大量网络设备和系统均存在着漏洞风险。其中网络设备如交换机、路由器、防火墙等,在设计、生产和配置的过程中可能存在着安全漏洞,如果这些漏洞被攻击者所利用,就可能导致设备被控制、网络通信被窃听或篡改。不仅如此,核电厂的工业控制系统、管理信息系统等软件系统同样面临着漏洞问题,因软件编程缺陷、未及时更新补丁等因素,使得系统非常容易受到攻击^[2]。

2.4 供应链安全风险

核电厂网络系统的供应链涉及到了众多的环节,从硬件设备的采购、软件系统的开发,再到系统集成和维护,当中的每个环节都可能会存在安全风险。首先是供应商提供的设备和软件旨在,可能存在着未公开的后门或安全缺陷,一旦被植入恶意代码再接入核电厂网络,就会成为极大的安全隐患。其次供应链中的物流运输、存储等环节若管理不善,也可能导致设备和软件受到物理损坏或者被篡改。最后供应链的稳定性也会影响到核电厂的网络安全,若关键的供应商出现问题,如破产、被恶意收购等,就可能导致核电厂无法及时地获得所需的安全更新和维护服务,进而增加了网络安全风险。

2.5 自然灾害与物理环境风险

地震、洪水、台风、雷击等自然灾害,能够对于核电厂的网络基础设施造成严重的破坏,从而导致网络中断、设备损毁。例如强烈地震可能会使机房建筑倒塌,此时便会损坏服务器、网络交换机等设备;洪水则可能会淹没地下网络设备室,进而造成设备的短路损坏。此外物理环境因素如机房温度过高、湿度过大、电力供应不稳定等,依然也会影响到网络设备的正常运行,直接地降低了设备的使用寿命,也增加了网络故障发生的概率,终将影响到核电厂的网络安全^[3]。

3 核电厂网络安全风险评估体系构建

3.1 风险评估目标与原则

核电厂网络安全风险评估的目标是全面、准确地识别网络系统中存在的安全风险,并且评估风险发生的可能性和潜在影响,为制定有效的风险应对策略提供依据,以此保障核电厂网络系统的安全性、可靠性和稳定性。

实际在风险的评估过程中,相关人员应遵循以下原则:

一是系统性原则,即全面地考虑到核电厂网络系统的各个组成部分进行整体评估,当中包括了硬件设备、软件系统、人员操作、物理环境等;二是科学性原则,要求相关人员采用科学且合理的评估方法和技术手段,务必确保评估结果的客观、准确;三是动态性原则,由于核电厂网络系统是不断发展和变化的,加之外部网络安全环境的改变,因此需要定期或不定期地进行风险评估,保障新的风险能够及时地被发现;四是可操作性原则,在该原则下评估的流程和方法应简单易懂、便于实施,评估的结果也应具有实际的指导意义,如此才能够为风险应对提供有效的支持。

3.2 风险评估流程

3.2.1 资产识别

因为资产识别是风险评估的基础,所以相关人员需要对核电厂网络系统中的各类资产进行全面地梳理和分类。而网络资产主要包括硬件资产、软件资产、数据资产以及人员资产。对上述的每类资产均需进行详细地描述,核心在于确定其重要性等级,如核心控制系统服务器、核反应堆运行数据等资产,因其对核电厂的安全运行至关重要,所以应划分为高重要性资产,而一些辅助办公设备和普通数据则可划分为低重要性资产。

3.2.2 威胁识别

威胁识别旨在分析可能会对核电厂网络资产造成损害的潜在因素。结合前文所述的风险分析来看,相关人员应从外部网络攻击、内部人员行为、设备系统漏洞、供应链安全和自然灾害等方面入手,识别出各类威胁源。

3.2.3 脆弱性识别

脆弱性识别是查找核电厂网络系统中存在的安全弱点和漏洞。通过技术检测和人工检查相结合的方式,对网络设备、软件系统、网络配置、安全管理制度等进行全面检查。利用漏洞扫描工具对网络设备和软件系统进行扫描,检测是否存在已知的安全漏洞;对网络配置进行审查,检查是否存在不合理的访问控制策略、未启用的安全功能等问题;对安全管理制度进行评估,查看是否存在制度不完善、执行不到位等情况。例如,发现某网络设备存在未修复的高危漏洞,某软件系统的用户权限分配过于宽松,安全管理制度中缺乏对员工网络安全培训的相关规定等,这些都是网络系统的脆弱性所在。

3.2.4 风险分析与评估

风险分析与评估即根据资产识别、威胁识别和脆弱性识别的结果,确定出风险发生的可能性和潜在影响。通常采用的是定性与定量相结合的方法,对于风险进行综合的评估。其中定性评估是通过专家判断、风险矩阵等方式,对于风险的可能性和影响程度进行主观的评价;定量评估则是利用数学模型和统计方法,对于风险进行量化分析,如计算风险发生的概率和可能造成的经济损失。随后再将风险的可能

性和影响程度通过风险矩阵划分为不同的等级,针对其等级采取相对应的措施。

3.2.5 风险应对与监控

根据风险评估的结果,制定出相应的风险应对策略。一般对于高风险,应优先采取措施将其消除或降低风险,如修复系统漏洞、加强访问控制、增加安全防护设备等;对于中风险则可采取一定的措施进行控制和管理,如制定应急预案、加强员工培训等等;面对低风险仅需进行持续地监控,若风险等级发生变化,再及时地采取相应的应对措施。

3.3 风险评估方法

核电厂网络安全风险评估可采用多种方法进行,目前常见的有德尔菲法、层次分析法(AHP)、故障树分析法(FTA)、模糊综合评价法等等。具体来说:德尔菲法通过专家匿名反馈和多轮调查,能够收集专家的意见,以此对风险进行评估,一般适用于缺乏历史数据和难以量化的风险评估;层次分析法可以将复杂的问题分解为多个层次,再通过建立判断矩阵,确定出各因素的权重,从而对风险进行综合地评估,该方法能够有效地处理多因素、多层次的风险评估问题;故障树分析法则从顶事件出发,经由分析导致顶事件发生的各种可能原因,构建起故障树,进而评估风险发生的概率和影响;而模糊综合评价法利用了模糊数学理论,可以对风险的模糊性和不确定性进行处理,其可更加准确地评估风险。一般实际评估当中,相关人员可根据具体的情况来选择合适的评估方法,也可将多种方法相结合进行评估,如此可提高评估结果的准确性和可靠性。

4 核电厂网络安全防御策略

4.1 技术防御

在技术防御方面,相关人员首先要加强对于网络边界的防护,几部署高性能的防火墙、入侵检测与防御系统(IDS/IPS)、虚拟专用网络(VPN)等设备。此时防火墙可对进出核电厂网络的流量进行过滤和控制,能有效地阻止非法访问和攻击;IDS/IPS则能实时地监测网络中的异常行为和攻击活动,并及时地对其进行阻断;而VPN可以在公共网络上建立安全的专用通道,进而保障远程访问的安全性。同时也应对核电厂网络进行合理的分区和隔离,通过将生产控制网络与管理信息网络分开,并且在不同安全等级的网络之间采用网闸等设备进行物理隔离,来防止网络攻击在不同的网络之间扩散。

4.2 管理防御

一方面应当完善核电厂网络的的安全管理制度,制定涵盖了人员管理、设备管理、数据管理、应急响应等多个方面的规章制度。基于此,也应注重加强人员网络安全的培训,务必提高员工的网络安全意识和操作技能,并且定期地组织网络安全演练,进而增强员工应对网络安全事件的能力。同

时需要建立严格的人员访问控制机制,以此根据对员工、外包人员等的网络访问权限进行审批和管理,且定期地对人员权限进行审查和更新。

另一方面则需建立健全的网络安全应急响应机制。展开而言:第一要制定详细的应急预案,在其中明确应急响应流程和各部门的职责;第二要定期地对应急预案进行演练和评估,再根据演练的结果对于预案进行修订和完善;第三需加强网络安全事件的监测和预警,即建立安全事件报告制度,一旦发现了网络安全事件,相关人员需及时地向上级部门报告,并迅速地启动应急预案,针对事件采取有效的应对措施,以降低事件而造成的损失。

4.3 物理环境安全保障

核电厂网络设备机房的物理安全防护是至关重要的部分,一般需要设置严格的门禁系统,即采用生物识别技术(如指纹识别、人脸识别等)和智能卡相结合的方式,对于进入机房的人员进行身份验证。同时安装视频监控系统,借此对机房进行24小时的实时监控,以确保机房内的设备和人员活动始终处于监控之下。但对于机房的温度、湿度、电力供应等环境参数也应进行实时地监测和控制,并配备不间断电源(UPS)、空调系统等设备,使得网络设备能够一直在适宜的环境中运行。

针对于网络设备的物理保护,则需对重要的设备进行加固和防盗处理,严防设备被盗或被破坏的情况发生。为此要对网络线缆进行规范的铺设和管理,一定要避免线缆被损坏或被非法接入。并且定期地对网络设备要进行巡检和维护,确保能够及时地发现和处理设备故障和安全隐患,确保网络设备的正常运行。另外需要建立异地灾备中心,在此将核电厂的重要数据和关键业务系统进行异地备份,这样在发生自然灾害或重大网络安全事件时,核电厂就能够快速地恢复业务运行。

5 结语

通过对核电厂网络安全风险的全面分析,构建了科学与合理的风评估体系,并从技术防御、管理防御和物理环境安全保障等多个方面制定了有效的防御策略,最终显著地提升了核电厂的网络安全防护能力。持续地加强网络安全技术研发和创新,使得网络安全管理水平以及人员培训和教育始终跟随时代的脚步,以此为核电厂的安全运行和可持续发展提供坚实的网络安全保障。

参考文献

- [1] 王萍.核电厂智能设备的网络安全防护设计[J].自动化仪表,2021,42(S1):314-318.
- [2] 程正.智能仪表技术及工业自动化应用发展[J].电子技术与软件工程,2017,(17):137.
- [3] 杨景利,刘元,孟庆军,等.核电厂仪控系统安全防护策略研究及应用[J].自动化仪表,2019,40(06):93-97.

Design of a transmitter abnormal data expansion monitoring system based on Internet of Things technology

Qian Zhao

National Radio and Television Administration 95-1, Shijiazhuang, Hebei, 050407, China

Abstract

Real time, accurate, and intelligent monitoring of the operating status of broadcasting transmission equipment is crucial to solve the problems of outdated equipment, frequent abnormal faults, and low efficiency of manual inspection. Design a transmitter abnormal data expansion detection system, which is based on Internet of Things technology. By connecting monitoring, testing, analysis and other equipment, the system can achieve real-time monitoring, collection, statistical analysis and alarm functions of abnormal data, thereby improving the safety and stability of the transmitter and completing the intelligent transformation of traditional transmitter detection systems. The results show that the extended monitoring system for abnormal data of transmitters based on IoT technology can timely detect abnormal data of transmitters, effectively improving the operation and maintenance efficiency of safe broadcasting work.

Keywords

transmitter; Abnormal monitoring system; Real time monitoring; The Internet of Things

基于物联网技术的发射机异态数据拓展监测系统设计

赵倩

国家广播电视总局九五一台, 中国 · 河北 石家庄 050407

摘 要

为解决广播发射台设备老旧、异态故障多、人力巡检效率低等问题, 实时、精准、智能地监测设备的运行状态至关重要。设计一套发射机异态数据拓展检测系统, 系统以物联网技术为核心, 通过连接监测、测试、分析等设备, 实现异态数据的实时监控、采集、统计分析和报警功能, 从而提高发射机的安全性和稳定性, 完成传统发射机检测系统的智能化改造。结果显示, 基于物联网技术的发射机异态数据拓展监测系统可以及时发现发射机异态数据, 有效提升安全播出工作的运行维护效率。

关键词

发射机; 异态监测系统; 实时监测; 物联网技术

1 引言

近年来, 很多广播发射台站因设备老旧, 高负荷运行多年, 异态故障越来越多。另外, 因为人力巡检效率低, 缺乏有效的对异态故障监测手段, 还导致停播事故频发, 影响发射机房安全稳定的运行, 对安全播出工作造成严重的安全隐患^[1-3]。因此, 设计一套应用在发射机、发射机附属设备及机房中的异态故障监测系统十分重要。

传统的发射机、发射机附属设备及机房设备数量较多、布线复杂、信息反馈不及时, 人工管理方式已经不能满足站台的实际需求。本文设计一个全开放的异态监测系统, 通过连接各种传感器和设备, 实现对系统实时监控、数据采集、统计分析和报警等功能的综合管理^[4-7]。系统的设计改变了

数据孤岛现象, 综合运用了多种监测采集终端对发射机、附属设备、机房进行 24 小时不间断异态监测, 使机房人员可以在故障进一步造成损失和安全播出影响之前将异态隐患遏制在萌芽状态, 为及早深入排查和维护发射机提供帮助, 为维护检修提供依据。

2 系统软硬件设计

2.1 整体架构设计



图 1 整体架构设计

【作者简介】赵倩（1983-），女，中国河北石家庄人，硕士，高级工程师，从事广播发送技术研究。

系统整体架构设计如图1所示,其中,发射机异态数据拓展监测系统包括现场环境参数和设备状态采集系统、信息传输系统、数据存储系统、嵌入式控制软件和监控画面组态软件系统。现场环境参数和设备状态采集系统由传感器、I/O 采控模块组成,直接连接甲机房发射机进出水管温度传感器,发射机射频机箱、水电机箱、马达机箱、模块室漏水监测绳,机房温湿度传感器,UPS 电源和蓄电池、空调、烟感等被监控设备;传输系统将采集的现场信号通过以太网、RS485 等方式上传到存储系统嵌入式监控主机;存储系统嵌入式监控主机采用 ARM 系列嵌入式计算机,双重看门狗设计,可脱网工作并具有独立数据处理及数据存储能力,将现场设备采集层传来的各种信息进行存储、实时处理、分析和输出,处理所有的报警信息,记录报警事件;软件系统安装在任意一台电脑上,便于维护人员随时随地了解机房被监控设备的工作状况。

2.2 监测采集设计

为了能够对系统做到多样化实时智能监测,使监测系统能够及时、精确、稳定地提供各种信息,特别是异态信息。以下主要从漏水、水温、温湿度三个角度出发,对传感器的模块化进行合理优化设计,采用多种类型监测采集终端对所需信息进行采集。

2.2.1 漏水监测系统

漏水检测绳具有柔韧性强、无任何金属裸露、灵敏度高优点,已广泛应用于工程领域^[8]。因此,设计将漏水检测绳以S型设计布于发射机内部有漏水隐患的部位,如三 π 、水电机箱、马达机箱及灯丝变压器下方,参见图2。

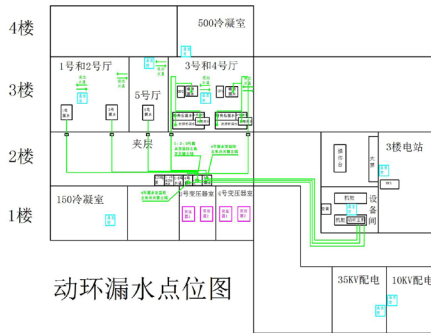


图2 漏水监测点位图

在监测过程中,漏水检测传感器与监控主机相连,一旦监测点位出现漏水状态,传感器将提供准确的位置信息并发送到终端,实现对漏水的实时监测,监测信息对排查漏水点和处理漏水故障提供了依据。

2.2.2 水温监测系统

为了实时监控主机进出口水温是否正常,监测系统采用线性热敏电阻温度传感器对各个进出口位进行监测,监测点位图参见图3。

考虑到传统的热敏电阻传感器受非线性化的影响,其测量结果存在误差。因此,利用电阻串并联法将热敏电阻温度传感器的非线性化转换为线性化^[9],对测量误差进行补偿,

这种优化方法可以提高测量范围和精度,电阻串并联电路图参见图4。

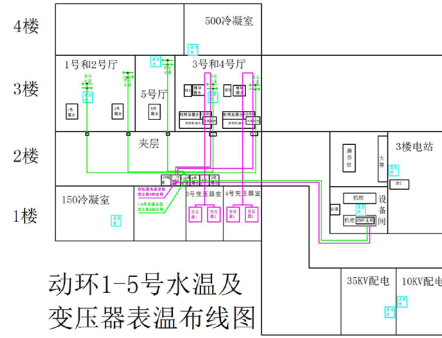


图3 水温监测点位图

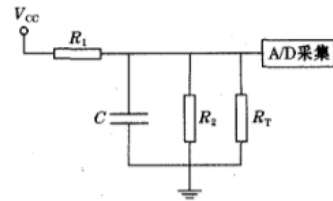


图4 热敏温度电阻串并联电路图

当补偿温度区间在 T_1 至 T_2 时,可以测量得到对应的电阻值为 R_{T1} 和 R_{T2} ;区间内任一温度对应的电阻值为 R_{T0} ;经过线性处理后,电阻值分别为 R_1 、 R_2 和 R_T ,如图5所示;通过式(1),可以求得 R_1 和 R_2 的值。

$$R_T = \frac{R \times R_2 - R_1 \times R_2}{R_1 \times R_2 - R} \quad (1)$$

在监测过程中,水温过高或过低均会及时报警,监测进出水温还可判断冷凝器工作是否正常、发射机该频率调谐状态是否正常。

2.2.3 温湿度监测系统

系统部分电气设备老化、易受潮湿环境的影响,机房的湿度对设备的安全、稳定运行有重要影响,因此,需要实时监测湿度对设备的影响,确保设备的绝缘性能正常。

传统的温湿度传感器采用PID算法,存在自动调节功能差、动态响应速度慢等缺点。为了提高系统的稳定性,对传统的温湿度传感器进行优化,通过迭代法实现数据的实时采集,将从而得到输出误差变化率,对系统温度进行实时控制,最终通过自动调节功能提高系统的稳定性和全面性^[10]。

图5是优化PID算法的温湿度控制系统模型。其中, $x(t)$ 是设定的温湿度控制范围; $e(t)$ 是误差信号; $v(t)$ 是偏差的变化率; $y(t)$ 是输出电压; k_p 、 t_i 、 t_d 分别是调节器的比例系数、积分时间、微分时间;系统的PID控制方程一般形式为:

$$y(t) = k_p \left[e(t) + \frac{1}{t_i} \left(\int e(t) dt \right) + t_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

将输入端参数进行离散化,可以得到调节器参数的控制规则矩阵,最终输出调节器参数的实时数值。

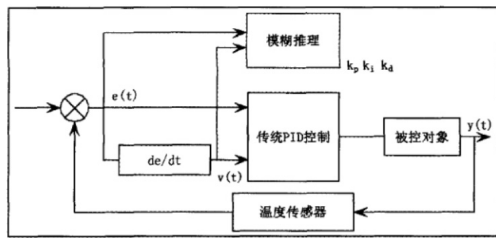


图5 优化PID算法的温度控制系统模型

2.3 系统扩展能力与稳定性设计

系统可根据需要增加监控主机，各厂家监控主机均可接入。系统使用的主机可监测干接点（开关量）输入接口16路；继电器输出接口8路；RS232/RS485接口8路；CONSOLE口1路；以太网接口1路。

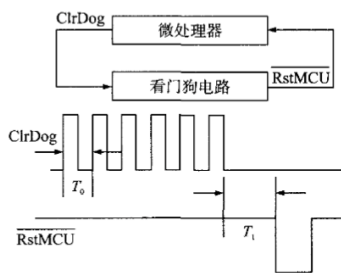


图6 看门狗电路原理图

发射机系统由多种器件组成，容易因任务交叉、重叠而产生的异常故障，从而出现系统死机、无法启动、内存报错及系统无响应等极端情况。为提高系统的稳定性，监控主机采用双看门狗设计。其电路原理图如图6所示。其中， T_0 是系统正常运行时的周期频率； T_1 是异常时间；一般情况下， T_1 大于 T_0 。当系统正常运行时，微处理器以 T_0 频率向看门狗电路发送“喂狗”信号，即发送复位信号。当系统无法发出“喂狗”信号时，即 T_0 大于 T_1 时，看门狗将自动完成复位信号，强制系统重新启动。

3 系统测试与数据分析

为验证系统设计的可靠性，根据机房环境，对系统性能进行了测试。实时监测系统下，发射机水温24小时监测数据历史变化曲线如图7所示。



图7 发射机水温随时间的变化曲线

从图7中可以看出，发射机在某个频率播出十五分钟后发射机水温会比其他频率高，说明发射机某个频率调谐状态还有待进一步调整，而这些通常在发射机表值中是难以发现的。通过进一步调整，可使发射机状态更优，同时也能延长发射机内部各器件的使用寿命。此类异常并不够报警级别，但可以准确显示异常，在实际工作中已多次为甲机房维护人员提供数据支持，为深入维护发射机，状态检修提供了有效的服务。其次，从监测窗口右下角可以看到，实时状态下，监测系统提示存在7条待处理预警信息。最后，可对设备、监控、时间等数据进行筛选，将当前查询到的数据导出为EXCEL表格或PDF文件。通过系统提示的异常故障出现的时间和相关参数，工作人员可以及时地对系统进行维护检修，更好地保障发射机的正常运行。

4 结论

基于物联网技术对发射机异常拓展监测系统进行设计和应用，通过优化系统监测、测试、分析等功能，实现24小时实时监测发射机运行状况，拓展了传统监测系统本身不具备的异常报警功能，丰富了发射机的异常监测内容，弥补了人工巡视异常发现不及时弊端。

经实践证明，该系统具备统一监控、智能感知、远程运维、事前预警、事中报警、事后取证等多重功能，实现了分散信息的拓展实时监控，有效提升安全播出工作的运行维护效率，具有重大的经济效益和社会效益，应用前景广泛。

参考文献

- [1] 吴晓冬,郑匡庆,俞伟,原洪涛.基于嵌入式平台的新一代动环监控系统硬件架构分析及升级改造实践[J].中国金融电脑,2020(11):71-75.
- [2] 杨德权.融媒体中心电视播控发射机动力和环境监测系统设计与实现[J].移动信息,2023,45(9):244-247.
- [3] 樊春花.数据中心机房动环监控系统的设计与实现[D].青岛科技大学,2018.
- [4] 郑慧君,彭勇,梁月华,杜铭俊,胡文德.基于NB-IoT的地下管廊环境监测系统设计[J].科学技术创新,2024(5):82-85.
- [5] 蒋超.基于物联网技术的燃气管道监测系统设计与实现[J].科技创新与应用,2024,14(6):104-107.
- [6] 郑慧君,彭勇,梁月华,杜铭俊,胡文德.基于NB-IoT的地下管廊环境监测系统设计[J].科学技术创新,2024(5):82-85.
- [7] 陈彩蓉,王晨,李俊,胡飞.基于物联网的鸡舍环境监测系统设计[J].现代农业科技,2024(4):182-184.
- [8] 朱小津,王云,赵效赔.温湿度及漏水监测管理系统在海上平台的应用[J].天津科技,2022,49(5):71-74.
- [9] 景婧.应变式称重传感器的非线性校正[J].计算机应用研究,2013,30(1):189-191.
- [10] 岳宇博,李兴广,刘仁成.优化PID算法在小型温控系统中的应用[J].科技资讯,2012,10(34):11-11.

Research on the Design and Application of an Integrated Safety and Consumption Platform Based on Dual Control, Emergency Response, and Continuous Improvement

Hong Zhang Chunming Li

Lianyungang Tobacco Monopoly Bureau (Company), Lianyungang, Jiangsu, 222000, China

Abstract

Important policy documents such as the “14th Five Year Plan for National Work Safety” emphasize the principle of adhering to risk prevention and control and moving the checkpoint forward, actively advocating the use of information technology to promote scientific, informational, and standardized safety work. This study is based on risk management and adopts a full process responsibility system management, from risk identification to control and emergency response. Guided by grid thinking, a four-color chart visualization page is used to clarify the scope and level of risks, ensuring that responsibilities are implemented without omission or repetition, and promoting the implementation of the safety production responsibility system. The four intelligent scenarios cover the fields of security, fire protection, electricity, and transportation, effectively improving the level of safety supervision and further promoting the improvement of the entire safety management work.

Keywords

dynamic four-color chart, integrated safety and consumption, structured emergency plan

基于双控 + 应急 + 持续改进的安消一体平台设计与应用研究

张宏 李春明

连云港市烟草专卖局（公司），中国·江苏 连云港 222000

摘 要

《“十四五”国家安全生产规划》等重要政策文件强调了坚持风险预控和关口前移的原则，在安全工作中积极倡导利用信息化手段推动科学化、信息化以及标准化。本研究基于风险管控，通过全流程责任制管理，从风险辨识到管控再到应急响应，以网格化思维为指导，运用四色图可视化页面明确风险范围和级别，确保责任落实不遗漏不重复，推动安全生产责任制的落地。四个智慧化场景涵盖安防、消防、用电、交通领域，高效提升安全监管水平，进一步推动整个安全管理工作的提升。

关键词

动态四色图、安消一体化、应急预案结构化

1 引言

《“十四五”国家安全生产规划》等重要政策文件的强调表示在安全生产领域，要不断加强对未来可能出现的风险的预防和控制，将重点放在事前、事中的关口前移，提前部署、提前干预，以最大程度地预防事故发生。

一、基于双控 + 应急 + 持续改进的安消一体平台设计与应用研究的背景

除了安全管理新要求的强调，安全管理人员面临一个较大的矛盾，一方面危险源的辨识是一个长期的过程，需要在工作中不断地发现、控制和评价，需要一套较为长期且稳定

的系统来支撑工作，另一方面现在处于安全管理的大变革时期，标准文件更新较快。面对来自于上层（如行业安全标准化规范文件）输入版本更新之间的内容变化或可预期的未来的安全管理内容变化，需要一种全新的，合理的，呈螺旋式上升的安全管理方法。基于双控 + 应急 + 持续改进的安消一体化理论的管理方法是一套通过多次论证，多个项目检验的安全管理方法论，与风险分级管控，隐患排查治理，应急管理和持续改进为抓手，能够帮助实现管理人员抵消来自上层输入对安全管理工作的影响，确保安全管理工作有序进行。

2 基于双控 + 应急 + 持续改进的安消一体平台设计与应用研究的理论

2.1 双控 + 应急 + 持续改进的理论基础

双控 + 应急 + 持续改进的理论，是基于新《安全生产法》、

【作者简介】张宏（1979-），女，中国江苏赣榆人，本科，高级会计师，从事企业管理，财务管理，市场营销研究。

《企业安全生产标准化规范（GB33000）》、《“工业互联网+安全生产”行动计划（2021-2023年）》等文件要求构建的以全员安全生产责任制为核心，以双控+应急+持续改进为主线的业务模型，形成安全生产管理的闭环管理，通过建立安全生产的三道防线（风险分级管控、隐患排查治理和应急管理），驱动安全管理业务不断提升。

2.1.1 风险分级管控防线

风险管控措施依据内容领域可划分为安全责任体系、安全风险分级管控、事故隐患排查治理、相关方安全管理、危险作业管理、安全意识和能力培训教育、应急准备和响应、绩效评定和持续改进、职业健康和劳动保护管理等业务域，根据专业领域进行工作划分，析分安全管理工作重点，更有效落实风险管控措施，落地全员安全生产职责。

2.1.2 隐患排查治理防线

作为安全生产管理的第二道防线，针对基础管理未及时完成的工作任务以及现场排查发现的不符合项，运用“PDCA”的指导思想，从隐患排查清单的制定开始，依据风险单元形成明确的安全检查项与检查周期，借助安全检查执行、全员隐患举报、外部安全检查等方式发现隐患，形成隐患管理台账，进入隐患整改流程，形成隐患管理完整闭环。及时发现并消除事故隐患，保障企业生产安全。

2.1.3 应急管理防线

作为安全生产管理的第三道防线，应急准备和响应模块可细分为应急组织、应急预案清单、应急物资清单、应急预案管理、应急演练五个部分，系统提供标准流程的建立，结构化应急预案、操作规程等文件，建立清晰明确的应急操作指导，提高应急响应的效率和可操作性，增强预案更新和维护的便捷性。同时，结合安全立体地图对风险点的实时监控，及时有效发现问题，明确资源现状，借助现场技防手段、数据传输，加快响应速度、增强协同能力、提供全面的情报支持，从而有效地支持应急的执行和指挥，做好事中处置，有效降低损失。

2.1.4 系统评估、持续改进

企业级安全生产标准化自评：根据企业考核评价准则，设计、拆分考核指标，形成自动考核指标库，并明确考核规则，按照考核指标要求按时提醒，随时打分。按照考核时间维度，形成企业安全生产标准化分数曲线。根据考核分数，明确安全管理劣势；根据曲线走势，更有利于了解企业安全生产的水平和态势，及时进行管理策略的调整和优化。

企业级预测预警：按照行业预测预警文件的要求，结合企业安全管理实际情况，从物联技防措施和人防管理措施两个维度，汇总形成重点预测预警指标，并借助物联自动获取和人工校准两类方式，计算企业安全管理态势，形成具备前瞻性的预测预警指数曲线，从企业角度实时了解安全管理情况，及时发现安全管理水平发展趋势，不再以人工经验为主，而是以数据驱动管理优化，及时做出预警防范。

2.2 基于网格化的动态四色图

网格化管理将安全管理划分为多个互相关联的网格，每个网格都具有明确的责任和任务，形成了一个细致而完整的管理体系。在这样的管理结构下，可以对安全风险进行更加详细和全面的分析和管控。

动态四色图是将传统四色图与时间轴结合，实现对风险的动态监测和分析。在安全生产中，风险是不断变化的，需要及时更新和调整管理措施。通过动态四色图，可以实时记录和跟踪风险的变化趋势，根据实际情况不断调整风险评估的结果和管理策略。这样可以使管理者更加及时、准确地做出决策，有效应对风险的变化。

将网格化管理和动态四色图相结合，可以实现对安全风险的全面、动态管理。管理者可以将不同网格的安全风险映射到动态四色图上，从而清晰展现出各项风险的等级和变化趋势。同时，可以根据四色图的变化情况，快速调整管理策略和控制措施，实现对风险的有效管理和持续改进^[1]。

2.3 技防与人防结合的安消一体化

人防方面，依据全员安全生产责任制的要求，将风险管控措施落实到岗位，形成岗位职责清单，根据5W1H的原则，形成具体可执行、可量化的工作任务清单。借助系统任务引擎，自动匹配任务，将任务按期推送到具体岗位，实现从“人找事”的被动管理到“事找人”的主动防控；并根据任务的实际情况，通过自动考核与人工考核相结合的方式，考核任务完成情况，落实全员安全生产责任制。

技防方面，依据《“工业互联网+安全生产”行动计划（2021-2023年）》的要求，完善现场设备设施部署，构建快速感知能力；建立物联数据的统一标准与协议，实现安全生产关键数据的云端汇聚和在线监测，解决数据孤岛问题，形成一体化监测，构建全局联防的实时监测能力；建立风险特征库、失效数据库，开发安全生产风险模型，构建超前预警能力。借助以上三项能力，完善现场技防手段，提升现场管理水平。

2.4 双控体系与应急联动

双重预防体系和应急管理之间的相互联动是保障生产安全的重要保障。双重预防体系包括风险分级管控和隐患排查治理，通过前期预防和控制措施，减少事故风险的发生；应急管理在事故突发时迅速有效地响应和处理，最大程度减少损失，保障生产秩序和员工安全。

双重预防体系和应急管理之间的相互联动体现了安全生产管理的全周期性和全面性。风险分级管控和隐患排查治理为应急管理提供了前期预警和防范措施，提高事故发生的预警能力和控制能力；应急管理则为双重预防体系提供了事故应对和处理的临时性机制，弥补事故发生后的管理空白，实现预防和应急的有机结合。

2.5 数据驱动工作重心

建立动态机制，针对企业业务过程中产生的各种数据，

包括安全事件记录、事故情况、安全规程执行情况等，不断进行安全生产数据的整理和分析。通过对这些数据的收集、整理和分析，可以将其抽象为可衡量的指标，如事故率、违规行为频率、安全意识培训覆盖率等，以便更好地了解安全生产管理的实际情况和问题。

3 研究方法

3.1 智能设备与四色图关联设计

通过充分了解设备属性和业务特点，建设有针对性的风险分级策略，可以将智能设备有效地整合到安防、消防、用电和交通等各种智慧化应用场景中，从而提高安全监管水平，并实现对整个安全管理工作的管理和流程把控。在这个过程中，关键在于设定恰当的四色风险分级策略，以便快速、准确地应对各类安全风险。

3.2 应急预案与联动处置流程设计

根据预警信息的紧急程度和危害程度，将预警信息分为红、橙、黄、蓝四个等级，以便于针对不同级别的风险采取相应的处置措施。一旦前端设备采集到预警信息，一体化平台将立即根据风险等级推送给相关岗位责任人，安全管理员，部门负责人以及分管领导，确保信息第一时间传达到位^[2]。

在应急处置阶段，针对预警信息的情景，一体化平台将推送具体的处置措施到消控室的大屏上，引导现场人员迅速采取行动。同样，如果在规定的处置时限内未得到响应，平台将及时推送给主要领导人督办，确保问题能够得到及时解决。而如果由于人员未及时响应导致险情变得严重预警等级也随之提升，当预警等级升级至橙色甚至红色，平台将立即启动相应的应急预案，协助现场人员有效处理紧急情况，最大限度地避免事故的蔓延和扩大。

3.3 数据治理与抽象指标

在数据治理方面，规范数据的采集、存储、清洗、分析和应用，包括建立数据标准和质量控制机制，确保数据准确性和完整性，并且注意数据隐私和安全保护措施，保障数据的机密性和可靠性。

针对抽象指标的研究，根据系统的具体需求和实际情况，提取出可量化、可比较的关键指标。指标应能全面反映系统的运行情况和安全管理效果，包括但不限于风险等级、隐患排查率、预警响应时效、应急处置效率等。通过抽象指标的监测和评估，了解系统的运行状况，指导决策和持续改进。

4 研究结果

4.1 网格化风险分级，提升排查效率

以风险管控为核心，在整个风险管理流程中，从风险辨识到风险管控再到应急响应，建立全流程责任制管理模式。在风险分级管控环节，采用网格化思维指导，通过四色图可视化页面的方式，清晰地呈现风险的范围和级别，确保责任的落实既不遗漏也不重复，更好地实施安全生产责任

制。此外，技防措施与四色图之间实现关联联动，以双控机制为主线，构建起全面的安全风险管控体系，实现全市范围内的一盘棋管理，将风险管控视作一张网、一张图的重要工具。

4.2 人防结合技防，提升防范能力

在隐患排查治理环节，结合四色图关联绑定技防设备和岗位人员，优化报警处置流程，确保隐患信息的及时准确推送和闭环处理流程的形成。人技双防策略实现人防和技防的有机结合，通过提高技防的比例以及利用智能物联网设备发现安全风险的能力，结合企业安全年生产网格化管理的方式，通过指定区域责任到人，专区专人的形式加强对安全隐患的排查和治理^[3]。

4.3 三道防线应用，提升应急水平

在源头风险分级管控方面，通过网格化思维和四色图可视化页面的运用，实现了风险存在范围和级别的明确划分。在人技双防方面的有机结合，推动技术防范的发展，特别是智能物联网设备在安全风险发现中的应用。通过四色图的关联绑定技防设备和岗位人员，实现技术防范和人防的有效联动，优化报警处置流程。技术设备的智能化让隐患排查和治理更加精准高效，信息推送给岗位人员工作界面，闭环流程的形成更加有序。应急预案联动处置，确保应急管理工作有序有效进行。一体化平台的协同作用更加明显，各岗位责任人在大屏上清晰展示应急处置措施，实现了信息的及时传达和响应。

4.4 风险关联岗位，完善绩效评价

采用风险管控与全员安全生产责任挂钩的方式，是企业在安全管理方面的一项重要创新举措。通过将安全风险明确到具体区域、岗位乃至个人，系统建立了一套细致完备的风险管理框架，使得安全管理更加精细化和有效化。风险网格隐患排查手段的引入，实现了风险信息的全面覆盖和实时监控，有助于提前发现和解决潜在风险，有效降低事故发生的概率。

5 结语

借助基于双控+应急+持续改进的安全消防一体化平台闭环的安全管理流程，企业可以在数字化转型的道路上迈出坚实的一步。这样的安全管理平台不仅可以提升企业的智能化生产水平，还可以实现一体化协同、透明化管理和精准化决策，从而在工业互联网时代中获得行业领先优势。

参考文献

- [1] 王喜.安消一体化建设在智慧医院中的应用成效[J].智慧中国,2024,(12):76-77.
- [2] 祝睿晨,周伟.新质生产力视角下的医院“安消网”建设研究[J].劳动保护,2024,(11):81-83.
- [3] 叶利.封闭场所消防安全问题及安消一体智慧管理平台设计研究[J].消防界(电子版),2024,10(10):10-12.

Analysis of the Use and Maintenance of LED Large Screens in the Field of Broadcasting and Television

Jiafei Gan

Huaian Radio and Television Station, Huaian, Jiangsu, 223301, China

Abstract

This paper focuses on the use and maintenance of LED large in the field of broadcasting and television, expounds the current situation and advantages of the application of LED large screens in the broadcasting and television industry, analyzes in depth the installation anding, operation points and common fault types in the process of use, and proposes effective maintenance strategies and methods. The research on the use and maintenance of LED large screens aims to provide guidance for broadcasting and television technicians, improve the utilization efficiency and service life of LED large screens, and ensure the stable development of broadcasting and television services. At present, LED large are widely used in news studios, variety stages and other scenarios, replacing traditional backdrops as the core visual carrier. In view of the high reliability requirements of the broadcasting and industry, typical faults such as pixel point failure, power module overheating, and driving circuit aging are identified. Accordingly, preventive maintenance, regular temperature and humidity monitoring, and color consistency are constructed. It aims to provide a full-process maintenance plan for broadcasting and television technicians, extend the service life of equipment, and ensure the quality of program production and broadcasting.

Keywords

LED large screen; broadcasting and television field; use points; maintenance strategy

LED 大屏在广电领域的使用与维保探析

干家飞

江苏省淮安市广播电视台, 中国·江苏 淮安 223301

摘 要

本论文聚焦于广电领域中 LED 大屏的使用与维保, 阐述了 LED 大屏在广电行业的应用现状与优势, 深入分析了其在使用过程中的安装调试、操作要点以及常见的故障类型, 针对性地提出了有效的维保策略与方法。通过对 LED 大屏使用与维保的研究, 旨在为广电技术人员提供实践指导, 提升 LED 大屏的使用效率与使用寿命, 保障广电业务的稳定开展。当前, LED 大屏广泛应用于新闻演播室、综艺舞台等场景, 取代传统背景板成为核心视觉载体。针对广电行业高可靠性需求, 梳理出像素点失效、电源模块过热、驱动电路老化等典型故障。据此构建预防性维护、应如定期温湿度监测、色彩一致性校准等。旨在为广电技术人员提供全流程维护方案, 延长设备生命周期, 保障节目制播品质。

关键词

LED大屏; 广电领域; 使用要点; 维保策略

1 引言

随着电子信息技术的飞速发展, LED 大屏凭借其高亮度、高对比度、广视角、寿命长等诸多优势, 在广电领域得到了广泛应用。从电视台演播厅的背景大屏到大型广播电视活动的现场显示, LED 大屏不仅为观众带来了震撼的视觉体验, 也成为广电节目制作与传播过程中不可或缺的重要设备。然而, 随着使用频率的增加和使用时间的延长, LED 大屏在使用过程中也暴露出一系列问题, 如显示故障、控制系统故障等, 这对 LED 大屏的维保工作提出了更高的要求。

因此, 深入研究 LED 大屏在广电领域的使用与维保具有重要的现实意义。

2 LED 大屏在广电领域的应用现状与优势

2.1 应用现状

在广电领域, LED 大屏的应用场景日益丰富。在电视台演播厅中, LED 大屏常作为背景墙, 通过实时播放与节目内容相关的画面、视频等, 营造出逼真的场景氛围, 增强节目的观赏性和吸引力。例如, 在新闻类节目中, LED 大屏可以展示新闻事件的相关图片、地图等信息, 帮助观众更好地理解新闻内容; 在综艺节目中, LED 大屏能够根据节目环节的变化, 切换不同风格的背景画面, 提升节目效果。此外, 在大型广播电视活动现场, 如演唱会、体育赛事直播

【作者简介】干家飞(1984-), 男, 中国江苏人, 本科, 助理工程师, 从事LED大屏在广电领域的使用与维保探析研究。

等,LED 大屏用于实时播放活动画面、展示比赛数据、播放广告等,为现场观众和电视观众提供清晰、生动的视觉信息。

2.2 优势分析

高亮度与高对比度:LED 大屏能够在不同的环境光条件下保持清晰的显示效果,即使在光线较强的户外环境,也能确保画面的亮度和色彩饱和度,满足广电节目在各种场景下的播出需求。

广视角:具有较宽的视角范围,观众无论从哪个角度观看,都能获得清晰、不失真的画面,保证了现场观众和电视观众的观看体验。

寿命长:LED 显示屏的使用寿命相对较长,一般可达10万小时以上,减少了设备的更换频率,降低了运营成本。

灵活拼接:可以根据实际需求进行任意尺寸的拼接,能够满足不同演播厅和活动现场的空间要求,实现多样化的显示效果。

实时更新:通过与计算机控制系统相连,LED 大屏能够实时接收和显示各种信息,方便广电节目在制作和播出过程中及时更新内容。

3 LED 大屏在广电领域的使用要点

3.1 安装调试要点

安装环境选择:LED 大屏的安装环境应保持干燥、通风良好,避免潮湿、高温和强电磁干扰的环境。同时,要确保安装位置的承重能力满足大屏的重量要求,以保证安装的安全性和稳定性。

拼接安装:在进行 LED 大屏拼接时,要严格按照安装图纸和操作规程进行操作,确保拼接缝隙均匀、平整,避免出现画面错位、不连贯等问题。同时,要注意连接线缆的布局 and 固定,防止因线缆松动或接触不良导致信号传输故障。

调试过程:安装完成后,需要对 LED 大屏进行全面的调试。首先,要检查电源系统是否正常工作,确保各部件的供电稳定;其次,要对显示画面进行色彩、亮度、对比度等参数的调整,使其达到最佳显示效果;最后,要测试信号传输系统,确保能够稳定接收和显示来自计算机、视频处理器等设备的信号。

3.2 操作使用要点

操作流程规范:广电技术人员在使用 LED 大屏时,应严格按照操作流程进行操作。开机时,应先开启控制设备,如计算机、视频处理器等,再开启 LED 大屏;关机时,顺序相反,先关闭 LED 大屏,再关闭控制设备。同时,在操作过程中,要避免频繁地开关机,以免影响设备的使用寿命。

信号源管理:合理管理 LED 大屏的信号源,确保信号的稳定传输和正确显示。在切换信号源时,要注意操作的顺序和方法,避免因操作不当导致信号中断或画面混乱。此外,要定期检查信号源设备,如处理器、主机、拼控器、发送卡等,确保其正常工作。

内容制作与播放:根据广电节目的需求,制作高质量

的显示内容。在制作过程中,要注意画面的分辨率、色彩模式等参数与 LED 大屏的兼容性,避免出现画面拉伸、变形等问题。在播放内容时,要提前进行预演和测试,确保内容的播放顺序、时间节点等符合节目要求。

4 LED 大屏在广电领域的常见故障及原因分析

4.1 显示故障

局部不亮:LED 大屏出现局部不亮的情况,可能是由于 LED 灯珠损坏、驱动芯片故障或连接线路断路等原因导致。例如,LED 灯珠在长时间使用后,可能会因过热、过流等原因损坏,从而导致相应区域的画面不亮;驱动芯片如果出现故障,无法正常驱动 LED 灯珠发光,也会出现局部不亮的现象。

花屏:花屏故障通常是由于信号传输不稳定、显卡驱动程序问题或视频处理器故障引起。当信号在传输过程中受到干扰,如电磁干扰、线路接触不良等,会导致画面出现花屏现象;显卡驱动程序如果不兼容或出现故障,也会影响画面的正常显示;视频处理器作为信号处理的核心设备,一旦出现故障,同样会导致花屏问题。

偏色:LED 大屏出现偏色问题,可能是由于 LED 灯珠老化或色彩处理电路故障造成。LED 灯珠在使用一段时间后,其发光特性会发生变化,导致色彩不均匀,出现偏色;色彩处理电路如果出现故障,无法正确处理色彩信号,也会引起偏色问题。

4.2 控制系统故障

控制软件故障:控制软件是实现 LED 大屏显示控制的核心工具,如果软件出现故障,如程序崩溃、无法正常启动等,将导致无法对大屏进行有效的控制。软件故障可能是由于软件本身存在漏洞、与操作系统不兼容或受到病毒攻击等原因引起。

网络连接故障:在网络控制模式下,LED 大屏通过网络与控制设备进行通信。如果网络连接出现故障,如网线松动、网络交换机故障或 IP 地址冲突等,会导致大屏无法接收控制信号,从而无法正常显示。

控制卡故障:控制卡作为连接计算机和 LED 大屏的桥梁,负责将计算机发送的信号转换为适合大屏显示的格式。如果控制卡出现故障,如芯片损坏、接口松动等,会导致信号传输中断或错误,影响大屏的正常显示。

5 LED 大屏在广电领域的维保策略

5.1 日常维护

1. 清洁保养:要定期清洁大屏的内部,如风扇、散热片等,确保设备的散热良好。

2. 设备检查:日常要对 LED 大屏的设备进行检查,包括电源系统、信号传输系统、控制设备等,查看设备是否正常运行,有无异常声音、气味或发热现象。及时发现并处理设备的潜在问题,避免故障的扩大。

3. 数据备份:定期对 LED 大屏的控制软件、显示内容

等数据进行备份,防止数据丢失或损坏。在数据备份过程中,要确保备份数据的完整性和可用性,以便在需要时能够及时恢复数据。

5.2 故障维修

1. 故障诊断:当LED大屏出现故障时,广电技术人员应首先进行故障诊断,通过观察故障现象、检查设备状态、分析故障代码等方式,准确判断故障的类型和原因。例如,对于显示故障,可以通过测量LED灯珠的电压、电流等参数,判断灯珠是否损坏;对于控制系统故障,可以检查网络连接状态、控制卡的工作状态等,确定故障点。

2. 维修方法:根据故障诊断的结果,选择合适的维修方法。对于LED灯珠损坏的故障,可以更换损坏的灯珠;对于驱动芯片故障,需要更换相应的芯片;对于信号传输故障,可以检查和修复连接线路或更换故障设备。在维修过程中,要严格按照规范进行操作,确保维修质量和安全性。

3. 维修记录:记录内容:每次维修需详细记录故障时间、现象、原因、维修方法、更换部件、维修人员等信息。某大屏维修记录显示,半年内同一区域出现3次灯珠失效,分析发现该区域散热不良,增加散热风扇后彻底解决。

数据分析:每月对维修记录进行统计分析,绘制故障分布图表(如故障类型占比、部件损坏频率),找出薄弱环节。某电视台分析数据发现电源模块故障率最高(占35%),决定采购更高规格的电源模块,故障率降至15%。

知识积累:建立维修知识库,将典型故障案例、解决方法整理成文档,供技术人员学习。对于新人快速掌握诊断流程,效率提升50%。

5.3 预防性维护

1. 定期巡检:制定定期巡检计划,对LED大屏进行全面的检查和维护。巡检内容包括设备的运行状态、电气性能、机械结构等方面,及时发现设备存在的潜在问题,并采取相应的措施进行处理。例如,定期检查LED大屏的安装支架是否牢固,有无松动或变形现象;检查电源线路是否老化、破损等。

每周巡检:检查电源模块、驱动板温度($\leq 50^{\circ}\text{C}$),风扇转速($\geq 1500\text{rpm}$),用红外测温仪扫描关键部件(温度差 $\leq 5^{\circ}\text{C}$)。某大屏电源模块温度达 55°C ,高于其他模块 10°C ,提前更换该模块,避免了故障发生。

每月巡检:检查拼接缝隙($\leq 0.1\text{mm}$)、支架紧固度(螺丝扭矩 $\geq 2.5\text{N}\cdot\text{m}$),用水平仪测量大屏平整度(偏差 $\leq 0.5\text{mm/m}$)。某大屏支架螺丝松动,导致画面轻微倾斜,重新紧固后恢复正常。

2. 设备升级:随着电子信息技术的不断发展,LED大屏的相关设备和技术也在不断更新。为了提高LED大屏的性能和稳定性,应根据实际情况对设备进行升级,如更换性能更好的控制卡、升级控制软件等。设备升级不仅可以提升大屏的显示效果和功能,还可以降低设备的故障率。

系统优化:每两年对大屏系统进行全面评估,优化参

数配置。某大屏使用3年后,通过重新校准色彩、优化信号路由(延迟从 16ms 降至 12ms),显示效果显著提升。

3. 人员培训:加强对广电技术人员的培训,提高其对LED大屏的使用和维保技能。培训内容包括LED大屏的工作原理、安装调试方法、故障诊断与维修技术等方面。通过培训,使技术人员能够熟练掌握LED大屏的使用和维保方法,及时发现和解决问题。

基础培训:新入职技术人员需完成40学时的基础培训,内容包括LED大屏工作原理、安装调试流程、日常维护方法,考核通过(≥ 80 分)后方可上岗。某电视台培训考核显示,经过培训的技术人员故障处理效率提升60%。

进阶培训:每季度组织一次进阶培训,邀请厂家工程师讲解新技术、新案例。某培训中讲解了LED技术,技术人员据此提出大屏升级方案,经评估可提升显示效果30%,降低能耗25%。

应急演练:每年开展两次应急演练,模拟黑屏、花屏等突发故障,训练技术人员的应急处理能力。某演练中,技术团队在15分钟内完成故障诊断和备用信号切换,达到广电行业应急响应标准(≤ 30 分钟)。

6 结论

LED大屏在广电领域的广泛应用,为广电节目制作和传播带来了新的机遇和挑战。通过深入了解LED大屏的使用要点,及时发现和解决使用过程中出现的故障,采取有效的维保策略,可以提高LED大屏的使用效率和使用寿命,保障广电业务的稳定开展。在故障分析与维保策略部分,提出通过日常维护的精细化管理(如温湿度控制、数据备份)、故障维修的标准化流程(如诊断步骤、维修记录)及预防性维护的前瞻性措施(如定期巡检、设备升级),形成了广电级LED大屏的全生命周期管理方案。在未来的发展中,随着技术的不断进步,LED大屏将在广电领域发挥更加重要的作用,因此,广电技术人员应不断学习和掌握新的技术和方法,提升对LED大屏的使用和维保水平,为广电事业的发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 刘杰. LED显示屏技术在电视台新闻演播室中的应用[J]. 中国有线电视, 2019(11):1181-1183.
- [2] 张旭. 小间距LED显示屏在广播电视领域的应用分析[J]. 西部广播电视, 2020,41(16):209-210.
- [3] 李新宇. 基于广电行业的LED显示屏维护管理研究[J]. 科技传播, 2021,13(14):115-117.
- [4] 赵宁. LED显示屏在广电演播室灯光环境下的应用研究[J]. 现代电视技术, 2022(11):114-117.
- [5] 王强. 超高清LED显示屏在广电系统中的应用与发展趋势[J]. 广播与电视技术, 2023,50(8):106-110.
- [6] 孙晓宇. 广电领域LED显示屏的选型及系统搭建要点[J]. 视听, 2024(5):185-186.

Research on optimization of network intrusion detection system based on deep learning

Jin Gong

Suzhou Huanyu Construction Engineering Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215000, China

Abstract

As cyber attack methods continue to evolve and intensify, traditional rule-based intrusion detection systems are increasingly unable to meet the security defense needs in complex network environments. Deep learning technology, with its powerful feature learning and classification capabilities, has shown broad application potential in the field of network intrusion detection. This paper focuses on the optimization of deep learning in network intrusion detection systems, systematically analyzing key technologies in feature extraction, data processing, model structure, and deployment optimization. Considering the high dimensionality of traffic data and the stealthy nature of attack behaviors, it proposes practical improvements to intrusion detection systems. By constructing efficient deep neural network structures, the paper aims to achieve accurate identification and real-time response to various attack patterns, thereby enhancing the practicality, stability, and robustness of the detection system. This provides theoretical support and a reference path for the technical upgrade of the network space security defense system.

Keywords

deep learning; network security; intrusion detection; feature extraction; model optimization

基于深度学习的网络入侵检测系统优化研究

龚进

苏州寰宇建设工程有限公司, 中国 · 江苏 苏州 215000

摘 要

随着网络攻击手段的不断演化与加剧,传统基于规则的入侵检测系统已难以满足复杂网络环境下的安全防御需求。深度学习技术因其强大的特征学习与分类能力,在网络入侵检测领域展现出广阔的应用前景。本文围绕深度学习在网络入侵检测系统中的优化应用展开研究,系统分析深度学习模型在特征提取、数据处理、模型结构及部署优化等方面的关键技术,并结合流量数据的高维性与攻击行为的隐蔽性,提出面向实战的入侵检测系统改进方案。通过构建高效的深度神经网络结构,实现对各类攻击模式的准确识别与实时响应,有效提升检测系统的实用性、稳定性和鲁棒性,为网络空间安全防御体系的技术升级提供理论支撑与路径参考。

关键词

深度学习; 网络安全; 入侵检测; 特征提取; 模型优化

1 引言

网络空间安全威胁已成为影响信息化社会稳定运行的核心问题,入侵检测系统作为网络安全防护体系的重要组成部分,其性能水平直接关系到整体防御能力的构建。传统入侵检测方法大多依赖预设规则或浅层机器学习算法,难以适应海量数据、多样攻击与加密通信背景下的复杂检测需求。近年来,深度学习技术的快速发展为提升入侵检测系统的智能化水平提供了新的解决思路。深度学习具备强大的非线性建模能力与特征自动提取能力,在处理大规模网络流量数据、识别隐蔽性攻击行为等方面表现出显著优势。然而,深度模

型在训练效率、推理速度与部署资源方面仍存在诸多挑战,如何构建兼具精度、效率与可拓展性的深度学习入侵检测系统,成为当前研究的重要方向。本文基于此技术背景展开优化研究,旨在推进深度学习在网络入侵检测中的系统化应用。

2 网络入侵检测系统的体系结构与功能定位

网络入侵检测系统由数据采集模块、特征处理模块、检测引擎与报警响应模块组成。数据采集模块负责从网络链路中截获实时数据包并进行初步预处理,特征处理模块通过提取协议字段、流量指标等构建多维特征向量。检测引擎作为系统核心,依据预设模型判断数据是否存在异常,输出结果并触发响应机制。报警模块将检测到的可疑行为以日志、邮件或控制指令形式反馈至管理平台或防御系统。各模块通

【作者简介】龚进(1983-),男,硕士,工程师,从事电子信息,网络安全研究。

过标准接口协同运行,实现对网络环境中入侵行为的持续感知与动态拦截,满足高吞吐、高并发与低延迟的实际应用要求,支撑复杂场景下的多层次防护策略部署。

3 深度学习方法在入侵检测中的技术优势

深度神经网络通过多层非线性结构对输入特征进行逐层抽象与变换,具备对高维异构网络流量数据进行自动建模的能力。其隐藏层结构能够挖掘攻击行为中的潜在关联特征,实现对混合型流量、稀有攻击与弱特征样本的高效表达。与传统浅层分类器相比,深度神经网络不依赖人工设定特征模板,能够从原始数据中学习判别特征,避免人为偏差带来的漏报与误报问题。多层感知结构配合激活函数设计,有助于提炼数据中的非线性关系与攻击轨迹,提升模型在复杂场景中的适应性。通过增设残差连接与正则化手段,可进一步增强网络的泛化性能与稳定性,推动检测系统向更高智能水平迈进。

卷积网络与时序网络在流量识别中的协同作用:通过构建融合架构,提取空间局部信息后再进行时序依赖分析,有助于实现入侵检测系统在流量识别过程中的精度提升与稳定响应。

4 深度学习模型结构与性能优化路径

4.1 轻量化模型设计与参数压缩策略

在资源受限环境中部署入侵检测系统需模型具备高效执行能力,轻量化设计可显著降低计算开销。通过引入深度可分离卷积与剪枝机制,模型参数量可由1.2亿压缩至3400万,显存占用由2.1GB降至620MB,推理时间缩短约67%。采用知识蒸馏策略构建教师-学生模型结构,学生模型在保持94.8%准确率前提下,仅保留原始模型32%的参数量。在不引入显著性能损失的前提下,通过量化训练压缩至8位精度,实现边缘设备上的快速推理与低功耗运行,为入侵检测系统的分布式部署提供技术基础。

4.2 混合模型结构与多通道特征融合方式

单一神经网络难以兼顾时序建模与空间特征识别,混合模型结构能够提升整体检测性能。在NSL-KDD数据集测试中,融合卷积与循环网络结构的模型准确率达96.3%,相比单RNN模型提升4.5%。引入双通道输入结构,将协议字段与流量统计特征分别嵌入卷积路径与注意力路径,融合后通过全连接层统一输出,有效提升小样本识别能力。在CICIDS2017数据上,混合模型F1值达到0.947,显著优于传统CNN结构的0.912。该类结构既可增强对不同特征分布的表达能力,又具备对异构数据源的扩展适应性。

4.3 模型训练效率与推理速度的协同提升方法

大规模训练任务中提升效率需兼顾硬件加速与算法结构设计,采用分布式训练机制可使训练时间从92小时缩减至28小时。在样本维度128、训练轮数50条件下,使用混合精度训练技术将显卡利用率提升32%。推理阶段通过异

步数据加载与GPU批处理,单批次处理速度由240条流量提升至630条。Transformer结构通过剪枝与头部稀疏化方式,推理速度提升约1.8倍而准确率下降不足0.7%。联合压缩、并行与缓存策略可实现训练与推理在总体能耗控制下的协同优化,支撑检测系统在高并发环境下稳定运行,图1为协同模式下高效的网络入侵监测体系构建。

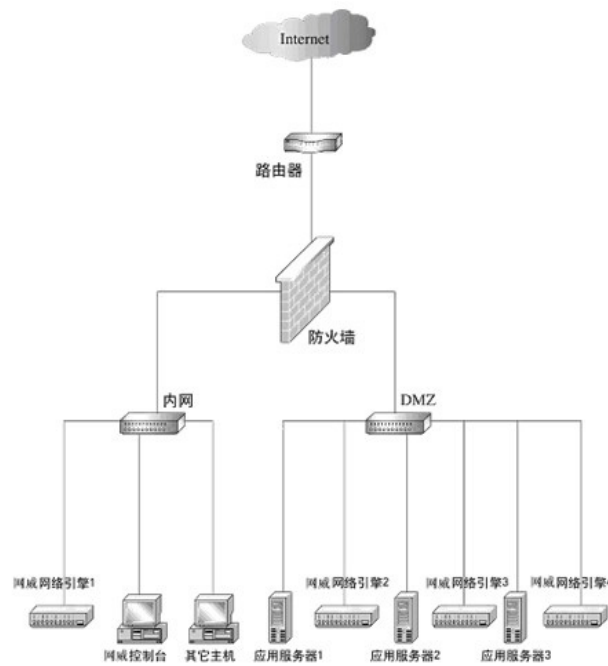


图1 协同模式下高效的网络入侵监测体系构建

5 数据预处理与训练样本优化策略

5.1 多维度网络流量特征提取与归一化处理方法

网络流量数据维度多、变化快,需通过统一标准实现高效特征表达。在CICIDS2017原始数据集中,单条流量包含超过80个字段,噪声与冗余特征比例达18%。通过基于相关性分析剔除冗余项后,输入维度缩减至48个,处理时长降低39%。对数变换与Z-score标准化方法可使特征分布收敛至均值0、方差1,提高模型对异常流量的判别敏感度。经归一化处理后模型在多场景数据上的精度提升3.1%,使得模型在应对跨协议、跨速率流量识别时更具鲁棒性。

5.2 不平衡数据集下的样本增强与损失函数设计

入侵检测样本呈现类别失衡特征,在KDD99数据中正常流量占比超过92%,导致模型对少数类攻击识别能力下降。采用SMOTE方法生成少数类样本,将DoS类样本数量由2800扩增至11200,F1得分由0.77提高至0.89。引入加权交叉熵损失函数后,小样本类别权重从1.0调整至3.5,有效改善训练过程中的梯度退化问题。结合焦点损失对易混类别进行重点调优,模型在未知攻击检测中召回率提升至93.6%,大幅缓解少数类样本被忽视的问题,提升整体检测系统稳定性。

5.3 分布式入侵检测系统构建策略

传统集中式检测架构在面向大规模网络环境时常出现处理瓶颈与响应滞后问题,构建分布式入侵检测系统已成为提升整体检测覆盖率与响应速度的关键路径。系统架构通过多节点协同部署,将检测任务分散至边缘设备、区域节点与核心控制中心,实现网络边界、本地流量与全局行为的多层次感知。各子节点具备独立的流量分析与初步判断能力,通过特征摘要与模型推理结果上报至中心节点完成决策融合。节点间需建立稳定的数据同步机制与模型更新通道,确保在攻击模式快速演化过程中系统保持策略一致性与识别连贯性。为了提升部署灵活性与计算效率,可结合容器化技术实现节点快速部署与按需扩展,在降低运维复杂度的同时,保障系统在动态网络环境下的稳定运行与高效响应能力,图2为分布式入侵检测系统解析。

6 入侵检测系统部署与应用性能评估

6.1 在线检测环境下的实时响应能力测试标准

网络入侵检测系统在上线部署过程中需应对高频流量冲击与复杂协议交织环境,其响应机制必须满足毫秒级别的操作需求。系统在接收数据流后应立即完成特征转换、模型推理及报警输出,任何延迟都可能导致攻击行为在系统处置前已造成实际破坏。为了确保联动响应的连续性与有效性,检测系统需在接入侧快速感知威胁态势,并将警报结果与控制策略推送至防御节点,实现数据面与控制面的即时协同。报警机制应具备分类识别、严重程度评级与联动执行等多级响应能力,确保事件处置过程在时间与策略维度均具备同步性与系统性,从而在不中断正常业务流的前提下完成安全防护任务。

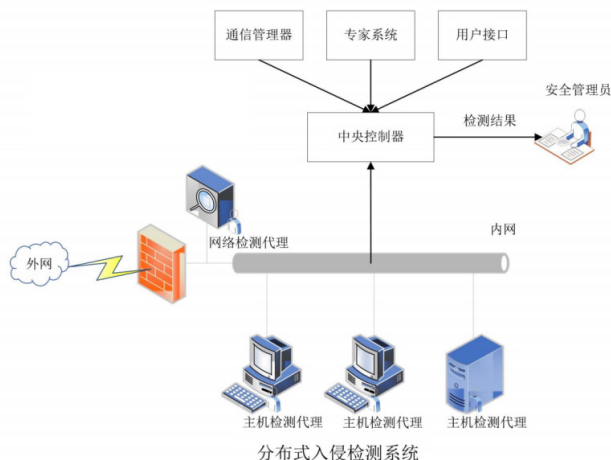


图2 分布式入侵检测系统解析

6.2 误报率、漏报率与总体检测精度的对比分析

系统准确性不仅是技术性能指标,更是影响安全管理

实效与资源配置效率的重要变量。误报率过高将造成告警疲劳,降低安全人员的响应意愿,进而影响整体安全态势感知能力。漏报率的存在则可能使部分真实威胁在未被感知的情境下扩散演变,形成链式风险。系统精度的提升不仅取决于模型性能,还与样本特征提取、分类阈值设定及模型结构设计密切相关。检测系统需在保持高识别率的基础上兼顾分类边界的精细划分,通过多模型协同与置信机制调控减少误判可能性,实现精度、稳定性与覆盖性的动态均衡。整体性能评估应综合考虑攻击类型复杂度与流量多样性,以反映模型在不同应用场景下的泛化能力与实战适应性。

6.3 系统资源消耗与网络兼容性优化评估指标

系统在部署过程中需实现对硬件资源占用的最小化,以保证在多样化网络环境中维持高性能运行状态。模型结构应具备高效性与模块化,支持在不同计算能力平台上灵活部署,不依赖于单一架构或高端硬件配置。在实际运行中需对数据处理链条中的各个节点进行资源调优,包括数据采集、预处理、模型计算及结果输出等过程的缓存管理与计算负载分配。系统需兼容不同类型的网络协议与传输结构,能够适应复杂链路层结构、加密传输通道及异构接入端的运行要求。同时,在边缘计算环境或容器化场景中应支持快速初始化与低延迟运行,确保在弹性资源管理框架下具备良好的迁移性与横向扩展能力,为大规模部署与动态调度提供可行路径。

7 结语

网络安全形势日趋复杂,传统入侵检测方式已难以满足新兴攻击形态的识别与响应需求。深度学习技术凭借其强大的特征提取能力与模型泛化能力,为网络入侵检测系统带来全新突破。从系统结构优化、模型设计改良到训练样本与部署机制的系统性提升,深度学习方法在准确率、实时性与适应性等方面均展现出良好潜力。构建可落地、可扩展的检测模型体系,有助于提升整体安全防护效能。未来应持续推动深度学习技术在安全领域的融合创新,不断完善从数据感知到智能响应的闭环体系,为构建更加稳固的网络安全屏障提供技术支撑与发展动力。

参考文献

- [1] 叶勇飞,匡石磊,王冠.基于深度学习的网络入侵检测系统设计[J].软件,2025,46(03):54-56.
- [2] 王斌.人工智能在网络入侵检测系统中的应用与优化策略[J].中国宽带,2025,21(03):61-63.
- [3] 景永俊,王浩,邵堃,王晓峰.一种基于图热核扩散卷积的网络入侵检测方法[J].计算机工程与科学,2025,47(03):459-471.
- [4] 陈天翔.基于模型融合的网络入侵检测技术分析[J].集成电路应用,2025,42(02):360-362.

Research on the Optimal Detection Position in RCF Crack Detection of High-Speed Railways Based on Finite Element Simulation

Yanhao Li Jianjun Liu*

Shaoguan University, Shaoguan, Guangdong, 512005, China

Abstract

This study focuses on the key issue of the influence of the tailing effect on the crack detection accuracy under high-speed conditions, and deeply analyzes the influence mechanism of the tailing effect on the magnetic field distribution on the rail surface through finite element simulation technology. During the research process, the signal strength and sensitivity at different detection positions were compared in detail, and the optimal detection position was precisely located. This position can achieve higher signal strength and sensitivity, laying a foundation for the improvement of detection accuracy. Meanwhile, based on the research results, a probe structure suitable for high-speed electromagnetic non-destructive testing is proposed specifically, and its design fully considers the special requirements during high-speed operation. In the experimental phase, the structure of the probe was verified at a detection speed of 20.0 meters per second. The results showed that it could effectively quantify cracks with a depth greater than 1.0 millimeter, and both the relative error and the standard deviation were controlled within 10%.

Keywords

Shadow effect Non-destructive testing Rail; Rolling contact fatigue (RCF)

基于有限元仿真的高铁 RCF 裂纹检测中最优检测位置研究

李燕豪 刘建军

韶关学院, 中国 · 广东 韶关 512005

摘 要

本研究聚焦高速工况下拖尾效应对裂纹检测精度的影响这一关键问题, 通过有限元仿真技术深入剖析拖尾效应对钢轨表面磁场分布的影响机制。研究过程中, 详细对比不同检测位置的信号强度与灵敏度, 精准定位到最优检测位置, 该位置能够获得更高的信号强度与灵敏度, 为检测精度提升奠定基础。同时, 基于研究成果, 针对性提出适用于高速电磁无损检测的探头结构, 其设计充分考虑高速运行时的特殊需求。实验环节, 在 20.0 米 / 秒的检测速度下对该探头结构进行验证, 结果显示其能够有效量化深度大于 1.0 毫米的裂纹, 且相对误差和标准差均控制在 10% 以内。

关键词

阴影效应; 无损检测; 钢轨; 滚动接触疲劳 (RCF)

【基金项目】2025 年韶关学院省级大创项目 (项目编号: S202510576030); 广东省普通高校重点领域专项 (项目编号: 2023ZDZX1024); 韶关市社会发展科技协同创新体系建设项目 (支持科研工作者项目) (项目编号: 230330178036242); 韶关学院校级重点科研项目 (项目编号: SZ2024KJ06)。

【作者简介】李燕豪 (2003-), 男, 中国广东茂名, 在读本科生, 从事电子信息研究。

【通讯作者】刘建军 (1980-), 男, 中国湖南岳阳人, 博士, 副教授, 从事无损检测研究。

1 引言

在高速铁路运行过程中, 钢轨顶面因长期承受轮轨接触作用而产生的滚动接触疲劳 (Rolling Contact Fatigue, RCF) 裂纹, 已成为威胁铁路系统安全与稳定运行的重要问题之一。为有效识别与评估此类裂纹, 国内外学者围绕钢轨表面缺陷检测技术开展了广泛而深入的研究 [1]。例如, 文献 [2] 探索了利用涡流脉冲热成像 (ECPT) 技术对钢轨表面裂纹进行无损检测的可行性, 但由于该方法需要在裂纹区域实现充分热激励, 同时避免热扩散导致的图像模糊, 因此对检测速度提出了较高限制。在此基础上, 文献 [3] 提出了融合磁力线检测 (MFL) 与 ECPT 的多物理场联合检测策略, 该方法不仅能够准确捕捉自然形成的钢轨表面裂纹, 还展现出良好的成像质量与检测灵敏度。文献 [4] 则聚焦于动态检测环境下的

热成像表现,发现高速运动引发的涡流会在钢轨表面形成局部阴影,从而干扰温度分布,导致裂纹成像效果下降。文献[10]则从信号处理角度出发,利用 ECPT 技术对微小裂纹及隐藏缺陷进行检测,并结合时频分析方法提取裂纹响应特征,同时采用图像增强算法提升裂纹的可视化效果。此外,国内多家科研机构,包括电子科技大学、南京航空航天大学和中国铁道科学研究院等,联合开展了基于多物理场融合的钢轨 RCF 裂纹快速检测设备研发工作,已在实验与现场测试中取得良好成效[5]。文献[6]中,研究人员设计了一种可适应钢轨表面承载状态的自适应检测机构,结合 MFL 技术开发了钢轨表面损伤检测系统,并通过手推式检测平台与轨道检测车进行了实际验证。文献[6]搭建了电磁热成像检测实验平台,在实验室转盘及真实钢轨环境中开展测试,引入张量分解等先进信号处理算法,有效抑制了速度效应带来的干扰,实现了对裂纹特征的准确提取。上述研究成果为钢轨 RCF 裂纹的高效检测提供了多样化的技术路径,对提升铁路系统的安全保障能力具有重要的理论与实践意义。

2 最优检测位置的仿真研究

在探头与被测试件之间发生快速相对运动的情况下,由于拖尾效应的影响,试件内部感应涡流及磁场分布将发生显著变化,与静态检测条件下的分布模式存在明显差异。这种动态变化会导致传统静态检测中认定的最佳检测位置发生偏移。为探究高速运动状态下最优检测位置的具体分布,构建了相应的有限元仿真模型,如图 1 所示。在该模型中,钢轨试件的设定厚度为 14.0 毫米。为了系统评估不同位置的检测性能,在激励线圈正下方共设置了 12 个检测点,其中 P_0 点对应于传统涡流检测方法中磁传感器的典型布置位置。在仿真过程中,分别采集了 P_1 至 P_{11} 各检测点处磁感应强度在 X 方向的分量 B_x 和 Y 方向的分量 B_y ,以全面分析磁场响应特征。此外,为进一步研究探头正下方试件表面的磁场分布情况,在激励线圈正下方的试件表面绘制了一条参考直线 L_1 ,并提取该直线上各点的综合磁感应强度 B_0 进行分析。仿真参数设置为:传感器提离距离为 1.0 毫米,直流激励电流为 0.1 安培。

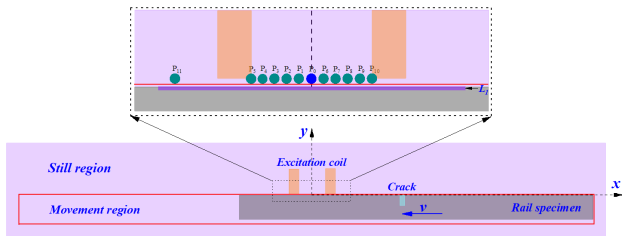


图 1 有限元仿真示意图

3 快速运动条件下最佳检测位置的选择

3.1 各检测点不同深度裂纹的检测信号

为探究不同检测位置处裂纹深度变化对磁感应强度的

影响规律,本研究选取检测速度为 20.00 米/秒、裂纹宽度固定为 0.8 毫米、裂纹深度在 0.5 毫米至 12.0 毫米范围内的检测信号作为研究对象。通过有限元仿真,分别提取了 P_0 至 P_{11} 各检测点在不同裂纹深度条件下的磁感应强度 X 分量 B_x 与 Y 分量 B_y ,并绘制了它们随裂纹深度变化的响应曲线。图 2 展示了 P_0 、 P_3 、 P_5 、 P_8 、 P_{10} 和 P_{11} 六个典型检测位置下, B_x 和 B_y 随裂纹深度变化的趋势。在仿真模型中,裂纹中心位置被设定在 X 轴 10.0 毫米处,以便于对比分析不同检测点对裂纹响应的敏感性与分布特征。

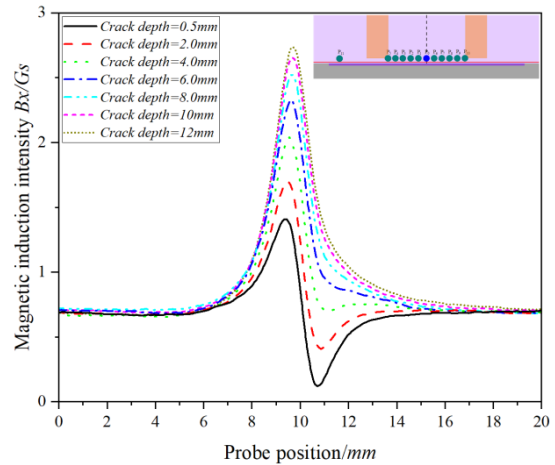


图 2 探头位置与磁感应强度的关系曲线

从图 2 可以看出,不同检测点处检测信号随裂纹深度的变化趋势存在显著差异: B_x 的基线值依次增大,在 P_5 处达到最大值。

3.2 最佳检测位置的确定

为确定最佳检测位置,本研究从各检测点提取了对应不同裂纹深度的检测信号,并计算其磁感应强度变化量 ΔB_x 与 ΔB_y 。随后,对这些变化量与裂纹深度之间的关系进行拟合分析,结果如图 3 所示。需要注意的是,由于 P_9 和 P_{10} 两个检测点的 ΔB_x 与 ΔB_y 值与裂纹深度之间的拟合效果不理想,因此未将其纳入图 3 的展示范围。在图 3 中,纵坐标表示检测信号的变化幅度,而拟合曲线随裂纹深度变化的斜率则反映了检测信号对裂纹深度的敏感程度,即灵敏度。斜率越大,表明该检测位置对裂纹深度变化的响应越显著,检测灵敏度越高。分析结果显示,除 P_9 和 P_{10} 外,其余各检测点的 ΔB_x 和 ΔB_y 值与裂纹深度之间均呈现出良好的二次函数拟合关系,且线性相关系数均达到 0.99 以上,表明拟合结果具有较高的可靠性。

从图 3 的分析结果可以看出,各检测点在检测信号强度与灵敏度方面表现出明显的差异性,其由低到高的排序依次为: $P_8 < P_7 < P_6 < P_0 < P_1 < P_2 < P_3 < P_4 < P_5$ 。这一排序表明,在受到阴影效应影响的情况下,位于 P_0 左侧的检测点(如 P_6 、 P_7 、 P_8)其信号强度与灵敏度随位置逐渐向左移动而逐步增强;而位于 P_0 右侧的检测点(如 P_3 、 P_4 、 P_5)则呈现

出相反的趋势,即信号强度与灵敏度随位置向右移动而逐渐减弱。其中, P_5 点在信号强度和检测灵敏度两方面均表现出最优性能,成为所有检测点中的最佳选择。此外, P_{11} 点虽然其检测灵敏度介于 P_0 和 P_5 之间,但由于该位置距离激励线圈较远,导致其整体检测信号强度明显低于 P_0 和 P_5 。值得注意的是,图3中所呈现的检测灵敏度排序与图13中的结果完全一致,即 $P_8 < P_7 < P_6 < P_0 < P_1 < P_2 < P_3 < P_4 < P_5$,进一步验证了该排序结果的可靠性。综合信号强度与灵敏度两方面的表现,最终确定 P_5 点为最优检测位置,可有效提升裂纹检测的精度与可靠性。

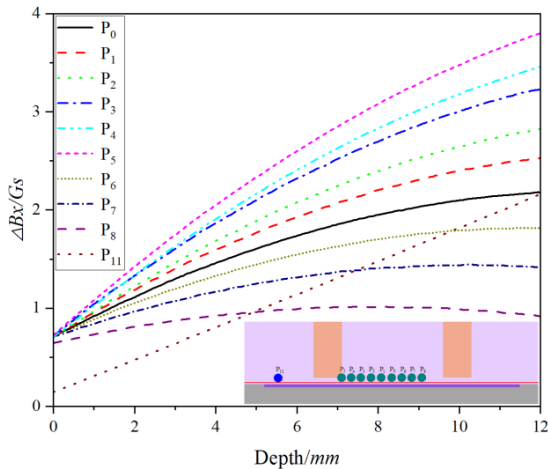


图3 各检测点处差值峰值与裂纹深度的拟合曲线

4 实验结果分析与讨论

为验证前述仿真分析结果的可靠性,本文构建了相应的实验探头结构,其具体设计如图4所示。在该实验装置中,共配置了8个霍尔传感器,其中编号为0#、1#、2#和3#的传感器用于采集X轴方向的磁感应强度信号,并将其转换为电压信号 V_x 输出;而编号为0*、1*、2和3的传感器则用于获取Y轴方向的磁感应强度信号,并将其转化为电压信号 V_y 输出。实验中设置了两种传统探头结构,分别对应于探头1和探头3。在仿真模型中,磁传感器的位置由检测点替代,但在实际物理实验中,必须考虑传感器本身的体积与布局,因此,在设计探头2和探头3时,特别将霍尔传感器2#和2布置在尽可能靠近激励线圈边缘的位置,即对应于仿真中的 P_5 检测点。需要特别说明的是,在转盘旋转过程中,裂纹依次经过探头2(或探头3)内部霍尔传感器的顺序为:0#、1#、2#和3#(或0*、1*、2和3),这一顺序对于信号采集与后续分析具有重要意义。

在进一步明确最佳检测位置的过程中,基于前述分析结果,确定将霍尔传感器布置于 P_5 点可实现最优检测性能。

实验设置中,霍尔传感器与激励线圈及钢轨表面之间的提离距离设定为1毫米。在此基础上,针对不同检测速度条件下各霍尔传感器输出的 ΔV_x 和 ΔV_y 信号变化趋势进行了系统采集与分析,结果如图5所示。在该图中,横坐标表示霍尔传感器在探头结构中的相对位置,用于反映传感器在空间上的分布情况;纵坐标则表征各传感器在不同裂纹深度下所获取的 ΔV_x 和 ΔV_y 信号强度,即检测信号的输出幅度。同一横坐标位置上不同纵坐标值的变化幅度,体现了该位置处霍尔传感器对裂纹深度变化的敏感程度,也即检测灵敏度与分辨率。

参考文献

- [1] Ramanan Vikram, Ramankutty Anusai, Sreedeeep Sharan, Chakravarthy S. R., "Dynamical states of thermo-acoustic system with respect to frequency-phase relationship based on probabilistic oscillator model," *Nonlinear Dynamics*, Vol.110, No.2, pp.1633-1649, 2022, <https://doi.org/10.1007/s11071-022-07693-z>
- [2] Zhang, X, Sun, TT, Wang, Y, Wang, KW, Shen, Y., "A parameter optimized variational mode decomposition method for rail crack detection based on acoustic emission technique," *Nondestructive Testing and Evaluation*, Vol.36, No.4, pp.411-439, 2021, <https://doi.org/10.1080/10589759.2020.1785447>
- [3] Jiang, Y, Gao, HB, Zhang, Q, Zhang, SJ, Li, X, Li, Z., "Evaluation of fatigue cracks on rail material based on laser nonlinear wave modulation and adaptive particle swarm optimization-support vector machines," *Nondestructive Testing and Evaluation*, Vol.38, No.5, pp.713-731, 2023, <https://doi.org/10.1080/10589759.2022.2159961>
- [4] Shen, J, Zhou, L, Rowshandel, H, Nicholson, GL, Davis, CL., "Prediction of RCF clustered cracks dimensions using an ACFM sensor and influence of crack length and vertical angle," *Nondestructive Testing and Evaluation*, Vol.35, No.1, pp.1-18, 2020, <https://doi.org/10.1080/10589759.2019.1611817>
- [5] Zhang, J, Yu, P, Gang, T., "Measurement of the ultrasonic scattering matrices of near-surface defects using ultrasonic arrays," *Nondestructive Testing and Evaluation*, Vol.31, No.4, pp.303-318, 2016, <https://doi.org/10.1080/10589759.2015.1093626>
- [6] J. Wilson, G. Tian, I. Mukriz, "PEC thermography for imaging multiple cracks from rolling contact fatigue," *NDT & E International*, Vol.44, No.6, pp.505-512, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2011.05.004>

Research and Application of Smart Steel Based on 5G Dedicated Network

Tao Wu

China Unicom (Anhui) Industrial Internet Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230000, China

Abstract

The transformation of the steel industry from ‘manufacturing’ to ‘smart manufacturing’ relies on the support of 5G, industrial internet, big data, cloud computing, and AI. This transformation aims to achieve full connectivity of equipment, reduced on-site operations, automated process control, informatization of production management, and coordinated interaction among production, supply, and sales. By building an industrial internet platform, the level of smart operations and collaborative ecosystems can be enhanced, facilitating the transition from traditional material yards to digital ones. Network connectivity is essential for the industrial internet and digital transformation of material yards. The connection is transitioning from primarily wired to primarily wireless, with multiple access methods integrated into a model primarily based on 5G + optical fiber coexistence, to create a low-latency, highly reliable basic network.

Keywords

Industrial Internet; 5G; Digitalization

基于 5G 专网的智慧钢铁研究与应用

武涛

联通（安徽）产业互联网有限公司，中国·安徽 合肥 230000

摘 要

钢铁行业从“制造”向“智造”转型离不开5G、工业互联网、大数据、云计算和AI支撑，以此实现设备的全连接、现场作业少人化、过程控制自动化、生产管理信息化和产供销的协同联动。通过构建工业互联网平台，提升智慧运营和协同生态水平，实现传统料场向数字化料场转型。网络连接是实现料场工业互联网和数字化转型的前提，连接由有线为主向无线为主过渡，由多种接入方式整合为以5G+光纤共存的模式为主，共同打造低时延、高可靠的基础网络。

关键词

工业互联网；5G；数字化

1 背景

我国钢铁行业发展迅速。2020 年中国的粗钢产量达到 10.53 亿吨，同比提高 5.2%，占全球粗钢产量的 56.5%，居世界首位。但我国铁冶金行业的智能化水平较世界发达国家相比还有很大的差距，利用物联网、5G、工业互联网、大数据、人工智能等新技术与冶金行业的融合是中国钢铁行业发展的重要趋势。从业务上看，我国钢铁制造业需要进一步强化多专业的调度业务，整合及协同，并打通各专业、全流程的业务系统，实现高度集中、高效快捷的扁平化组产模式成为重要的发展趋势。从既有基础条件上看，自 20 世纪 90 年代以来，我国钢铁行业在实现企业物流、信息流、资金流等方面取得了显著的进步，行业制造水平和能力有显

著提升，钢铁“制造”正在向钢铁“智造”转型。上述特征，为 5G 专网在钢铁行业中的应用和推广奠定了很好的基础。

构建面向钢铁制造行业的 5G 专网及智能化应用主要包括以下内容。

第一，搭建高质量企业内网络，实现网络互联互通和数据互联互通，为工业企业提供开展业务所必须的无线网络环境，支持企业生产设施、设备等工业终端接入。

第二，基于 SDN 技术的白盒工业网关、边缘计算网关。软硬件解耦，改变应用开发依赖编译器和私有 SDK 等问题，实现工业网关智能接入工业专网、智能组网等网格功能，使得工业网关更智能、更开放。

第三，5G 专网的智能化应用。在 5G 高质量网络基础上，实现钢铁冶金的远程故障诊断、远程控制、无人驾驶（堆取料机）、物料等业务，为企业业务运行提供安全保障和有效资源调度，突破传统制造在可靠性、安全性、智能化等方面的短板，开展工业互联网技术创新，支撑智能制造和产业

【作者简介】武涛（1987-），男，中国安徽宿州人，硕士，工程师，从事5G、工业互联网、智能制造研究。

升级。

2 基于 5G 专网的智慧钢铁方案

2.1 5G+MEC 建设

2.1.1 5G 网络

某钢铁厂由原料收入、原料储存、混匀加工、块矿烘干筛分、原料外供、污矿综合利用等系统组成。为满足使用 5G 网络, 将移动设备各类状态信号、控制信号、视频监控信号进行远传, 实现远程控制, 经实地勘察, 需建设 18 处 5G 基站方能覆盖上述场景。

2.1.2 MEC 边缘云技术

随着数字经济的蓬勃发展，5G 网络与大数据、人工智能、虚拟增强现实、边缘计算等技术深度融合，为智能制造等创新业务场景的发展注入了新活力。MEC（Multi-access Edge Computing 多接入边缘计算）边缘云将高带宽、低时延、本地化业务下沉到网络边缘，成为 5G 网络重构和数字化转型的关键利器。

为厂区规划专门的 TA 区，分配专用的 DNN，实现基于厂区范围的网络隔离和数据不出园区，充分保证企业数据的安全性和隔离性。

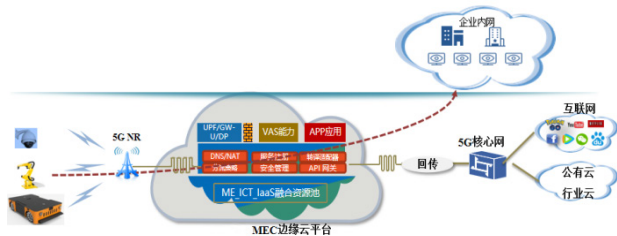


图 虚拟专网网络架构

2.1.3 建设技术方案

在 SA (Standalone 独立组网) 模式下, 进行 5G 专网的部署, 实现了以下功能: 远端 PLC 和中控 PLC 进行双向远程通信、在控制室将网络设备的远程操作、网络控制系统的报警和故障信号发送给控制室, 控制室对网络进行实时视频监控、将有线和 5G 进行汇聚, 实现了传输网络的冗余备份。

在 5G 工业实验与运行实际应用中,充分证明了 5G 无线网络对企业智慧制造的强有力支撑。根据 5G 网络的特性,为满足现场数据回传低延时性、可靠性、安全性的要求,保证工业现场数据不出园区,工业企业数据中心部署一套 MEC 设备,实现对接入前端的应用识别,同时 MEC 交换设备作为企业 BGP、MPLS 承载网的 CE 接入企业承载网,满足企业承载网数据传输要求。终端设备通过有线或无线的方式连接 CPE 设备,与 5G 基站进行通信,将终端设备数据汇聚到边缘服务器,通过 MEC 进行解析,把数据传送到上层云平台进行存储和展示。上层组态数据需要反馈到终端设备时,可以直接下达指令,5G 网络完成满足其低时延需求。驻外机构也可以通过 5G 核心网访问企业内部数据。针对不

同典型工业场景进行基站建设，各类前端设备通过自带模组或外接 CPE（Customer Premise Equipment 客户前置设备）的方式无线连接到基站，实现基于 5G 专网的应用。

2.2 典型工业场景

2.2.1 智慧料厂 5G 远程操控

钢材生产的原料大量从外购买,原料到达港口后,通过大型输送皮带、输送机、巷道到达料棚,由料棚中的堆取料机、移动小车等设备对原料进行转运、均化。

港务料厂装备有大量移动设备,分布在料厂区域内,现场视频监控信号及控制信号的传输量巨大,有线网络路径复杂、施工量大、维护成本高,移动设备的控制信号 WiFi 传输容易受干扰、时延不稳定、性能受限;单路网络不够可靠,单点故障即可造成整体停运。各控制系统信号连锁复杂,协同控制困难;设备的巡检工作依靠人工,而现场环境复杂、浮尘较多、危险程度高,设备故障处理不及时将造成间接经济损失。为此,需构建料厂 5G 方案,其拓扑图如图所示。

第一,矿槽远程操控。通过在移动布料车上部署摄像头,将视频信号接入 5G 网络,同时将控制系统与 HMI 操作界面通信接入 5G,将现场操作工人从污染严重的环境中撤下来,实现在中控室通过监控布料设备的运转状态和电气信号完成远程操控。

第二,堆取料机远程操控。通过 5G 完成各系统关键控制信号连锁,动态计算每台堆/取料机准确行走位置、悬臂回转及俯仰的空间位置,根据来料信号、取料信号、料堆高度等实际情况来调整和控制各台堆、取料机启停、俯仰角度、行走位置等。当计算结果发现有碰撞可能性时,发出报警信号,引起有关操作人员的注意,如果相邻堆/取料机间距继续减小,则发出紧急停车信号,堆/取料机自动停止。提高控制自动化程度,降低操作工劳动强度,实现堆取料机远程操作。

2.2.2 5G+AR 辅助设备运维培训

钢铁行业设备属于结构复杂、技术密集的大型复杂机电系统。钢铁行业设备的装配和维修过程对人员技术和工具设备都有极高的要求。由于受时间、条件和环境等因素的限制,培训成本高、维修劳动强度高、技术难度大,是产生维修差错和质量问题的主要原因。维修质量对设备的性能和使用寿命影响很大,维修和装配差错更是诱发或直接导致事故最重要的原因之一。目前,无论是制造厂还是维修单位,复杂装备的拆装和维修都是依靠纸质或手持终端上的电子手册,需要边看边进行,难度大、效率低,差错难以控制,双手被占用,并且传统方式完全依靠维修人员的维修技能和经验,维修装配的质量可控性较差。

基于边缘计算的 AR 辅助钢铁行业设备运维培训演示系统,是利用边缘计算、增强现实、人机自然交互和交互式电子手册(IETM)等技术构成的针对钢铁行业的支持系统。运维人员通过自然交互手段感知周围场景和维护对象的变

化,利用增强现实三维注册显示和跟踪定位技术将所需要的数字化诱导信息根据手势和语音等无缝显示到AR眼镜中,从而解放作业人员的双手,使之专注于实际工作,提高作业效率,减少错误发生。

通过AR系统呈现出真实的工业机器人本体及工艺任务形态,工业机器人运动控制器、示教器可以同VR眼镜实时通信,真实操作虚拟的AR工业机器人,通过5G网络实现了实时交互、真实示教、编译仿真、虚实结合、沉浸式工业机器人实训教学。借助计算机图形学技术和可视化技术产生现实环境中不存在的虚拟对象,并通过环境识别和三维注册技术将虚拟对象准确“放置”在真实环境中,借助显示设备将虚拟对象与真实环境融为一体。在培训过程中可完成喷涂、焊接、码垛、分拣等工艺流程体验,也可让每一位参训人员根据自身的学习特点,通过仿真软件学习内容,按照适合自己的方式和速度进行学习。

该系统主要研究如下内容,一是如何利用AR智能眼镜的虚实融合、实时交互、解放双手、信息近眼显示等特点,使其显示方式和交互方式可真正做到以操作者为中心;二是在运维培训中,如何使AR智能眼镜让学员直接进入到真实的操检环境中,通过数字化模型帮助学员了解设备的工作原理及操检步骤,让学员快速掌握操作、维修的知识及技巧,避免教练员手把手教,从而提高培训效率,降低培训成本。根据机器人5G+AR培训的实施效果,后期将推广到大型设备运维、AGV小车、叉车、数控机床等设备的培训。

2.2.3 5G+ 胶带机智能维检

胶带机因工作环境复杂,运输距离长,运输量大,生产运行中经常会发生电机、减速机故障,胶带跑偏、打滑、撕裂等现象,由于缺乏有效检测、监测手段,发生设备事故轻则影响生产效率,重则引起严重事故。

运用智能传感器及5G网络技术,提升设备运行检测手段;建立设备实时数字化模型,实现设备管理可视化;运用智能分析模型,实现故障快速智能诊断;进行系统的数字化健康评估,保障系统运行安全;利用历史数据,基于机器学习算法和模型分析评估设备健康状况,实现预测性维护。同时建立一套包括档案管理、备件管理、设备检修等功能的智能维检系统,实现运维监测信息化及智能化远程管理。

5G胶带机智能维检利用5G网络实时采集电机、减速机及胶带数据,将数据周期性上传,经过智能算法分析后进行状态估算和态势感知并发送给运维人员,以提前预测设备状态并采取措施,避免胶带故障和安全风险。

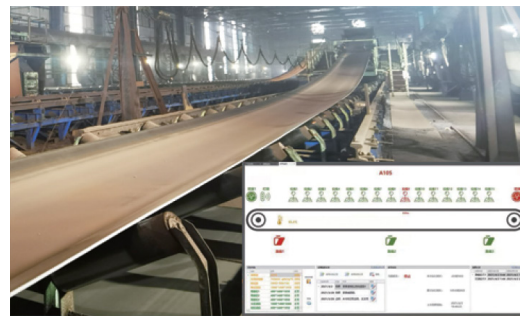


图 5G+ 胶带机智能维检

3 结论及未来展望

结合5G技术,充分将企业的人、机、物、系统进行互联,进一步赋能钢铁制造,基于5G专网主要聚焦如下应用场景。

第一,智能设备互联。面向复杂多样的现场装备,进行数据采集和接入,获取设备运行和状态数据,实现工业互联网泛在连接。

第二,智能化生产。钢铁行业工业互联网平台可将生产工艺、生产过程控制、产品质量管理等领域涉及的工业知识显性化为工业机理模型,结合5G技术,进行人、机、物、系统连接,对钢铁工艺流程进行优化。

第三,智慧化运营。结合实际市场需求和企业生产能力,利用5G技术,将企业运营的关键要素接入工业互联网平台,提升企业综合运营效率和产品用户体验。

第四,绿色化发展。钢铁行业的能耗和环保问题日益突出,钢铁企业可采集各生产环节的能源消耗和污染物排放数据,找出问题严重的环节,并进行工艺优化和设备升级,降低能耗成本和环保成本,实现清洁低碳的绿色化生产。

当前5G+钢铁行业规模化应用仍面临使用成本高、技术生态不完善、缺少示范案例、建网标准与商业模式不清晰四大问题。需要加大5G钢铁行业专网技术研发和推广。

参考文献

- [1] 中国钢铁工业协会. (2021). 2020年中国钢铁行业运行报告. *中国钢铁*, *15*(3), 1-10.
- [2] Zhang, L., et al. (2022). "5G-based Remote Control in Steel Plants." *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial IoT*, 1-6. <https://doi.org/xxxx>
- [3] 3GPP. (2020). *5G系统架构标准 (Release 16)* [技术报告]. <https://www.3gpp.org/>
- [4] 工业和信息化部. (2023). *“十四五”智能制造发展规划*. Retrieved July 8, 2025, from <http://www.miit.gov.cn/>

Design and implementation of campus idle goods trading platform based on Java web

Hui Ge

School of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong, 271000, China

Abstract

This paper addresses existing challenges in campus second-hand trading by developing an intelligent idle item exchange system tailored for academic environments, particularly addressing the seasonal demand for managing surplus goods during graduation seasons. The technical architecture employs Spring Boot to create a backend “central dispatch hub” handling core operations like product listings and order management, while utilizing Vue.js to build a front-end “smart showcase” that allows students to browse campus-specific items as easily as scrolling through social feeds. A MySQL database ensures secure storage and traceability of transaction data. The system features multiple practical functions: geolocation-based product categorization prevents cross-campus information interference; real-time inventory display with automatic sales marking; and direct in-platform bargaining to streamline communication processes.

Keywords

campus idle goods trading platform; Java Web; Spring Boot; Vue.js; MySQL; campus transaction

基于 Java Web 的校园闲置物品交易平台设计与实现

葛辉

山东农业大学信息科学与工程学院, 中国 · 山东 泰安 271000

摘 要

本论文聚焦于解决校园二手交易现存问题, 开发了一套校园智能闲置物品交易系统。该系统专为校园场景设计, 尤其顾及毕业季学长学姐处理大量闲置物品的需求。在技术架构层面, 采用Spring Boot搭建后台“调度中枢”, 负责商品发布、订单管理等核心事务; 以Vue.js构建前端“智能橱窗”, 让学生如刷社交动态般轻松浏览各校区商品; 运用MySQL数据库保障交易数据安全存储与追溯。系统具备多项实用功能: 借助地图标记实现校区商品分类, 避免跨区无效信息干扰; 设置实时库存显示, 商品售出自动标注; 支持平台内直接议价, 简化沟通流程。同时规定每件商品需上传三张实物图, 保证商品信息真实透明。试运行阶段, 该系统助力应届毕业生处理超2000件闲置物品, 其中考研笔记、小功率电煮锅和床上桌最受欢迎。目前, 不少同学形成学期末先上平台淘货的习惯, 既减轻搬运负担, 又能低价购置实用物品。

关键词

校园闲置物品交易平台; Java Web; Spring Boot; Vue.js; MySQL; 校区交易

1 概述

1.1 研究背景

校园闲置物品交易是高校学生实现闲置资源再利用的关键方式。毕业季与开学季期间, 教材、日用品等闲置物品数量大幅攀升。然而, 本校现有的闲置物品交易模式存在明显缺陷, 严重阻碍了资源的有效流通, 造成了资源浪费, 具体表现为:

1.1.1 信息传播低效

当前, 闲置物品信息主要通过 QQ 或微信群传播, 信息分散且缺乏有效整合。有购买需求的学生需要花费大量时

间和精力在众多群聊中搜索, 难以迅速、精准地找到所需物品, 导致信息获取的及时性和准确性大打折扣。

1.1.2 信息更新滞后

在 QQ 或微信群交易模式下, 商品售出后信息更新不及时的情况较为普遍。这使得许多买家在不知情的情况下与卖家沟通, 产生大量无效沟通, 不仅浪费了双方的时间和精力, 也降低了交易效率^[1]。

1.1.3 商品描述失真

交易过程中, 商品信息主要依靠几张模糊的照片呈现, 缺乏详细、准确的描述。这导致买家对商品的实际情况了解不足, 收到的商品与描述存在较大差异, 容易引发交易纠纷, 影响交易的信任度和满意度。

1.1.4 沟通成本过高

学生在交易时通常需要添加微信进行沟通, 这不仅增

【作者简介】葛辉(2004-), 女, 中国山东东营人, 本科, 从事Web应用开发与系统设计研究。

加了社交负担，还可能涉及个人隐私泄露的风险。对于部分低年级学生来说，与陌生人社交可能会产生顾虑，进一步阻碍了交易的进行。

1.1.5 跨校区交易障碍

本校新老校区距离较远，约 5 公里，骑电动车往返需 30 分钟。不少学生在谈好价格和交易日期后才发现双方不在同一校区，由于送货不便，跨校区交易往往难以达成，限制了闲置物品的流通范围。

1.2 研究目的

为解决现有校园闲置物品交易模式的弊端，本平台设计并实现了以下核心目标，以提升用户体验，促进校内闲置资源再利用：

实时状态同步：卖家能一键标记商品为“已售出”，系统立即更新商品状态，让信息实时同步，避免无效咨询，降低沟通成本^[2]。以教材交易为例，标记后可杜绝买家再就已售教材询问价格等信息。

精准商品展示：平台要求卖家上传至少 3 张实物图片，且需包含瑕疵细节图。运用图像识别技术对图片进行审核，确保商品信息真实准确，降低买家收货后因货不对板产生不满的概率。

内置沟通机制：平台搭建站内通信渠道，支持买家与卖家直接沟通交流，如询问商品详情、议价等。这种方式无需额外添加社交好友，既保护了双方隐私，又简化了沟通流程，提升了交易效率。

明确交易地址：卖家发布商品时，必须明确选择校区及具体交易地点，如“新校区教学区”。借助地理定位技术，方便买家快速了解商品位置，规划交易路径，提高交易成功率。

通过达成上述目标，平台为买卖双方提供了更高效、透明、便捷的交易环境，进而推动校内闲置资源的合理配置与再利用。

2 系统需求分析

2.1 功能性需求（核心功能）

1. 用户管理

平台采用学生学号作为注册与登录的凭证，同时支持用户设置个性化昵称和上传头像，以增强用户的身份标识和使用体验。

2. 商品管理

发布规则：卖家发布商品时，需明确填写商品价格、类别、所在校区以及新旧程度，并上传至少三张清晰的实物图片，以确保商品信息的完整性和真实性。

状态控制：卖家可通过标记商品为“已售出”，实现商品的自动下架，便于管理商品的售卖状态。

浏览筛选：平台依据商品类别进行分区展示，买家可根据校区、新旧程度等条件进行筛选，精准定位所需商品^[3]。

3. 商品搜索

平台提供基于关键词匹配的搜索功能，通过比对关键词与商品标题信息，快速筛选出符合需求的商品。

4. 站内通信

买家可通过咨询窗口向卖家发起询问，卖家则可在信息中心查看并回复相关消息，实现买卖双方的高效沟通。

2.2 非功能性需求

性能：页面加载 ≤ 3 秒，支持 200 人同时在线。

易用性：功能简单易看，核心功能实现步骤 ≤ 3 步，学生可迅速上手。

安全性：密码加密存储（BCrypt 算法），以防 SQL 注入。

3 系统设计

3.1 技术选型

1. 后端

框架：Spring Boot

数据库操作：Spring Data JPA

数据库：MySQL

2. 前端

框架：Vue.js

通信库：Axios

UI 组件库：Element UI

3. 部署：学校学生云服务器（2 核 4G 配置，满足小规模使用）

3.2 数据库设计（核心表）

campus_user（用户表）

campus_user（用户表）		
字段名	说明	约束
user_id	主键	唯一、非空
student_id	学号	唯一
encrypted_pwd	加密密码	-
nickname	昵称	-
avatar_url	头像URL	-
reg_time	注册时间	-

campus_product（商品表）

campus_product（商品表）		
字段名	说明	约束
product_id	主键	唯一、非空
seller_id	卖家ID	外键，关联 campus_user 的 user_id
item_title	商品标题	-
item_desc	商品描述	-
item_price	商品价格	-
campus_location	校区位置	非空
item_category	商品类别	-
item_condition	新旧程度	-
sale_status	销售状态	0-在售/1-已售，值为1时不参与公共列表查询
img_url_list	图片URL列表	-
publish_time	发布时间	-

campus_message (站内通信表)

campus_message (站内通信表)		
字段名	说明	约束
msg_id	主键	唯一、非空
sender_id	发送者ID	-
receiver_id	接收者ID	-
product_id	关联商品ID	关联 campus_product的 product_id
content	消息内容	-
is_read	阅读状态	0-未读/1-已读
send_time	发送时间	-

3.3 关键功能设计

- 1. 校区筛选：前端提供校区下拉框（如老校区 1 号宿舍楼），后端查询对应校区的在售商品（sale_status=0）。
- 2. 售出状态更新：卖家点击“标记已售”，后端将 sale_status 改为 1，前端实时刷新列表^[4]。
- 3. 站内通信：未读消息优先进行展示，关联商品 ID 存储消息。
- 4. 多图上传：限制图片 ≥3 张，存储路径至 img_url_list，展示时第一张作为封面，点击可查看全部。

4 系统测试

4.1 功能测试

选取 6 名学生(3 名卖家、3 名买家)进行测试,结果如下:

注册登录: 学号登录成功,密码错误会进行清晰的提示,支持昵称和头像修改。

商品发布: 可上传 3 张图片,校区位置为必填项,未填写时商品信息无法提交。

校区筛选: 选择“新校区教学区”后,列表仅会展示

该校区的商品。

状态更新: 卖家标记“已售”后,数据库 sale_status 同步为 1,商品会立即从列表中移除。

站内通信交流: 买家咨询“价格降低 5 块钱吗?”,卖家可在消息中心收到并进行回复。

4.2 性能测试

性能: 模拟 50 人同时浏览,页面加载时间 ≤3 秒,无卡顿。

5 结论与展望

5.1 实现成果

本平台成功实现核心功能,显著优化校园闲置物品交易生态。

实时更新商品状态,有效降低无效咨询量,极大提升信息交互效率。站内通信功能获得超八成用户认可,他们反馈沟通更为便捷,交易过程更加轻松。多图上传机制让商品信息更透明,实物不符引发的纠纷大幅减少。

毕业季试用阶段,超 30 名毕业生借助平台成功售出考研资料、宿舍电器等闲置物品,有力提高了资源利用率。

5.2 不足与改进方向

当前不足: 没有商品收藏的功能,站内通信无法实时提醒(需要刷新页面才可以)。

改进方向:

集成 WebSocket 实现站内通信实时推送;

增加“商品收藏”“交易评价”等功能。

参考文献

[1] 廖雪峰. Spring Boot实战[M]. 北京: 机械工业出版社, 2021.

[2] Vue.js官方文档[EB/OL]<https://cn.vuejs.org/guide/introduction.html>, 2023.

[3] 本校《Web应用开发》课程讲义(2024).

[4] 菜鸟教程. MySQL数据库入门[EB/OL].<https://www.runoob.com/mysql/mysql-tutorial.html>, 2022.

Research on network security technology of cloud application system in IPv4/IPv6 dual-stack network environment

Baoqi Zhang Xudong Du Wei Li Jun Chang

Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd., Changqing Drilling Corporation, Xi'an, Shaanxi, 710018, China

Abstract

With the rapid development of the Internet, IPv4 address resources are gradually being depleted, and IPv6, as the next-generation Internet protocol, is increasingly being widely used. The IPv4/IPv6 dual-stack network environment has become an important form during the network transition period. This paper first analyzes the current status of cloud application system network security in IPv4 network environments, using data from authoritative institutions and companies to illustrate the challenges faced. It then explores the cutting-edge technologies related to network security in IPv4/IPv6 dual-stack network environments for cloud application systems, including the dual-stack support capabilities of cloud platforms such as Azure and Google Cloud. Finally, by combining the production scenarios of petroleum enterprises, the practical application of dual-stack network security technology is studied, and targeted solutions are proposed to enhance the security and reliability of the production networks of petroleum enterprises.

Keywords

IPv4/IPv6; Cloud Application System; Network Security; Dual Stack Network

IPv4/IPv6 双栈网络环境下云应用系统网络安全技术研究

张宝奇 杜旭东 李卫 常军

川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 中国·陕西 西安 710018

摘 要

随着互联网的快速发展, IPv4地址资源逐渐枯竭, IPv6作为下一代互联网协议逐渐被广泛应用。IPv4/IPv6双栈网络环境成为当前网络过渡阶段的重要形态。本文首先分析了IPv4网络环境下云应用系统的网络安全现状, 通过权威机构和公司的数据展示了当前面临的挑战。接着, 探讨了IPv4/IPv6双栈网络环境下云应用系统网络安全相关的前沿技术, 包括Azure、Google Cloud等云平台的双栈支持能力。最后, 结合石油企业生产场景, 研究了双栈网络安全技术的实际应用, 提出了针对性的解决方案, 以提升石油企业生产网络的安全性和可靠性。

关键词

IPv4/IPv6; 云应用系统; 网络安全; 双栈网络

1 引言

随着云计算和物联网技术的飞速发展, 云应用系统在各个行业的应用越来越广泛。然而, IPv4 地址资源的有限性逐渐成为制约网络发展的瓶颈。IPv6 作为下一代互联网协议, 以其巨大的地址空间和更好的安全性逐渐被接受和推广。在 IPv4/IPv6 双栈网络环境下, 云应用系统的网络安全面临着新的挑战和机遇。本文将深入研究双栈网络环境下云应用系统的网络安全技术, 并结合石油企业生产场景进行实际应用分析。

2 IPv4 网络环境下云应用系统网络安全现状

我国高度重视 IPv6 的规模部署和应用, 以推动互联网

技术的升级和网络安全的提升。2025 年, 中央网信办、国家发展改革委、工业和信息化部联合印发了《2025 年深入推进 IPv6 规模部署和应用工作要点》, 到 2025 年末, 我国将全面建成全球领先的 IPv6 技术、产业、设施、应用和安全体系。

近年来, 随着国家对信创产业的支持力度不断加大, 石油企业等相关能源企业纷纷加大信创投入, 推动信息技术应用创新, 积极推进 IPv6 在网络基础设施中的广泛应用。基于 IPv6 技术全面开展云网融合改造与混合云办公服务体系升级, 探索快速、高效、灵活的信息化服务模式, 以满足云数据安全及生产实时数据高速传输的可持续发展要求, 从而适应 IPv4 到 IPv6+ 网络的平滑过渡。

2.1 IPv4 地址资源短缺

IPv4 采用 32 位地址空间, 仅能提供约 43 亿个地址。随着互联网设备的爆炸性增长, IPv4 地址资源短缺问题日益严重。根据互联网协会 (Internet Society) 的报告, 全球

【作者简介】张宝奇 (1978-), 男, 中国甘肃宁县人, 硕士, 高级工程师, 从事信息安全研究。

IPv4 地址分配已接近饱和。地址短缺导致企业大量使用网络地址转换 (NAT) 技术, 虽然 NAT 在一定程度上缓解了地址不足的问题, 但也带来了安全挑战, 例如隐藏了真实的网络流量来源, 增加了安全监控的难度。

2.2 网络安全威胁

IPv4 网络面临着多种安全威胁, 包括 IP 欺骗、分布式拒绝服务 (DDoS) 攻击和端口扫描等。根据 Cyscale 的报告, IPv4 地址的公共暴露增加了网络攻击的风险, 而减少公共 IP 地址数量不仅可以降低成本, 还可以通过缩小攻击面来增强安全性。

2.3 云平台的安全措施

云服务提供商 (CSP) 通过多种方式增强 IPv4 网络的安全性。例如, AWS 通过 NAT 网关支持 NAT64 和 DNS64 技术, 以实现 IPv6 和 IPv4 之间的通信。然而, 这些转换机制也引入了新的安全问题, 需要仔细配置和持续监控。

2.4 制约物联网发展

随着物联网的蓬勃发展, 设备数量呈爆发式增长, IPv4 网络的局限性愈发凸显。IPv4 地址资源有限, 仅提供约 43 亿个地址, 难以满足海量物联网设备的连接需求。此外, 其在安全性、可扩展性及对移动设备的支持等方面也存在不足。物联网的广泛应用场景, 如智能家居、智能交通、工业自动化等, 对网络的稳定性、高效性和安全性提出了更高要求。因此, IPv4 网络已无法完全适应物联网的发展, 急需更先进的网络技术来解决地址短缺等问题, 以推动物联网的持续进步。

3 IPv4/IPv6 双栈网络环境下云应用系统网络安全前沿技术

3.1 IPv6 在网络溯源方面的优势

3.1.1 地址空间巨大易于溯源

IPv6 拥有 128 位的地址空间, 理论上可以提供几乎无限的地址数量。这使得每个用户和设备都可以分配到唯一的 IPv6 地址, 无需像 IPv4 那样依赖 NAT (网络地址转换) 设备。因此, IPv6 地址可以直接与用户身份绑定, 便于溯源。IPv6 地址分为 64 位的网络前缀和 64 位的接口地址。这种结构使得地址分配更加有规律, 便于管理和溯源。

3.1.2 协议设计增强溯源能力

IPv6 取消了 IPv4 中的 ARP (地址解析协议), 改为使用邻居发现协议 (NDP), 增强了地址解析的安全性。NDP 还增加了邻居不可达发现 (NUD) 功能, 进一步提高了网络的健壮性。IPv6 支持无状态自动配置和有状态自动配置。无状态自动配置通过 EUI-64 算法将 MAC 地址转换为接口标识符, 结合网络前缀生成全局单播地址。这种自动配置方式使得地址的生成和分配更加透明, 便于溯源。

3.1.3 安全性增强, 支持端到端加密

IPv6 协议中默认集成了 IPSec (Internet Protocol Security) 安全机制。IPSec 通过扩展认证报头 (AH) 和封装安全载荷报头 (ESP) 实现数据加密和验证功能。这种端

到端的安全机制使得数据在传输过程中更加安全, 同时也便于在发生安全事件时进行溯源。IPv6 的扩展报头还可以插入染色比特、时间标签等信息, 用于随流检测和路径还原。这些功能可以实时监测信道性能, 还原数据路径, 从而帮助快速定位攻击源。

3.1.4 网络扫描难度增加

IPv6 的地址空间巨大, 攻击者难以扫描一个 IPv6 网段内所有可能的主机。假设攻击者以每秒扫描 100 万个主机的速度扫描, 大约需要 50 万年才能遍历一个 64 位前缀内所有的主机地址。这大大增加了攻击的难度和代价, 同时也使得溯源更加容易。

3.2 IPv6 网络溯源的关键技术

3.2.1 地址分析技术

通过分析 IPv6 地址的分配记录、路由信息和使用情况来实现溯源。IPv6 地址由互联网注册机构分配给各级运营商, 接口标识则由设备自行生成或由网络管理员分配。通过查询这些信息, 可以追溯到 IP 地址的注册机构和实际使用者的地理位置。地址编码技术可用于识别 IP 地址类型, 进一步支持溯源。

3.2.2 日志分析技术

日志分析是网络溯源的重要手段之一。通过收集和分析网络设备的日志信息, 可以获取攻击路径和攻击源的相关信息。在 IPv6 网络中, 由于地址空间大, 日志记录更加详细, 有助于提高溯源的准确性。

3.2.3 数据报文分析技术

基于网络层数据报文分析方法的溯源技术可以通过提取和分析 TCP 五元组 (源地址、目的地址、源端口、目的端口、协议类型) 等信息来追踪攻击源。在 IPv6 网络中, 数据报文的格式和内容更加丰富, 为溯源提供了更多的信息。

3.2.4 随流检测技术

iFIT (随流检测) 技术利用 IPv6 扩展报头中的染色比特, 可以实时监测信道性能并还原数据路径。这种技术可以在业务出现异常时, 自动在业务路径上逐级收集业务质量信息, 定位故障位置, 从而实现攻击源的精准溯源。

3.2.5 安全邻居发现 (SEND) 技术

SEND 协议通过独立于 IPSec 的另一种加密方式 (Cryptographically Generated Address) 保证了传输的安全性。这种技术可以防止攻击者伪造地址, 从而提高溯源的可靠性。

3.2.6 双重触发机制

在一些 IPv6 网络攻击溯源方案中, 采用双重触发机制可以提高溯源包生成的效率。这种机制能够在显著减少对攻击持续时间依赖的情况下完成攻击路径的还原, 从而提高溯源的速度和准确性。

3.3 云平台的双栈支持

IPv4/IPv6 双栈技术是指在同一台设备或网络节点上同时支持 IPv4 和 IPv6 协议栈, 允许设备同时处理 IPv4 和 IPv6 数据包。在云平台中, 双栈支持通过在虚拟化层、网

络设备和应用程序中同时启用 IPv4 和 IPv6 协议来实现。云平台的虚拟机、容器和网络接口都可以配置为支持两种协议栈,从而实现无缝的网络通信。

云平台的网络设备(如虚拟交换机和路由器)也需要支持双栈,能够正确转发 IPv4 和 IPv6 数据包;客户端在解析域名时,DNS 服务器会根据客户端支持的协议返回相应的 IPv4 或 IPv6 地址;云平台的负载均衡器需要支持 IPv4 和 IPv6 双栈,能够将流量转发到 IPv4 或 IPv6 后端服务。

云平台的 IPv4/IPv6 双栈支持是网络演进的重要技术手段。云平台可以实现 IPv4 和 IPv6 的无缝互操作,确保业务的平滑过渡和兼容性。双栈技术不仅提升了网络性能和安全性,还为未来网络的全面 IPv6 化奠定了基础。

3.4 IPv6 网络安全阻断机制

在 IPv6 网络环境中,攻击者常常利用地址频繁变更的特性来逃避安全策略的封堵。为了应对这种情况,可以通过基于 MAC 地址或端口的阻断机制来精准识别并阻断威胁终端。在地址相对稳定的场景下,这种阻断方式能够精确地拦截威胁流量,同时不影响正常业务的运行 [1]。

通过上述多种阻断机制的结合使用,可以有效应对网络威胁,确保网络的安全性和可用性。这在很大程度上解决了 IPv6 地址随机性大导致静态安全策略失效的问题。

4 IPv4/IPv6 双栈网络环境下云应用系统网络安全技术在石油企业生产中的应用

4.1 石油企业网络基础架构改造

石油企业云平台整体以构建“万物互联”的云服务体系为数字化转型目标,助力企业智能化发展,逐步完成 IPv6 规模化部署和应用,做到云服务体系 IPv4-IPv6 的平滑过渡,包括:核心层、汇聚层、接入层。采用针对接入层的 IPv6 安全准入,对接入云平台的设备进行身份验证和访问控制,进一步保证企业云服务体系网络安全 [2]。

4.2 构建企业 IPv6+ 云桌面服务数据中心

通过部署 IPv6 (互联网协议第 6 版),构建一个企业 IPv6+ 云桌面服务数据中心(即云服务器、PC 桌面、移动端访问三种办公环境),石油企业云服务体系全面进入数据云办公服务体系,提升了办公终端设备资源效率,提高了现有数据中心资源利用率,促进企业云计算资源实现动态管理及可持续发展。

云桌面服务采用虚拟化技术,将桌面环境部署在虚拟机(VM)中。每个虚拟机分配一个或多个 IPv6 地址,通过虚拟交换机与企业内部专网连接;采用负载均衡技术,根据用户的请求动态分配云桌面资源,确保云服务系统的高可用性;通过 IPv6 的流量工程(TE)技术,优化云桌面服务的网络路径,减少延迟和丢包率,提升用户体验和数据转发效率 [3]。

4.3 IPv6 零信任接入

IPv6 零信任接入结合了基于 SDP(软件定义边界)的访问控制机制,并禁用了自动生成地址和隐私扩展地址功

能。在这种机制下,用户在尝试访问网络资源之前,必须先通过身份认证。同时,交换机可以通过维护一个动态的 MAC 地址表来管理接入设备。该表记录了连接到各个端口的设备的 MAC 地址。当新设备尝试接入网络时,交换机会检查其 MAC 地址是否已存在于表中。如果新设备的 MAC 地址不在表中,交换机可以根据预先配置的策略采取相应的阻断措施,例如关闭端口或发送警告信息。MAC 地址表可以通过手动配置生成,也可以通过网络管理协议(如 SNMP)自动更新。这种机制有效解决了 IPv6 地址频繁变更导致基于 IP 地址的访问控制失效、地址可读性差以及人工处置难度大等问题。

5 总结

5.1 IPv6 部署效益分析

IPv6 的推广和部署将优化现有的网络规划与管理流程,随着我国信息技术产业的持续进步和国产化替代进程的不断推进,国产服务器、存储设备以及操作系统、国产芯片等产品的性能和品质显著提升,已具备进行市场化推广核心竞争力。通过选用国产信息化产品,石油企业可以大幅度降低采购成本。同时,IPv6 的广泛应用可以显著增强网络的安全性与稳定性,为企业数字化转型和智能化发展提供坚实网络基础保障。

5.2 提升生产管理效能,为企业减负增效

IPv6 企业专网能够有效满足 EISC 中心在油气生产、远程指挥和应急救援等方面的实际需求。首先,在网络质量和成本方面,与传统有线组网模式相比,工业视频生产专网的网络传输速率提高了 30%,传输时延减少了 20%。不仅显著提升了网络性能,还大幅降低了生产运营成本,满足了基层员工在不同区域和工况下对网络的多样化需求。其次,在生产管理和数据应用方面,通过工业视频专网,作业现场的实时数据能够快速回传至 EISC 中心,实现数据的高效存储、分析和应用,助力业务从传统的经验型管理向基于大数据的精益管理转变。

6 结语

本文主要围绕石油企业在 IPv4/IPv6 双栈网络环境下,开展网络安全技术研究,通过分析双栈网络架构特性与云环境安全挑战,提出了立足于石油企业的网络安全和云技术解决方案,为企业数字化转型贡献力量。IPv6 的成功实践将进一步推动物联网技术、AI 大模型在石油勘探和钻井生产领域深入发展。

参考文献

- [1] 胡佑东 朱豫川 徐睿等.基于IPv6的油气矿生产网侧自主可控自动控制系统应用[J].自动化应用.2025,04(04):252-256
- [2] 宋恒利 卫乾 马赞等.油气生产物联网中IPv6与IPv4技术共存分析[J].中国石油和化工,2012,06(06):46-47
- [3] 薛彩霞 庄佳 沈晨普.基于云桌面系统的大数据智慧互动实训室建设研究[J].电脑知识与技术.2025,05(05):70-73

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

With the advancement of China's information technology self-reliance strategy, the domestic operating system OpenEuler has seen increasingly widespread adoption in server applications. This paper investigates PXE (Preboot Execution Environment) network boot technology based on OpenEuler to address automated installation requirements for large-scale device deployments. Through analyzing the PXE protocol stack principles, we designed and implemented an integrated solution combining DHCP/TFTP/HTTP/NFS services with OpenEuler. The proposed framework validates the feasibility of using a PXE service architecture in domestic operating systems, incorporates localized encryption algorithms, implements SM2 certificate authentication in DHCP services to ensure device identity credibility, and features hardware recognition and adaptation capabilities that dynamically distribute and load corresponding kernels and driver modules according to processor architectures.

Keywords

OpenEuler; PXE; network boot; automated deployment; domestic operating system

基于 OpenEuler 操作系统的 PXE 网络启动技术研究与实现

朱烨

云南邮电工程有限公司, 中国 · 云南 昆明 650233

摘 要

随着信息技术自主可控战略的推进, 国产操作系统OpenEuler在服务器领域的应用日益广泛。本文针对大规模设备部署中的自动化安装需求, 研究基于OpenEuler的PXE (Preboot eXecution Environment) 网络启动技术。通过分析PXE协议栈原理, 设计并实现了基于OpenEuler的DHCP/TFTP/HTTP/NFS服务集成方案。本方案验证了国产操作系统使用PXE服务架构的可行性, 集成了国产化加密系统算法支持; 在DHCP服务中实现SM2证书认证, 确保设备身份可信; 设计了硬件识别和适应功能, 可根据不同架构的处理器, 分发并加载对应的内核和驱动模块。

关键词

OpenEuler; PXE; 网络启动; 自动化部署; 国产操作系统

1 概述

1.1 研究背景

信息技术应用创新 (信创) 产业是中国实现技术可控、保障国家信息安全的不可或缺的一部分。在全球科技竞争加剧、国际技术封锁的背景下, 新创产业以“2+8+N”作为方针, 覆盖电信、金融、航空航天、医疗等关键领域, 旨在构建从芯片、操作系统、数据库到应用软件的国产化技术生态。2023 年 8 月财政部首次就 7 项具体软硬件设备出台采购需求标准细则, 意味着信创在政府部门的进一步深入。其中,《操作系统政府采购需求标准征求意见稿》明确应当符合安全可靠测评要求, 要求操作系统同源兼容 ARM、LoongArch、MIPS、SW64、x86 等平台建构的 CPU, 其中操作系统作为新创生态的基石, 直接影响软硬件

监控、应用生态技术自主性。

在这一背景下, 国产操作系统 OpenEuler 凭借其开源开放、高性能、高安全性等特点, 成为信创领域的重要选择。OpenEuler 由华为贡献至开放原子开源基金会, 支持 ARM、x86 等多种架构, 并已在金融、电信、政务等多个行业实现规模化应用。然而, 随着国产化替代进程加速, 如何高效、安全地完成大规模设备部署成为亟待解决的问题。传统的人工安装方式 (如 U 盘或光盘部署) 效率低下, 难以满足企业级场景下数百甚至上千台服务器的快速部署需求。

PXE 技术作为一种成熟的网络启动方案, 可通过标准化的 DHCP、TFTP 等协议实现无人值守的自动化安装, 显著提升部署效率。然而, 当前 PXE 技术的研究与实践主要基于 Red Hat、Ubuntu 等国际主流操作系统, 针对 OpenEuler 的 PXE 部署方案仍缺乏系统性研究。特别是在信创环境下, PXE 的实现需考虑国产硬件的兼容性、国密算法的支持以及符合国家信息安全标准的技术适配。

【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。

1.2 研究现状

目前,国际主流的 PXE 部署方案主要围绕 RHEL (Red Hat Enterprise Linux) 的 Kickstart 和 Ubuntu 的 Autoinstall 技术展开。这些方案通过集成 DHCP、TFTP 和 HTTP/NFS 服务,实现自动化安装,并支持定制化的预安装脚本(如 Kickstart 的 %post 段)。然而,国产系统相关 PXE 公开的解决方案、技术资料相对较少,这些技术方案在国产化环境中面临以下挑战:

1. 硬件兼容性问题: 国产 CPU (如鲲鹏、飞腾、龙芯) 的 UEFI 固件对 PXE 协议的支持存在差异,部分设备需定制引导加载程序(如 grubaa64.efi)。

2. 安全合规要求: 信创领域对数据传输加密(如 SM3/SM4 国密算法)、镜像完整性校验等有严格要求,而传统 PXE 方案依赖 SHA-256 或 MD5 校验,不符合国内行业标准。

3. 生态工具链缺失: OpenEuler 缺乏类似 RHEL 的 Anaconda 安装器图形化配置工具, OpenEuler 则需依赖命令行实现复杂部署逻辑。

1.3 OpenEuler 系统特性化研究

在 PXE 网络部署领域, OpenEuler 与 RHEL、Ubuntu 国际主流 linux 体系相比展现出对于国产操作系统对于安全可控、硬件兼容国产化特性, OpenEuler 通过以下两点技术革新构建自主化部署体系:

1. 安全启动机制差异

启用国密算法支持,在挂载镜像时强制完整性校验 (mount -o ro,loop,verity=sm3), 该设计使得文件完整性验证符合国家相关网络启动安全规范要求,而 CentOS 仅支持传统 SHA256 校验方案。

2. 固件兼容性处理

硬件适配性取得突破性进展,通过深度定制 uefisectool 架构检测工具链,实现对鲲鹏、飞腾等国产芯片的固件级兼容性保障,例如在 ARM64 平台需可执行 uefisectool --arch aarch64 --validate BOOTAA64.EFI 完成引导文件验证,相较之下 RHEL 体系系统对于国产化系统与国产系统的兼容性存在一定问题。

2 OpenEuler 系统 PXE 自动化部署技术实现详解

预启动执行环境 (Pre-boot Execution Environment, PXE) 是由 Intel 公司开发的一种无盘启动技术,用于计算机通过网络远程启动,工作在 Client/Server 的软件系统体系结构下。当计算机设置以 LAN 方式启动时,就会通过网卡内置的启动芯片发出请求,要求服务器分配 IP 地址,建立联系后,再用 TFTP (Trivial File Transfer Protocol) 协议将预先存储在服务器中的终端操作系统镜像包下载到本机内存中执行,完成终端操作系统的远程启动^[1]。

2.1 环境部署基础构建

在 OpenEuler 22.03 LTS 系统上构建 PXE 服务需搭建三层核心服务架构: DHCP 服务实现客户端网络参数动态分配, TFTP 服务承载 GRUB 引导文件传输, HTTP 服务提供完整的操作系统安装源。实施过程首先需挂载官方镜像文件,通过 mount -o ro,loop,verity=sm3 openEuler-22.03-LTS-x86_64-

dvd.iso /mnt 建立本地访问路径。网络拓扑规划需确保目标客户端均位于 192.168.1.0/24 网段,且交换机配置允许 PXE 广播报文穿透,此为后续服务联动的基础条件。

2.2 DHCP 服务的配置

动态主机分配协议 (Dynamic Host Configuration Protocol, DHCP) 是一个局域网的网络协议,使用 UDP 协议工作,其主要用途为给 LAN 内主机自动分配 IP 地址,也为内部网络管理员提供了对内部主机的管理手段,在局域网中使用非常普遍^[2]。结合国内软硬件情况,在 DHCP 服务的部署中新增多架构自适应特性,能够自动适配不同硬件平台的设备接入,该 DHCP 配置方案以下优点:

1. 智能硬件识别: 通过内置的架构检测功能 (DHCP Option 93 字段), 系统能自动识别客户端是 x86 服务器还是国产鲲鹏 ARM 服务器,并动态分发对应架构的引导文件。

2. 动态安全证书: 当检测到鲲鹏设备时,系统会额外发送国密数字证书下载链接 (option sm3-cert)。这个证书相当于 "数字身份证",用于后续文件传输时的身份核验和安全加密,极大的保证了信息安全。

2.3 TFTP 传输引导文件

TFTP 用于传输 grubx64.efi、vmlinuz、initrd.img 启动引导文件, OpenEuler 通过深度整合国产硬件密码引擎,在 TFTP 服务层实现了革命性的安全传输加速。本方案于将国密算法 SM3 的校验计算过程形成软件与硬件协同的安全传输体系。具体实现分为两个关键阶段: 在文件准备阶段,执行 openssl sm3 -engine capi 指令生成硬件签名的校验文件,其中 -engine capi 参数显式调用鲲鹏芯片的密码加速能力; 在服务运行阶段,通过定制化的 tftpd-secure.service 服务单元,设置 -m sm3_hw 启动参数启用硬件强制校验模式,并配置 OPENSSL_ENGINES=/usr/lib64/engines-1.1/capi.so 环境变量定向加载密码加速模块。

2.4 基于 Nginx 的安装源配置

在本文研究的 PXE 自动化部署系统中, Nginx 作为高性能 HTTP 服务器承担着关键的文件分发功能。Nginx 是一款高性能的开源 Web 服务器和反向代理服务器。它在处理静态资源、负载均衡、反向代理、HTTPS 等方面表现出色。Nginx 的设计目标是提供高性能、稳定性、热部署、模块化设计、低资源消耗和灵活性,以适应于现代网络环境中构建大规模访问、可伸缩性强的 Web 应用和负载的需求^[3]。本方案通过 Nginx 将系统镜像文件分发至客户端服务器中。

2.5 OpenEuler 的 Kickstart 配置

Kickstart 是 Red Hat 系列 Linux 发行版提供自动化操作按照技术,它通过预定义的配置文件实现自动部署系统。Ks.cfg 文件作为核心配置包含了安装过程中所需要的所有配置参数,完全避免了传统安装方式中繁琐的人工交互操作。主要分为三个板块:

1. 命令部分: 系统基础配置框架

Kickstart 配置文件中的命令部分构成了系统安装的基础框架,通过简洁的声明式语法定义关键系统参数。在网络配置方面,支持静态 IP (network --ip=x.x.x.x

--netmask=255.255.255.0) 和 DHCP 自动获取 (network --bootproto=dhcp) 两种模式, 并可指定 DNS 服务器和网关等高级网络参数。可选安全策略配置, auth --enablesdshadow --passalgo=sha512 指令不仅启用 shadow 密码机制, 还强制使用 SHA-512 算法进行密码哈希, 在 OpenEuler 等国产系统中更支持 SM3 国密算法替代。系统本地化设置则通过 lang zh_CN.UTF-8、keyboard cn 等命令实现中文环境适配, 而 timezone Asia/Shanghai --ntpservers=ntp.aliyun.com 则确保时区和时间同步服务符合国内使用场景。

2. 软件包管理: 精准控制系统组成

%packages 模块提供了细粒度的软件生态控制能力。通过 @^minimal-environment 可安装最小化基础系统, 而 @development 则包含完整的开发工具链。在实际部署中, 管理员可以精确指定软件包版本 (如 kernel-4.18.0-348.el8), 并通过 --exclude=firefox* 排除不需要的组件。在国产化环境中, 通常会添加 openssl-gm 等国密算法支持包和 kylin-sec-tools 等安全增强工具。该模块还支持条件化安装, 例如针对鲲鹏处理器的优化包组可以通过 %ifarch aarch64 条件判断来加载, 实现硬件适配的智能化管理。

3. 脚本扩展: 部署流程的弹性扩展

%pre 和 %post 脚本段为安装过程提供了强大的扩展能力。%pre 脚本在磁盘分区前执行, 运行于内存虚拟环境 (tmpfs) 中, 常用于硬件特征检测和环境准备。典型的应用包括: 通过 lspci | grep -i raid 识别硬件 RAID 卡型号, 动态生成适配的分区方案; 或者基于 dmidecode 输出判断服务器机型, 选择不同的内核参数。%post 脚本则在系统安装完成后执行, 具有完整的系统环境支持, 主要承担三大职责: 安全加固 (如配置 fail2ban 和 selinux 策略)、业务环境初始化 (部署容器运行时或 Kubernetes 组件)。此外, 可通过 %include 指令实现模块化设计, 大大提升了复杂部署场景的灵活性。

2.6 GRUB 引导

在 Linux 操作系统中, GRUB (GRand Unified Bootloader) 是一个多操作系统启动程序, 它允许用户在系统启动时提供选择不同的操作系统或内核, 它作为 PXE 自动化部署流程中的起点, 连接硬件与软件桥梁。会在硬件自检完成后立即接管控制权, 负责加载 Linux 内核和 initramfs 初始化内存盘, 能够将安装源位置、自动化配置脚本路径等关键信息准确传递给安装程序。配置文件如下所示:

```
# /var/lib/tftpboot/grub2/grub.cfg
set timeout=10
menuentry "Install openEuler" {
    linuxefi /vmlinuz inst.repo=https://192.168.1.10/openeuler
    inst.ks=http://192.168.1.10/ks.cfg
    initrd /initrd.img
}
```

menuentry 部分定义了一个名为 "Install openEuler" 的安装选项, 其中 linuxefi 指令指定了要加载的内核镜像文件 /vmlinuz, 并通过 inst.repo 参数设置系统安装源的位置

为 http://192.168.1.10/openeuler, 同时使用 inst.ks 参数指定 Kickstart 自动安装配置文件的网络位置。这些核心参数的组合确保了系统能够从指定位置获取安装所需的全部资源。

initrd 指令则负责加载初始化内存盘文件 /initrd.img, 这个文件包含了安装过程所需的核心驱动和工具, 为系统安装初期提供了临时的运行环境。配合 DHCP 和 TFTP 服务共同实现网络启动安装的全过程。

3 行业应用实践

在某云平台建设项目中, 需在 40 台清华 DL360 国产服务器部署 OpenEuler 操作系统任务, 该批服务器配置为 E5-2630V4 处理器、256GB 内存和 4TB NVMe SSD 存储。因业务特殊, 不能使用 U 盘等移动工具。传统单台手动安装模式需要依赖外置光驱镜像人工安装影响安装效率, 单节点安装平均耗时 90 分钟 (包含硬件识别、系统安装和预装运行环境等环节), 极大的拖延了项目的进展。

这些挑战迫切需要我们搭建一套高效、可靠的批量部署解决方案。于是涉及了基于 OpenEuler 操作系统的 PXE 网络启动方案, 本方案取得了显著的效率提升和质量改进。在效率指标方面, 40 台服务器的总部署时间压缩至 240 分钟, 较传统单台部署模式实现了 15 倍的效率提升。

4 结语

本次基于 PXE 批量部署国产操作系统 OpenEuler 方案的成功实践, 极大的简化的大规模服务器集群的安装部署工作, 该方案不仅实现了部署效率的飞跃提升 (40 台服务器 4 小时完成), 更在安全性、一致性和国产化兼容方面具有较高水平。为国产化操作系统部署提供了可靠的技术支撑。

5 后续展望

5.1 生态扩展规划

硬件生态适配将向更广泛的国产平台延伸, 例如飞腾 Phytium S2500 和龙芯 3A5000 等主流国产处理器。通过建立标准化的驱动兼容性测试体系和国产硬件驱动认证仓库, 最终实现 "一键式" 部署支持所有主流国产服务器。这一扩展将大幅提升方案的通用性和适用性。

5.2 云原生发展路线

云原生集成将重点深化与 Kubernetes 生态的融合, 开发集群化部署功能模块。以 ansible 作为管理手段针对边缘计算场景, 将优化轻量级部署方案, 满足 5G 和物联网设备的快速扩展需求。这一发展将使方案更好地适应云计算和边缘计算的新兴应用场景。

参考文献

- [1] 王玉峰, 李文志. 计算机实验室无盘化改造 [J]. 科技视界, 2016 (1): 46
- [2] 李澍, 姚磊. 实验室搭建复杂网络环境下的 DHCP 服务及安全防护 [J]. 实验室研究与探索, 2014, 33(01): 143-148.
- [3] 杨文军, 薛燕娜. 基于 Nginx+sticky 实现 cookie 负载均衡的建设与研究 [J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(19): 97-100. DOI: 10.14004/j.cnki.ckt.2024.1072.

Design of automatic-test system for Shipboard TT&C system Noise floor based on LABVIEW

Xinrong Wang Yu Wang Di Zhang Xingyu Yue

China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin, Jiangsu, 214431, China

Abstract

The shipborne unified TT&C system is affected by environmental factors such as high salt spray, high vibration and high humidity at sea during the mission at sea, and the working stability problems of the system's downlink related devices are frequent and frequent. At present, the downlink noise floor test of the system requires manual participation and multi-post cooperation, which takes a long time and the process is cumbersome. The test results are usually recorded manually, which cannot effectively manage the data, which is not conducive to the intuitive response to the historical stability of the system link. In view of the above shortcomings, this paper proposes a design scheme for the downlink noise floor automatic test system of the shipboard unified TT&C system based on LABVIEW, builds a hardware platform and realizes the automatic inspection and testing of the system multi-link, realizes the fast automatic test and data recording and comparison function of the system link noise floor, and effectively improves the efficiency of the link noise floor test of the shipboard unified TT&C system.

Keywords

Virtual instruments; Noise floor; automatic-test; shipborne TT&C system

基于 LABVIEW 的船载测控系统底噪自动测试系统设计

王新荣 王宇 张地 岳星煜

中国卫星海上测控部, 中国·江苏 江阴 214431

摘 要

船载统一测控系统在出海执行任务期间受海上高盐雾、高震动、高潮湿等环境因素影响, 系统下行链路相关器件工作稳定性问题频发、多发, 对系统链路底噪进行测试可直观的反应系统下行链路器件的工作情况、较为便捷的检测系统下行链路的稳定情况; 目前系统下行链路底噪测试环节均需人工参与、多岗位配合, 测试耗时长、过程繁琐; 测试结果通常采用人工记录, 不能对数据进行有效的管理, 不利于直观反应系统链路历史稳定性; 针对以上不足, 提出了基于LABVIEW的船载统一测控系统下行链路底噪自动测试系统设计方案, 搭建了硬件平台并实现了对系统多链路的自动巡检测试, 实现了系统链路底噪的快速自动测试及数据记录比对功能, 有效提升了船载统一测控系统链路底噪测试工作效率。

关键词

虚拟仪器; 链路底噪; 自动测试; 船载测控系统; 高频器件

1 引言

底噪 (Noise floor) 也称背景噪声, 是指在电路、系统或环境中存在的一种基本噪声水平。这种噪声来源于各种随机因素, 如热噪声、光子噪声、电子噪声等, 并且会随着环境和电路参数的变化而发生变化。在测控系统中, 底噪限制了系统的信噪比, 限制了信息传输的速度和质量^[1]。

船载统一测控系统的链路底噪是在天线对冷空时, 自然干扰源 (主要来源于大气层的天电噪声、地球外层空间的宇宙噪声) 经过系统低噪声场放、变频器等下行链路器件后在系统接收终端的测试的噪声值。船载统一测控系统在出海

执行任务期间受海上高盐雾、高震动、高潮湿等环境因素影响, 系统下行链路相关器件工作稳定性问题频发、多发, 对系统链路底噪进行测试可直观的反应系统下行链路器件的工作情况、较为便捷的检测系统下行链路的稳定情况。目前, 船载统一测控系统下行链路设备主要包括天线馈源、低噪声场放、下变频器、下行开关矩阵等。

基于以上设备, 目前船载统一测控系统下行链路底噪标定工作流程主要包括设备初始化设置、链路切换、矩阵切换、数据判读、数据记录等多个环节, 一般采用单台或多台仪器对系统各下行链路逐项进行测试, 而且系统下行链路多、各环节均需人工参与、多岗位配合, 导致整个检测过程耗时较长且操作复杂。此外, 测试结果多采用手工方式记录, 缺乏有效的数据管理系统, 这不利于直观展示系统链路的历史稳定性情况。

【作者简介】王新荣 (1987-), 男, 中国江苏南通人, 本科, 工程师, 从事航天器海上测控研究。

随着我国航天测控事业的发展,在轨航天飞行器数量逐年增加,陆地测控站的各项性能指标测试模式由原来的人工操作为主的模式过渡到自动化运行的自动测试模式^[2-6]。

针对上述现状不足,本文从提出了LABVIEW的船载统一测控系统下行链路底噪自动测试系统设计方案,以实现了系统链路底噪的快速自动测试及数据记录比对功能。

2 自动测试系统的设计

仪器控制是指利用计算机软件并通过特定类型的总线协议与各类测量设备建立通讯并实施管理的过程。这一过程促进了计算机与仪器之间的协同作业,不仅能够充分发挥计算机在数据处理、分析、展示及存储方面的强大能力,还显著增强了原有仪器的功能范围。一个全面的仪器控制系统通常由软件和硬件两大组件构成。

2.1 系统的硬件设计

本系统的设计采用了LABVIEW软件。作为美国国家仪器公司(National Instrument Company)开发的一种基于图形化编程语言G语言的虚拟仪器软件开发工具,LABVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench,即实验室虚拟仪器工程平台)为设计者们提供了一个高效且易于使用的开发环境。通过这种类似拼装积木的方式,用户能够便捷地构建测量系统并自定义仪器的操作界面。该软件具备丰富的调试选项、强大的函数库支持、跨多种操作系统的能力以及与外部代码或应用程序良好集成的特点。此外,LABVIEW兼容多种总线标准,如串行端口、并行端口、以太网、GPIB、VXI、PXI、LXI及VISA等。选择特定类型的总线时,通常会考量几个关键因素:首先是连接器和电缆的具体情况(例如接口数量、类型以及长度限制);其次是电气属性(如电压范围、接地方式等);再者是通信协议的细节(比如协议种类、数据格式、指令集等);最后还需考虑驱动程序的易用性和与其他现有开发工具的兼容性^[7-10]。

在综合考量实际需求的基础上,本系统的硬件部分采用了以太网连接方案。控制计算机通过网络实现对系统下行链路(下行矩阵插箱、下行开关控制插箱)及频谱仪的控制与测试,通信协议采用UDP/IGMP协议。

频谱仪通信编程主要是在Labview开发环境中进行的,它采用事件驱动的方式对频谱仪的各项功能键及参数设定实施软件级编码。通过利用软件内置的VISA库函数,能够经由局域网总线向设备发送指令;当仪器接收到这些指令后,会对其进行解析并作出相应反馈,再将获取到的测量结果通过同样的总线路径传回至控制计算机以供后续处理。这一过程实现了对频谱仪的远程操控及其信号频谱的监控。

控制计算机向矩阵插箱发出的命令包括状态定时查询命令和参数状态控制命令。状态定时查询命令主要是定时查询设备的工作参数及设备运行状态,参数状态控制命令主要是根据用户操作产生的控制命令信息。本振插箱接收到控制

命令信息后,在执行命令的同时发送控制命令响应信息,上报插箱工作参数或设备状态。工作频点精确到Hz,然后经过数制转换为十六进制^[11-20]。

2.2 系统的软件构成

所采用的软件开发策略利用了仪器驱动程序,这是一种在应用层面针对底层仪器操作细节进行抽象封装的方法。这种方法使得用户无需深入了解仪器的具体工作原理即可轻松编写出适用的控制代码,从而极大地简化了编程过程并提高了应用程序的可维护性。仪器驱动程序本质上是一系列预定义的软件例程,这些例程涵盖了从配置设备到读取数据、向设备发送命令以及触发特定功能等一系列标准操作。通过将底层通信协议或寄存器设置等复杂操作封装起来,开发者只需调用相应的函数库就能实现对目标仪器的全面控制。

LABVIEW不仅为NI公司自家的产品提供了驱动程序和函数库的下载服务,还针对如Agilent(KeySight)、R&S等知名制造商生产的测量设备提供了广泛的LABVIEW驱动程序及函数库资源。这使得开发者能够在不离开LABVIEW开发环境的前提下安装所需的仪器驱动,极大地便利了开发工作。

3 系统软件设计与开发

3.1 软件设计流程

软件编程对于实现自动化测量控制至关重要,依据具体的功能需求来构建相应的功能模块以达成通信与控制目标,并对采集的数据进行处理及记录。

该系统的主要操作流程如下:首先,确保设备、频谱仪与计算机之间通过网络建立了有效的通信连接。随后启动程序,程序将对下行矩阵、相关链路以及频谱仪执行初始化设置,并配置必要的参数。接着,系统会自动进行矩阵状态的检查,并同时开展数据采集和记录工作。当完成所有预定的矩阵及链路检查后,整个自动化测试过程即告一段落。

3.2 自动测试系统软件开发

在LABVIEW的开发过程中,设计工作主要分为两个部分:前面板的设计与程序框图的构建。其中,前面板模仿了传统台式仪器的操作界面,集成了输入设备、数据显示以及控制组件等功能元素。而程序框图则类似于这些仪器内部的电路布局,亦或是编程语言中的代码实现,负责执行包括但不限于对设备的操控、数据收集、信息处理及传输等一系列任务。此外,前面板上的各个组件与程序框图之间通过特定的接口相互连接,确保两者之间的有效通信。

3.2.1 前面板设计

软件前面板如图1所示,左半部分为频谱仪地址、中心频率、带宽等参数设置区域,右半部分为当前矩阵及链路巡检状态显示部分,该程序仅需对系统底噪测试结果进行读数及记录无需进行相关频谱图的显示,可一定程度的减少系

统资源开销提升检测速度。



图1 系统前面板

3.2.2 程序框图设计

该系统软件由数据采集控制模块与矩阵及链路控制模块构成。其中，数据采集控制模块负责管理频谱仪的功能配置、数据收集以及存储过程。此模块采用 LABVIEW 图形化编程语言开发了相应的控制程序，并通过调用 NI 公司提供的仪器控制函数库来执行频谱分析仪的测试和数据获取工作；而矩阵及链路控制模块则主要承担链路切换和矩阵状态监测的任务。

3.3 结果与分析

根据统一测控系统工作原理，设置频谱仪中心频率为中频，带宽设置为适当值。设置完成后，运行程序可自动进行系统链路的切换、矩阵自动巡检及数据的采集及记录，可较为方便的实现历史数据的快速比对。

4 结语

针对当前系统链路底噪标定工作的不足，本文利用 LABVIEW 虚拟仪器软件开发了舰载统一测控系统链路底噪自动测试系统，在不改变原系统设备重要技术状态的前提下，实现了舰载统一测控系统链路底噪的自动测试及记录功能，可以有效改进以往链路底噪标定存在的工作效率低下的问题。该方案软硬件已在常态化设备标校过程中得到了初步应用。

参考文献

- [1] 赵文华. 海上测控技术名词术语[M]. 北京: 国防工业出版社, 2013.
- [2] 戴润峰, 陈逢田, 李培华, 等. 我国小卫星综合测试技术发展展

望[J]. 航天器工程, 2021, 30(6): 145-152.

- [3] 杨倩倩. 地面测控系统自动化测试策略的研究[J]. 自动化应用, 2023, 64(7): 202-204, 208.
- [4] 王森强. 无线电测控装备质量控制方案及自动化测试技术分析[J]. 数字通信世界, 2023(8): 80-82.
- [5] 梁宇坤, 王晓君, 毕显婷. 基于一体化、通用化、自动化的测量系统地面测发控设计[J]. 导弹与航天运载技术, 2022(2): 80-83.
- [6] 王怀, 王强, 朱翔宇, 等. 遥感地面站自动化测试系统的设计与应用[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(7): 1-5, 23.
- [7] 杨乐平. LabVIEW程序设计与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- [8] 李江全. LabVIEW虚拟仪器从入门到测控应用130例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013: 1-30.
- [9] 路辉. 自动测试系统测试描述语言[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [10] 陈树学, 刘萱. LabVIEW宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [11] 贾帅, 张永波. 基于开关矩阵的卫星通信测控站多路频谱监测系统[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(11): 71-74, 88.
- [12] Keysight Technologies. E8257D/67D&E8663D PSG signal generators SCPI command reference[Z]. Keysight, 2015.
- [13] Keysight Technologies. Keysight signal generators programming reference[Z]. keysight, 2015.
- [14] Agilent Technologies. User's and programmer's reference volume 1 core spectrum analyzer functions PSA series spectrum analyzers[Z]. Agilent Technologies, 2011.
- [15] Agilent Technologies. User's and programmer's reference volume 2 one-button power measurements PSA and ESA series spectrum analyzers[Z]. Agilent Technologies, 2014.
- [16] 何谦, 燕楠, 燕帅. 舰载测控雷达高频接收机无人值守功能的设计[J/OL]. 计算机测量与控制:1-9. (2024-07-18)[访问日期缺失]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4762.TP.20240716.1908.036.html>.
- [17] 申龙. 基于LabVIEW控制的频谱分析仪自动校准系统的探究[J]. 科学技术创新, 2021(24): 66-67.
- [18] 王宏, 王永波, 韩春雪, 等. 基于LabVIEW的继电保护测试仪自动检测系统设计[J]. 山东电力技术, 2023, 50(9): 58-64.
- [19] 罗萍, 谌佳庆. 基于LABVIEW的多设备控制系统设计[J]. 信息技术与信息化, 2023(7): 36-39.
- [20] 冷梦琪. 基于LabVIEW和TCP的远程实验监测系统[J]. 工业控制计算机, 2024.37(6): 15-17.

Digital intelligence empowers ecological collaboration

Zhiyong Wang Hao Yu

Inspur Group, Jinan, Shandong, 250101, China

Abstract

With the acceleration of enterprise digital transformation, the procurement digital platform, as a key tool for enhancing supply chain management efficiency and reducing operating costs, is gradually becoming the core driving force for enterprises to achieve high-quality development. The procurement digital platform is the product of the extension of procurement management to the upstream and downstream of the industrial chain. By integrating technologies such as cloud computing, big data, artificial intelligence, and the Internet of Things, it provides all-round empowerment for both purchasers and suppliers. This article expounds the definition, development history, implementation direction and future trend of the procurement digital platform, explores how future procurement and supply chain management can develop in the direction of digitalization and intelligence, and analyzes how the procurement digital platform can promote the digital upgrading and innovative development of the industry for reference.

Keywords

Artificial intelligence; Big data; Internet of Things; AI

采购数字化平台的发展研究

王志勇 于浩

浪潮集团, 中国 · 山东 济南 250101

摘 要

随着企业数字化转型的加速, 采购数字化平台作为提升供应链管理效率、降低运营成本的关键工具, 正逐步成为企业实现高质量发展的核心驱动力。采购数字化平台是采购管理向产业链上下游延伸的产物, 通过融合云计算、大数据、人工智能、物联网等技术, 为采购方和供应商提供全方位的赋能。本文阐述了采购数字化平台的定义、发展历程、实现方向及未来趋势, 探讨未来采购与供应链管理如何向数字化、智能化方向发展, 分析采购数字化平台如何推动产业数字化升级与创新发展, 以供参考。

关键词

人工智能; 大数据; 物联网; AI

1 引言

在全球供应链复杂性加剧和数字化转型加速的背景下, 21 世纪初采用的以关注供应商整合、流程合规和交易价格为特征的“工厂模式”, 已经无法适应新形势下的要求^[1]; 传统采购模式面临需求波动响应滞后、供应商协同效率低下等痛点。基于此, 采购数字化平台应运而生, 通过整合 AI 等先进技术, 采购数字化平台正推动采购管理模式的深刻变革, 通过连接采购方与多层级供应商, 实现采购的全流程优化, 为企业与供应商之间的协同合作创造全新机遇, 助力企业在激烈的市场竞争中脱颖而出。

外部环境变化

1 数字经济渗透: 全球数字经济占 GDP 比重突破 50%, 中国制造业数字化渗透率达 45%

1 政策推动: 中国《“十四五”智能制造发展规划》) 对采购合规与协同提出新的要求

1 全球市场竞争: 受美国合规管控及市场竞争影响, 对企业生产所需核心部件的供应链韧性提出更高的要求

企业内生需求

成本压力: 原材料价格波动加剧, 制造业采购成本占营收比重普遍超 60%

效率痛点: 传统采购流程周期长 (平均 45-60 天)、人工干预多 (如订单跟踪耗时占比超 30%)

供应链韧性: 疫情后企业对多级供应商风险可视化需求激增, 78% 的大型企业增加数字化采购预算

2 采购数字化平台的演进历程

采购数字化平台前身是供应商关系管理系统, 其发展演进的背后是企业对于采购及供应链管理专业化诉求的提升。一方面企业的外部协同需求由单一的采购环节向研发、生产、物流、服务等节点延伸, 从与直接交易的供应商协同

【作者简介】王志勇 (1982-), 男, 中国河南周口人, 本科, 工程师, 从事企业数字化转型研究。

拓展至多级供应商协同。另一方面 SRM 系统基于真实交易数据,结合 AI 大模型,逐步积累起对内提供运营支撑,对外实现供应商协同的能力。以上两者共同促使了 SRM 进一步向采购数字化平台演化。

纵观采购数字化发展历程,可分为四个阶段:传统采购时代、ERP 采购时代、供应商协同(SRM)时代、数字化采购时代。数字化采购的核心价值在于通过数据驱动的精准决策和可持续发展能力,重塑企业在产业链中的角色——从被动执行者转变为价值整合者。未来采购将呈现三大趋势:

智能化: AI 决策覆盖 70% 以上采购场景(如智能审单、动态定价、动态物流跟踪、智能对账等);

生态化: 采购平台升级为产业级协同枢纽,实现跨企业资源调度;

绿色化: 碳足迹量化成为采购决策的核心指标,推动供应链向零碳转型。

3 采购数字化平台发展风向

3.1 采购各环节拆解及企业痛点分析

企业在采购流程中存在诸多痛点,如前期计划与生产环节中调度的及时与准确性,寻源环节的报价、比价,执行环节的物流选择与费用结算,以及后续质量管控、财务结算等。以寻源阶段为例,企业需要寻找合适的供应商,确保供应的质量、价格、交货时间等符合需求,可能面对供应商选择不当、供应不稳定、价格不合理等问题。对于高科技制造行业来说,近年来,在复杂的国际形势、中美贸易博弈的冲击下,全球电子元器件供应严重不足,间歇性的供应中断、高于正常水平的需求波动、成本增加以及劳动力问题逐渐凸显,对企业采购的敏捷性、柔性、韧性等提出更高要求。

3.2 由采购集中作业平台,向采购数字化平台推进

采购数字化从低到高可分为 4 个层级,业务层级、管理层级、跨部门协同层级、跨企业供应链协作层级^[2]。跨部门协同层级落实到系统实现上,可以采用采购集中办公平台的实现思路。集中化作业平台可以减少信息孤岛和重复工作,实现采购专属作业平台,将采购办公“人找事”变为“事找人”,员工可以更容易地共享和访问所需的信息,提高团队协作和沟通效率。

在集中办公作业门户基础上,通过与内外部系统集成,将所有采购活动集中管理,有助于降低采购过程中的错误和风险,提高采购流程整体的效率和质量。通过与内外部系统集成,进一步向采购数字化平台推进。

和外部系统集成: 通过敏捷供应链,加强与供应商生产计划,库存、质量等数据共享,实现供应商数据的高效传递,便于供需双方及时做出响应;

和内部系统集成: 将采购数字化平台打造为业务处理前端,ERP 系统作为数据接收终端,减少跨系统操作场景。

通过流程看板和运营监控大屏,可随时查看业务运营数据,为中长期的业务决策提供重要的数据指标。

3.3 实现供应商智能画像,共建供应链合作伙伴生态

基于采购数字化平台建设的供应商智能画像,可以实现对供应商行为的大数据分析与数字化透视,全面实现对供应商真实情况的监控,进一步实现供应商管理的差异化、可视化、智能化。例如企业可以基于画像结果对供应商进行科学合理的分级分类,实施差异化管理,最大化降低供应商管理风险。

搭建供应商考核指标体系,基于数字化采购平台,集成 ERP、QMS、WMS 等系统,实现月度、季度考核指标自动输出,实现供应商的周期性智能化评价;供应商稽核模块和供应商年度评价功能可以帮助企业识别可能出现的供应链风险,获取有关市场趋势和竞争情况的信息,保证供应链的稳定性。

3.4 供需双方生产环节协同,共建高质量供应链网络



图 1：高质量敏捷协同架构图

随着采购数字化发展的逐步深入,采购方与核心供应商协同合作的诉求逐步增强。在此背景下,采购数字化平台除面向采购方提供数字化应用外,更将能力拓展至供应商。通过为供应商提供研发协同、质量协同、委外协同、设备协同等合作板块,采购数字化平台既帮助供应商提升了自身的数字化管理能力,又能够反哺采购方,助力供需双方降本增效,共同打造高质量的供应链网络。

加强预测和备货的协同,建立物料预测的滚动发布机制,协同供应商基于预测进行生产备货,提高预测的准确性,带动供应商提升供应链整体的响应速度和效率。

供应链管控和控制前置,对供应商的关键生产节点、生产进度进行跟踪管理,确保供应商能按期履约交货。

通过和供应商在预测备货、订单交期、生产进度跟踪、库存信息等方面的协同和数据共享,为计划评审、订单评审、订单排产、缺料报警提供数据支撑。建立供应商协同体系,采用端到端的数字化采购计划,企业每年可节省 20%~30% 的成本,交易性采购可减少约 30% 的时间^[3]。

3.5 利用第三方资源及能力,共建供应链融合应用

采购数字化平台可以提供 iPaaS 能力满足企业跨系统连接的诉求,通过与企业自有系统进行集成,实现跨系统的数据交互。同时,通过引入第三方生态服务商,采购数字化平

台可以为企业和供应商提供更多可扩展的智能化功能。随着未来场景化应用的深入,企业可将第三方资源和能力与自有产品能力进行深度整合,并以标准化的形式进行输出,可以为业务带来更流畅的使用体验与更深度的价值提升。

在框架协议、采购订单、合同等单据的签署业务流程中,通过电子签章实现在线签署,提升采购效率、降低运营成本、强化合规管理的关键技术手段。电子签章是数字化采购从“流程线上化”迈向“全链路智能化”的关键基础设施,其价值不仅在于效率与成本的优化,更在于构建可信的数字化商业环境。

同时,应用OCR技术打通了采购流程中“数据采集-处理-应用”的闭环,是数字化采购从“流程线上化”向“决策智能化”演进的关键基础设施。未来,随着AI技术的进步,OCR将不仅是“效率工具”,更将成为采购智能化的“感知入口”。

3.6 应用大数据及人工智能技术,赋能采购由数字化向智能化升级

采购数字化平台在提供管理工具和连接能力的基础之

上,叠加大数据与人工智能技术,为供需双方提供数据驱动的AI赋能。

应用层面,AI+采购的典型场景可以分为采购流程、供应商管理、采购决策及风险管理四大板块。利用AI技术,采购数字化平台不仅能够促进采购流程的自动化、智能化,还能对供应商进行科学地评估与筛选,通过建立实时的监测及分析体系,针对风险问题实时预警,为采购及供应链决策提供有效的数据支持。

技术层面,采购数字化平台将进一步向自动化、智能化方向演进。一方面,采购数字化平台作为连接企业与供应商的桥梁,与企业内部各业务系统之间存在相互连接的诉求。可以利用RPA、iPaaS、物联网等技术,打通系统间壁垒,并对业务流程进行梳理及定义,实现采购及供应链流程的自动化。另一方面,AIGC领域的突破性进展为采购数字化平台带来了新的变革,基于平台所积累的专业语料、高质量数据迭代行业垂直大模型,不仅能够为用户带来更便捷的使用体验,更有助于促进供应链决策的智能化水平。



图 2：采购数字化平台架构图

4 结论

制造业作为实体经济最重要的组成部分,推动制造业的高质量发展是近年来国家政策关注的重点方向。在中美贸易博弈、核心部件断供压力持续上涨的背景下,国家期望通过数字化实现制造业的转型升级,强化供应链的韧性,以应对外部市场环境的变化。在当前的数字化转型洪流中,不拥抱数字化的采购模式就会被淘汰。因为采购负责链接内外部供应网络,是供应链数据流交互的枢纽,管理着端到端的价值链。数字化时代不能缺少数字化供应链,数字化供应链不

能缺少数字化采购。基于此,建设数字化采购平台更具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 黄文霖.《数字化采购:采购转型升级的实践指南》[M].北京:人民邮电出版社,2023:007-008
- [2] 姜宏锋.《采购4.0:采购系统升级、降本、增效实用指南(第二版)》[M].北京:机械工业出版社,2019:015-016
- [3] 宫迅伟.《采购2025:数字化时代的采购管理》[M].北京:机械工业出版社,2018:445-446

Practice on Improving One-Pass Dyeing Rate Based on Zhirantong Cloud Platform

Xinbing Liu

Shanghai Moncler Information Technology Co., Ltd., 201803, China

Abstract

Aiming at the common pain points in the printing and dyeing industry, such as complex dyeing processes, low one-pass dyeing rate, low proofing efficiency, and difficult color management, this study proposes and verifies the “Zhirantong” cloud platform solution. The platform deeply integrates big data and intelligent algorithms, integrates functional modules such as intelligent color matching, intelligent proofing, intelligent production, process optimization, real-time color monitoring and early warning in the process, and intelligent color database, and constructs a full-process digital management and control system from accurate formula calculation to real-time optimization of the production process. Application results show that the Zhirantong cloud platform can significantly improve the one-pass success rate of dyeing, greatly shorten the production cycle, effectively reduce rework costs and raw material consumption, and realize standardized management and accurate traceability of dyeing and finishing colors, providing technical support for the digital transformation of the printing and dyeing industry.

Keywords

Zhirantong; One-pass Dyeing Rate; Precise Color Control; Smart Printing and Dyeing; Digital Transformation

基于智染通云平台的一次染成率提升实践

刘新兵

上海蒙克信息科技有限公司，中国 · 上海 201803

摘 要

针对印染行业普遍面临的染色工艺复杂、一次染成率低、打样效率低及颜色管理困难等痛点问题，本研究提出并验证了“智染通”云平台解决方案。该平台深度融合大数据与智能算法，集成智能配色、智能打样、智能生产、工艺优化、过程颜色监测与预警、智能色库等功能模块，构建了从配方精准计算到生产过程实时优化的全流程数字化管控体系。应用结果表明，智染通云平台能显著提升染色一次成功率，大幅缩短生产周期，有效降低返工成本与原料消耗，并实现染整颜色的标准化管理与精准追溯，为印染行业数字化转型提供了技术支撑。

关键词

智染通；一次染成率；颜色精准控制；智慧印染；数字化转型

1 引言

在数字经济时代，大数据、云计算和人工智能等技术的快速演进正推动着我国各行业实现深刻的变革与创新。工信部《纺织工业数字化转型实施方案》已明确要求：2027 年规上企业关键业务数字化比例超 70%，培育 60 家标杆企业。政策重点支持染整全流程智能化改造，推动设备互联与工艺优化。纺织印染业作为典型的高能耗、高水耗行业，每生产 1 吨纺织品就会排放 17 吨二氧化碳，消耗约 100-200 吨水。这促使各国制定了更严格的环境保护法及纺织品生态标准^[1-2]。我国印染行业要求单位产品水耗从 1.5 吨 / 百米降至 1.2 吨以下，废水回用率超 45%。企业需要投入更多的资

金和精力来处理污水等污染物。染整数字化是政策合规、技术红利与市场倒逼的共同产物，其深化需突破成本桎梏、构建开放技术生态。



印染行业作为纺织供应链的关键环节，长期以来面临着工艺复杂、一次染成率低、能耗高的挑战。研究发现，传

【作者简介】刘新兵（1981-），男，中国上海人，硕士，工程师，从事纺织供应链颜色数智化研究。

统电脑配色一次染成率低，这是因为配色配方是根据选定染料不同浓度预先染色的结果计算出来的，计算给出所需的数据，这些数据的精度决定了染色配方的质量。因此，需要高精度、重现性好的染色工艺。同时，被染物与标准色样材料表面情况的差异会影响配色配方的质量，为了有效地提高一次配色的质量，采用精明配色（Smart Match）的计算方法，即使恶劣环境下，也能将一次配色成功率提高到90%以上^[3]。

而在实际生产中，现场颜色管理缺乏系统性，跨批次、跨设备色差控制困难，返工率高造成资源浪费严重与成本攀升，严重制约着染整企业生存与发展。提升染色一次染成率已成为染整行业提质增效的关键突破口。本研究聚焦于“智染通”云平台，探索其如何利用数字化与智能化技术重构染色流程，实现一次染成率的突破性提升。

3 智染通云平台 – 智慧印染生态解决方案

上海蒙克信息科技有限公司（以下简称“蒙克”）自主研发的“智染通”云平台主要包括智能配色、智能打样、智能生产、工艺优化、过程颜色监测与预警、智能色库等功能模块，贯穿于工厂颜色订单、打样、复样、生产、品控以及颜色管理各个环节。该平台通过数字技术有效整合颜色生产各要素数据，实现颜色、配方、染料、工艺、人员、设备等要素互联，并结合工厂业务流程建立标准化生产流程，平台自动积累每一次生产经验，通过深度学习算法自动优化，不断提升染色一次染成率。

在此基础上，“智染通”云平台通过物联网和5G技术打通了第三方系统，突破颜色传输壁垒，与第三方软硬协同，如企业资源计划即ERP（Enterprise Resource Planning）、生产执行系统即MES（Manufacturing Execution System）、测色仪、滴液机以及车间主要生产设备之间互联互通，实现颜色生产数据的自动采集与传输，并对积累的数据清洗保存，通过专利算法与智能分析，将经验数据反作用与生产决策与工艺推荐优化等。



图 1：智染通 – 全流程颜色数智化闭环管控

系统主要功能模块

智能配色。在染色过程中，同一目标颜色，由于织物

基材的差异、染化料的差异、工艺差异、设备以及人员操作差异，都有可能最终导致的结果不理想。智染通配色算法充分考虑了这些影响上色的差异因素，对织物、染化料、工艺、设备等各因素进行数字化管理，并加持智能化算法，能不断提升配方的准确率和合理性。同时，通过对实验室或生产线实际染色结果的积累，以精明配色算法快速修正由于多种因素造成的理论配方在实际生产中产生的偏差，显著提升了第一方的准确率。

智能打样。“智染通”云平台下的智能打样模块可结合实验室业务需求，建立标准化打样流程，集成实验室ERP、测色仪、滴液机系统，实现打样订单一键导入，快速进入打样工作台进行精准配色，配方一键传输至滴液系统，不再依托人工手动输入，解放了人工输入劳动，避免一些人为误差，同时打样结果在线提交审批，颜色配方全程在线精准传递，实现了无纸化打样。

智能生产。随着生产数据自动积累，通过智能AI算法+多维度变量建模，精准计算头缸一次染成配方。通过智能匹配+工艺数据库联动，实现一键生成高效率工艺处方单，自动适配最佳生产工艺。例如，在智染通系统输入目标颜色及要求，智染通结合该工厂的标准化工艺、染化料批次、坯布批次、历史生产结果，充分考虑纤维差异、考虑复样与头缸工艺、设备差异、考虑染化料批次差异、考虑后整环节变化与历史生产情况，智能计算一次染成配方，提高了小样到大货配方的重现性。

工艺优化。对染厂标准工艺进行数字化管理，在线录入工艺参数，平台将自动生成工艺曲线，形成企业基础工艺库，为现场标准化作业提供线上查询与指导。在生产过程中平台可实时监测工艺执行情况，分析实际执行的差异，为快速溯源，工艺优化提供数据依据。同时可自动更新优化最新工艺，自动匹配历史最优工艺，避免历史问题重复出现，支持在线查看编辑并打印工艺处方单。

过程颜色变化监测与预警。智染通系统通过实时的颜色数据采集与分智能析预测，实现了染色质量从被动检测到主动干预的变革。采用光谱测色仪在线监测全流程或关键环节如染色后、整理后织物的颜色变化情况，实时监测过程颜色变化趋势。基于历史数据分析预测新订单色差趋势并推荐优化工艺参数。提高生产质量稳定性，减少不必要的投入。同时根据颜色变化趋势智能优化生产配方或工艺，提高一次染成率。

智能色库。整合全流程颜色数据，构建工厂颜色配方、工艺技术数据知识库，云端统一管理颜色数据和配方数据，可实现跨工厂、多化验室、多车间数据互联互通，技术经验共享。通过深度学习优化，不断提高一次染成率。

3 创新性经验与应用成效

智染通方案通过“标准筑基→算法提效→生态协同”

的三阶升级路径,系统性破解了印染行业一次染成率低、资源浪费大、管理粗放的痛点。

3.1 创新性经验

3.1.1 全流程数据贯通与生产标准化建设。

整合颜色关键影响因素,通过数字技术打通颜色数据传输瓶颈,消除经验依赖,基于染厂业务流程构建可复用的标准化生产体系。以全量全要素联接与实时反馈,提高颜色一致性,实现颜色/配方/工艺标准化,统一标准操作流程和高效协同,减少人工干预,提升效率;

颜色数据标准化:关键影响因素数字化管控:协同分光测色仪器,实现多源颜色数据统一采集同步,实现对实物色的数字化管理。

标准工艺数字化:根据染色工艺、后整理工艺等工艺结构数据,自定义录入工艺步骤,系统自动生成工艺曲线,为现场标准化作业提供线上查询与指导。

标准化打样/生产流程:通过集成测色设备、订单管理系统和滴液系统,实现实验室从打样任务分配、颜色数据采集,精准出方与打样全流程数字化一体化管控,大大减少了传统的手工反复抄录工作,通过系统深度学习算法模型持续自迭代,不断提高打样准确性和管理效率

3.1.2 大数据+算法驱动的一次染成率提升

“智染通”云平台以专业算法模型覆盖100w+颜色、工艺等数据,充分考虑了织物、染化料、工艺、设备等差异,对染料批差、坯布批差进行管控,根据批差预警修正配方浓度,消除染料差异导致的色偏。同时,结合企业实际生产结果,系统智能计算与该工厂生产环境相匹配的配方,一次染成率达91.5%以上。对于目标样与实染样的差异,通过修色算法智能计算色差与偏向,平均1-2轮修正差异。每次染色数据自动积累,为下一次生产提供数据参考。

3.1.3 深度学习赋能的染整生态进化

通过深度学习持续优化,持续探索最优参数组合,为生产决策提供数据支撑。云端统一管理颜色数据和配方数据,建立企业专属染色技术知识库。以数据价值赋能,实现跨工厂、多化验室、多车间数据互联互通,技术经验共享。

3.2 应用效果

技术效益:“智染通”云平台通过模块化架构设计与工艺自适应算法,已实现对浸染、轧染、冷轧堆等多种染色工艺的智能支持。当前已在国内数十家染厂客户实现落地应

用,适用染整织物范围覆盖面料、纱线、羊毛等,助力打造智慧印染生态工厂。

经济效益与生态效益,智能配方功能赋能高效配色修色,减少对老师傅经验依赖,精明第一方准确率可达92%以上,实现实验室打样平均1-3轮核可。智能打样以标准化打样流程实现了快速、精准打样,打样效率提升了58%,同时提升了颜色数字化管理水平,为实验室优化管理决策提供数据依据。同时,首创的头缸一次染成配方计算,实现了复样配方到生产配方的精准转化。浙江某一车间使用“智染通”半年后一次染成率从52.65%提升到70%,提升了17.35%。目前该车间每天染色100缸左右,每天生产30吨布,总计可减少约5吨布的修色和加色,共节省染色用水500吨,减少废水产生150吨,每年约减少二氧化碳排放677吨,助力工厂实现可持续生产。

数据积累的复利效益。智染通通过构建云端颜色与配方数据知识库,实现跨工厂、多化验室、多车间的数据互联互通,打破新厂技术壁垒,实现企业技术经验在新厂复制再利用,快速提升新厂一次染成率。同时“智染通”云平台打造的智慧印染生态模式可作为数字化生产的标杆案例为整个染整行业复制提供标准化路径,推动产业集群从传统模式走向生态共赢。

4 总结与展望

“智染通”智慧印染生态的构建遵循以数据驱动到持续进化的有机生长逻辑,其核心在于通过数据资产积累与算法迭代优化实现生态能力螺旋式上升。随着生产数据的不断积累增加,以更多的数据和反馈为智慧印染体系提供更有用、易用的数据支撑,推动智染通平台算法更加精确生长。在追求染色一次染成率的过程中,可能会遇到各种问题和挑战。通过智染通智慧印染赋能,通过持续创新、管理优化与市场快速响应能力的系统化建设,方能在动态竞争环境中持续保持竞争优势。

参考文献

- [1] Mock G N.The textile dye industry in the United States [J].Rev. Prog.Color.,2002(32):80-87.
- [2] Parton K.The dyeing of wool:past,present and future[J].J.S.D.C.,1998,114(1):35-37.
- [3] 董振礼,郑宝海,舒桂芬.测色与计算机配色[M].北京:中国纺织出版社,2017.

Discussion on the Application of 5G Communication Technology in Electronic Engineering

Ruican Xu Liping Lu Junwei Mo Shaocong Zhang Min Sun

China Mobile Communications Group Guangdong Co., Ltd. Guangzhou Branch, Guangzho, Guangdong, 510000, China

Abstract

With the accelerated commercialization process of the fifth-generation mobile communication technology, its innovative application in the field of electronic engineering is triggering profound changes in the industry. 5G technology, with its three core features of ultra-high speed, millisecond-level latency and millions of connection densities, provides brand-new solutions for electronic engineering branches such as smart hardware design, industrial automation and the Internet of Things. Based on this, this paper will conduct a systematic analysis of the coupling mechanism between the 5G communication protocol stack and electronic engineering practice. Firstly, it elaborates on the significance of the application of 5G communication technology in electronic engineering, and then explores its application in electronic engineering, aiming to provide references for achieving more efficient data processing, more refined resource management, and more intelligent services.

Keywords

5G communication technology Electronic Engineering “Application

5G 通信技术在电子工程中的应用探讨

徐锐灿 卢利平 莫俊威 张少聪 孙敏

中国移动通信集团广东有限公司广州分公司, 中国 · 广东 广州 510000

摘 要

随着第五代移动通信技术的商用化进程加速, 其在电子工程领域的创新应用正引发行业深刻变革。5G 技术凭借超高速率、毫秒级时延及百万级连接密度三大核心特性, 为智能硬件设计、工业自动化、物联网等电子工程分支提供了全新解决方案。基于此, 本文将对 5G 通信协议栈与电子工程实践的耦合机制进行了系统性分析, 首先阐述了 5G 通信技术在电子工程中的应用的重要性, 随后探讨了 5G 通信技术在电子工程中的应用, 旨在为实现更高效的数据处理、更精细的资源管理、更智能的服务提供参考。

关键词

5G 通信技术; 电子工程; 应用

1 引言

第五代移动通信技术的规模化商用正在深刻重塑电子工程领域的技术架构与应用场景。在智能电网与宽带系统方面, 5G 网络切片技术保障了电力调度与通信业务的安全隔离, 数据传输达到军工标准。技术创新维度呈现出多技术融合特征: 大规模 MIMO 技术通过超密集天线阵列大幅度提升频谱效率, 支撑每平方公里百万级设备连接; 人工智能算法与 5G 结合优化了芯片设计流程。这些突破性进展共同构建起电子工程领域“连接 - 计算 - 智能”三位一体的新型技术范式。

【作者简介】徐锐灿 (1985-), 男, 中国广东广州人, 本科, 从事无线通信工程管理研究。

2 5G 通信技术在电子工程中应用的重要性

2.1 有助于提升数据传输效率

在电子工程领域, 5G 通信技术通过重构底层传输架构实现了质的飞跃。其毫米波频段与大规模 MIMO 天线的结合, 使单基站可支持百万级终端连接密度, 较 4G 网络提升近百倍吞吐量。这种突破性进展直接解决了传统电子系统中多设备并发通信时的信道拥塞难题, 满足精密制造对时序同步的严苛要求。同时, 5G 网络切片技术能够为不同电子应用划分专属虚拟通道, 如医疗影像传输可分配高优先级带宽资源, 而环境监测数据则采用弹性带宽策略, 这种差异化服务机制显著优化了频谱利用率^[1]。

2.2 有助于推动智能化转型

5G 技术正在重塑电子工程的智能化发展路径。其泛在连接能力使分布式智能体的协同计算成为可能, 典型如边缘

计算节点与云端 AI 的深度协作：本地设备通过 5G 上行链路将原始数据发送至边缘服务器进行预处理，再经核心网传输至云平台完成模型训练，这种“端-边-云”三级架构大幅降低了智能系统的响应延迟。在智能家居领域，5G 支持的设备自主发现与即插即用特性，使得异构家电能够自动组建自适应网络，用户行为数据通过家庭网关聚合后，可实时生成个性化服务策略。这种变革不仅扩展了单个设备的智能边界，更构建起系统级的认知能力。

2.3 有助于促进产业升级

5G 通信技术正在催化电子工程产业链的价值重构。在硬件层面，基站 AAU（有源天线单元）的密集部署催生了对氮化镓功放芯片的新需求，推动第三代半导体材料研发加速。软件层面，5G 网络功能虚拟化（NFV）促使传统通信设备商向云原生解决方案转型。更为关键的是，5G 与垂直行业的深度融合催生了新型商业模式，如制造企业可通过 5G 网络出租设备实时工况数据，形成“产品即服务”的价值链条。这种变革使电子工程从单纯的技术供给方，转变为产业生态的核心赋能者^[2]。

3 5G 通信技术在电子工程中的应用

3.1 工业自动化和智能制造

5G 与工业互联网融合加速制造业数字化转型。设备维护领域通过增强现实技术支持远程实时诊断，大幅提升维修效率。柔性生产线场景采用边缘计算架构实现快速产线切换与多型号并行生产。物流环节引入自动化搬运设备显著优化仓储周转与分拣精度。网络切片技术为不同工业场景提供定制化服务质量保障，满足运动控制毫秒级时延与高清质检等差异化需求。在设备互联层面，新型局域网技术替代传统工业总线，实现大规模无线组网并降低布线成本。质量控制环节应用超高清检测系统提升微缺陷识别能力。数字孪生技术结合时间敏感网络实现设备系统动态仿真。当前重点解决工业协议转换问题，行业预测显示未来五年将承载近半数工业控制流量，成为智能制造核心支撑技术。在工业自动化领域，5G 技术的深度应用正在重构传统制造模式。网络切片技术的持续演进使得不同工业场景能够获得差异化的服务质量保障，特别在需要确定性时延的运动控制场景展现出独特优势。设备维护体系通过融合增强现实与混合现实技术构建起三维可视化诊断平台，专家知识库的云端部署实现了故障特征的智能匹配与解决方案推送。柔性制造系统依托 5G 网络的可编程特性，不仅实现生产线的快速重构，更通过数字孪生技术对工艺参数进行虚拟验证，大幅缩短新产品导入周期。物流系统的智能化升级体现在自主导航设备的群体协同上，多智能体调度算法结合 5G 超低时延特性，实现仓储资源的动态优化配置。值得关注的是，工业现场总线向全 IP 化架构的转型过程中，时间敏感网络与 5G 的融合产生了新型工业通信协议栈，这种架构既保留了传统工业网络的确定

性特征，又具备无线网络的灵活部署优势。在质量控制维度，多光谱成像技术与 5G 大带宽的结合，使表面缺陷检测从二维平面扩展到三维形貌分析，深度学习算法的在线部署进一步提高了缺陷分类的准确性^[3]。

3.2 智能电网

5G 技术重构电力系统通信架构。配电环节实现毫秒级故障自动处理与供电恢复，虚拟专网显著降低保护系统部署成本并提升巡检效能。输电监测领域结合空间定位技术解决传统巡检数据延迟问题。新能源场景支持发电设备实时监控与效率优化，混合组网降低通信故障率。变电站应用多传感器机器人实现设备状态智能分析，减少高危人工操作。网络切片技术在配网保护领域实现微秒级同步精度，较传统方案降低部署成本。随着新标准推进，终端模组功耗将持续优化，印证了其在构建新型电力系统中的关键技术地位。智能电网领域，5G 通信架构的创新应用正在推动电力系统向软件定义模式转型。配电自动化系统的革命性变革体现在分布式智能终端的对等通信能力上，这种基于 5G 的网状拓扑结构打破了传统主从式控制的局限性，使故障区段的快速定位与隔离不再依赖主站决策。新能源并网场景中，5G 网络的高精度同步特性解决了分布式电源的相位协调难题，功率预测算法结合实时气象数据传输，显著提升了可再生能源的消纳能力。输电线路监测体系通过空天地一体化网络架构，将无人机巡检、卫星遥感和地面传感终端的数据流有机整合，人工智能图像处理引擎的云端部署实现了隐患特征的自动识别与风险评级。变电站运维模式的数字化转型表现在智能巡检机器人的集群化应用上，这些搭载多模态传感器的自主移动单元，通过 5G 网络构建起设备状态的全息感知网络，绝缘劣化、机械松动等潜伏性缺陷的早期发现率得到质的提升。在用电信息采集方面，海量智能电表构成的物联网通过 5G 大规模机器通信特性实现分钟级数据汇聚，基于用电行为分析的负荷预测模型为需求侧响应提供决策支持。特别值得注意的是，5G 与电力专用通信协议的融合产生了轻量化通信栈，这种优化设计在保证控制指令可靠传输的同时，将终端设备的能耗降低到传统方案的十分之一。

3.3 远程医疗和医疗设备

5G 网络打破医疗设备空间限制。远程手术实现跨地域精准操作，超声检查获得实时手法指导。应急场景中智能设备承担防疫任务，虚拟会诊缓解资源紧张。医学影像实现高速传输与实时共享，提升诊断准确率。可穿戴设备连接海量传感器实现患者数据连续监测。急救场景实现生命体征数据超前传输。医疗电子设备融合进入系统集成阶段，数字孪生技术支持远程手术训练，移动急救单元实现影像实时回传。专网服务质量保障确保关键医疗信号稳定传输，云端处理系统提升基层诊断水平。新型感知技术将推动居家医疗设备升级发展。在远程医疗领域，5G 网络的低时延、高可靠性特征正推动医疗设备互联进入全新发展阶段。医疗影像的实时

传输突破传统有线网络的物理限制,使高清医学影像的跨机构共享成为可能,这从根本上改变了传统分级诊疗模式的空间约束。手术机器人的精确控制依赖于网络端到端时延的毫秒级保障,5G网络的确定性传输特性为远程精准操作提供了技术基础。在急诊医学场景,院前急救系统通过5G网络实现患者生命体征数据的实时回传,急诊科医生可提前制定抢救方案,大幅缩短黄金抢救时间窗口。慢性病管理领域,持续监测设备的微型化与5G海量连接能力的结合,使居家医疗监护系统的覆盖范围和服务深度得到显著拓展。医疗人工智能的发展也受益于5G网络的高速数据传输能力,分布式机器学习算法可以在保护患者隐私的前提下,实现跨机构医疗数据的协同分析与模型训练。值得注意的是,医疗专网的安全隔离机制和QoS保障技术,确保了关键医疗业务在网络拥塞情况下的传输优先级,这种差异化服务能力是传统网络难以实现的。未来医疗电子设备将向着更智能、更互联的方向发展,5G网络作为底层通信基础设施,将持续赋能智慧医院建设、远程手术、移动急救等创新应用场景。

3.4 宽带无线通信系统

5G通过高频段与波束管理技术突破传输速率瓶颈。双频协同机制扩展频谱覆盖范围,大规模天线阵列显著提升频谱效率。工业场景采用多频组网解决设备协作难题,新波形技术优化边缘用户速率体验。系统实测性能达到传统基站数倍水平,射频模组为宽带通信提供硬件支撑。演进技术正在重塑设备架构,国产化射频模组提升能效水平,高度集成芯片增强处理能力。先进编解码方案保障高速传输可靠性,工业场景实现微秒级设备同步控制。新型信号反射技术在不增加基站密度前提下扩展高频覆盖,测试系统达到超高传输速率,为下一代太赫兹通信奠定技术基础。在宽带无线通信系统方面,5G技术的演进正在重构传统无线网络架构。高频段通信技术的成熟应用大幅提升了频谱资源利用效率,智能波束赋形算法有效克服了毫米波传播损耗大的物理限制。双频协同机制通过高低频段的互补优势,实现了网络覆盖与容

量的动态平衡。大规模天线阵列技术的商用部署显著提升了频谱效率,使单基站吞吐量达到传统系统的数量级提升。在工业互联网场景,确定性网络技术解决了设备间精确时间同步的难题,为运动控制等时延敏感型业务提供了可靠的无线传输方案。新型调制编码技术的应用进一步优化了边缘用户的速率体验,智能反射面等创新技术在不增加基站密度的前提下扩展了高频覆盖范围。射频前端模组的集成化设计降低了设备功耗,为终端小型化提供了硬件基础。基带处理芯片的算力提升支持更复杂的信号处理算法,使系统能够自适应调整传输参数以应对复杂的无线环境。特别值得关注的是,5G与太赫兹通信技术的融合研究已取得阶段性进展,为下一代移动通信系统的超高速率传输奠定了技术基础。这些技术创新共同推动着无线通信系统向更高速率、更低时延、更高可靠性的方向持续演进。

4 结语

5G通信技术作为新一代信息基础设施的核心支柱,正通过其高速度、低时延和大连接特性深度重构电子工程的技术范式。同时,5G与AIoT的融合催生了智能网络切片、通感一体等创新架构,使电子系统具备自适应资源配置和超视距感知能力。然而,技术革新也伴随多重挑战,面对这些挑战,需构建“研用协同”生态——通过6G预研储备太赫兹通信技术,发展无源物联降低仓储管理能耗,并借助AI实现网络性能的实时监测与智能优化,方能持续释放5G在电子工程中的变革潜力。

参考文献

- [1] 蔡建华.电子信息工程技术在智能通信中的应用[J].中国新通信,2024,26(22):10-12.DOI:10.
- [2] 褚静静,王霞.5G通信技术在电子信息工程中的应用挑战与对策[J].中国宽带,2024,20(4):166-168.
- [3] 李衍一.5G通信技术在电子信息工程中的应用[J].集成电路应用,2024,41(6):214-215.

Design of Home Audio System Based on ADI DSP

Kang Zhou

Shenzhen Zhouzhoukang Audio Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 530022, China

Abstract

With the continuous growth of the demand for home audio entertainment, the design of high - performance home audio systems has become a research hotspot. Focusing on this issue, this paper conducts the design work of a 4 - channel home audio system based on the ADI DSP chip. The system is equipped with a visual display screen, which constructs an intuitive and convenient human - machine interaction interface, effectively enhancing the user operation experience. In terms of system architecture design, the STM32 MCU is selected as the main control chip to be responsible for the overall coordination and control of the system. Meanwhile, the ADAU1701 model DSP of ADI Company is used as a professional audio signal processing platform, which can process audio signals efficiently and accurately. In terms of audio source input, this audio system shows excellent compatibility, supporting multiple input modes such as Bluetooth wireless, USB, optical fiber, coaxial, digital audio, and analog audio sources, which can meet the diverse needs of different users. Through testing and evaluation, this audio system can effectively meet the basic needs of home audio entertainment and has important application value and promotion significance.

Keywords

ADAU1701, SigmaStudio, DSP, Audio

基于 ADI DSP 家用音响系统设计

周康

深圳市周周康音频科技有限公司，中国 · 广东 深圳 530022

摘 要

随着家庭音频娱乐需求的不断增长，设计高性能家用音响系统成为研究热点。本文聚焦于此，基于ADI DSP芯片开展了一款4声道家用音响系统的设计工作。该系统具备可视化显示屏，构建了直观且便捷的人机交互接口，有效提升了用户操作体验。在系统架构设计上，选用STM32 MCU作为主控制芯片，负责系统整体的协调与控制；同时采用ADI公司的ADAU1701型号DSP作为专业的音频信号处理平台，能够对音频信号进行高效、精准的处理。在音源输入方面，本音响系统展现出出色的兼容性，支持蓝牙无线、USB、光纤、同轴、数字音频以及模拟音源等多种输入方式，可适应不同用户的多样化需求。经测试与评估，该音响系统能有效满足家庭音频娱乐的基本需要，具有重要的应用价值和推广意义。

关键词

ADAU1701；SigmaStudio；DSP；stm32；音响

1 引言

如今，随着生活水平提升，家庭对高品质影音娱乐的需求显著增长。在家庭音频设备发展中，有线音响曾长期主导市场，但当前多数有线音响存在局限。传统音响多只有3.5mm 输入接口，适用于简单音频连接；桌面 USB 音响虽有连接方式创新，本质仍是单一接口产品。

近年来，蓝牙音响随无线通信技术发展而出现，其无线连接摆脱了音频线束缚，带来自由使用体验。然而，市场上多数蓝牙音响仅具单一蓝牙功能。在家庭使用场景中，传统单一接口有线音响和新兴单一功能蓝牙音响，都难以满足家庭和个人对多种音源输入的需求。

用户希望同时连接电视、影碟机、手机等多种音频设备。传统音响接口单一，无法适配不同设备输出；蓝牙音响对无蓝牙功能的电视或影碟机无能为力，限制了音频设备的通用性和实用性。

为解决上述问题，本设计围绕家庭音频消费市场需求，开发具备多种音频输入方式的音响系统。该系统支持无线蓝牙连接，方便手机、平板等设备传输音频，还支持 USB、光纤同轴等有线输入，能兼容多种音频设备，提供灵活连接方案。

在实际应用上，此音响系统适用性广泛。可作电视外接音响提升播放效果，也可作影碟机外接音响带来环绕声体验，还能通过手机蓝牙传输音乐。在输出部分，该音响系统连接4个扬声器，包括L左声道、R右声道扬声器和两个低音音箱。这种配置可实现丰富音频表现，营造逼真环绕声。左、右声道扬声器负责还原主要音频信息，低音音箱增强低

【作者简介】周康（1992–），硕士，高级工程师，从事机器学习，图像分类，音频信号处理，多媒体技术研究。

频音效，提升听觉享受。

综上所述，本设计针对家庭音频市场问题提出创新方案，通过支持多种音源输入和合理扬声器配置，有望满足高品质、多样化音频消费需求，为家庭影音娱乐带来新机遇。

2 系统架构

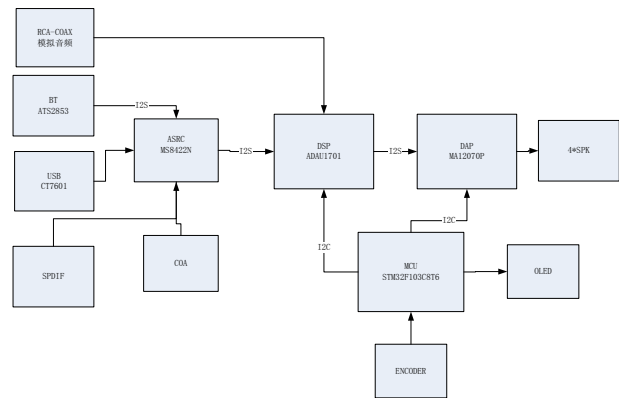


图 1 系统框图

2.1 ADAU1701 DSP 模块

ADAU1701 DSP 模块是本音频系统的核心，负责数字音频信号处理，提升音频质量与用户听觉体验。它能实现底噪消除。音频信号传输与处理中，底噪影响纯净度和清晰度，该模块凭借先进算法和技术识别并去除底噪，保证输出音频纯净。在音量控制上，模块可根据用户需求或系统预设，精确且平滑地调节音量。EQ 均衡处理是其重要功能。通过调整音频信号不同频率段的增益，优化频率响应，满足不同音频内容和用户偏好，让音色更丰富饱满。

数字音频矩阵功能可灵活配置和切换多个音频输入、输出通道，实现信号交叉路由，满足多样化处理需求。此外，模块支持内部音源切换。用户能按需在不同内部音频源间方便切换，增强了系统灵活性和实用性。

2.2 STM32F103C8T6 微控制器模块

STM32F103C8T6 微控制器模块是本系统的主控制器，功能丰富，保障音频系统稳定运行与功能达成。一方面，它借助 I2C 总线和 ADAU1701 DSP 通信，可把预编程序参数下载到 DSP，使其按特定算法处理音频信号，还能实时控制 DSP 内部音频模块参数，如音量、音频均衡等，精确调控音频处理。另一方面，该模块能处理外部输入设备。它接收旋转编码器按键输入信号，用于音量调节、模式切换等，实时监测处理这些信号，转化为事件消息并按系统规则逻辑处理。此外，它负责驱动 OLED 显示屏，将处理后的音量、音频模式、输入源等信息直观显示，为用户提供操作反馈与系统状态，提升人机交互友好度与便利性。

2.3 ATS2853 蓝牙模块

ATS2853 蓝牙输入模块采用了炬芯平台的蓝牙片上系统（SOC）模块。其主要功能是实现无线音频信号的转换与

传输，具体而言，该模块能够接收来自手机等蓝牙主设备发射的无线音频信号，并将其转换为 I2S 格式的数字音频信号。转换后的 I2S 数字音频信号会被输入到 MS8422N ASRC（异步采样率转换器）模块中。通过这一系列操作，该音响系统获得了播放蓝牙音频的能力，极大地拓展了系统的音频输入方式，使用户可以方便地通过蓝牙连接将手机等设备中的音频内容传输至音响系统进行播放，提升了音响系统的适用性和用户的使用体验。

2.4 CT7601 USB 转 SPDIF 数字模块

CT7601 USB 转 SPDIF 数字模块在音响系统中扮演着数据接收与格式转换的重要角色。该模块具备接收外部 USB 主设备所传输音频数据的能力，通过对这些音频数据的处理，使得整个音响系统具备播放 USB audio 音频的功能。具体工作过程为，CT7601 USB 转 SPDIF 数字模块将接收到的来自 USB 主设备的音频数据进行相应处理后，作为一个独立的音频输入通道，将数据输送至 ASRC（异步采样率转换器）内部。在 ASRC 中，这些音频数据会得到进一步的处理，以确保其能在音响系统中实现高质量的播放，从而为用户提供多样化的音频播放选择。

2.5 SPDIF 光纤模块

SPDIF 光纤模块在该音响系统中作为一种重要的音频输入途径。该模块通过 SPDIF 光纤端子接收外部信号，此信号会作为一个独立的输入信号源接入到 ASRC（异步采样率转换器）模块中。

借助 SPDIF 光纤模块的这一功能，音响系统具备了支持光纤音频输入的能力，进一步丰富了系统的音频输入方式，为用户提供了更多样化的音频播放选择，有助于提升音响系统的兼容性和实用性，以满足不同用户和不同音频设备的连接与使用需求。

2.6 COAX 同轴模块

COAX 同轴模块在系统音频信号传输与处理过程中发挥着特定作用。该模块利用 RCA*3 接口中的一个端子接收外部音频信号。在接收到信号后，为保证信号能够稳定、有效地传输至后续处理模块，会将信号通过 74 系列芯片增强信号的电流强度。经过电流增强处理后的音频信号，会作为一个独立的输入源，进入 ASRC（异步采样率转换器）模块的一个接收通道，以便后续进行进一步的采样率转换及其他音频处理操作，确保音频信号能够在音响系统中实现高质量的播放。

2.7 RCA 模拟音频输入模块

RCA 模拟音频输入模块为系统提供了额外的模拟音频信号接入途径。该模块利用 RCA*3 接口中剩余的两个端子，接收来自外部设备的模拟音频信号，从而丰富了系统的音频输入方式。

2.8 MS8422N 异步采样率转换模块

MS8422N 异步采样率转换模块（ASRC）在音频处理系统中至关重要。它处理四路音频信号，来源分别为

ATS2853 蓝牙输入模块 (BT)、CT7601 USB 转 SPDIF 数字模块 (USB - SPDIF)、SPDIF 光纤模块 (光纤 SPDIF) 和 COAX 同轴模块 (COAX 同轴)。该模块核心功能有二:一是将不同采样率的音频源转换为系统统一采样率,保证后续处理准确一致;二是根据系统指令或用户需求,从四路音频源中选一路为当前有效信号。处理后,MS8422N 模块输出 L、R 两路数字音频信号,传至 ADAU1701 DSP 优化处理,保障音响输出高质量音频。

2.9 MA12070P 数字功放模块

MA12070P 数字功放模块在音频系统中承担着功率放大的重要任务。该模块接收来自 DSP (数字信号处理器) 输出的 4 路数字音频信号。鉴于 DSP 输出的音频信号功率通常较小,难以直接驱动扬声器发声,MA12070P 数字功放模块会对这 4 路数字音频信号进行放大处理。经过放大的音频信号获得了足够的功率,能够有效地推动扬声器工作。

最终,放大后的音频信号被分别输出至 L1、R1、L2、R2 四个扬声器,促使扬声器振动发声,将电信号转换为声音信号,从而为用户呈现出清晰、响亮的音频内容。

2.10 OLED 显示模块

OLED 显示模块在系统中负责信息可视化展示。它能清晰显示系统当前菜单页面,使用户直观了解操作选项和功能布局。该模块可准确显示输入通道的字符信息,这些信息明确标识了蓝牙、USB、光纤等音频输入源,让用户知晓系统处理的音频信号路径。此外,OLED 显示模块还会呈现当前功放的增益信息。功放增益是影响音频输出音量 and 音质的关键参数,其信息显示使用户实时掌握功放工作状态,便于按需调整,以实现理想的音频播放效果。

2.11 ENCODER 模块

ENCODER 模块是旋转编码器,作为 STM32 的按键输入接口,实现重要的用户交互功能。它支持左右旋转和按下两种操作。左右旋转可手动切换音频输入音源。在有蓝牙、USB、光纤、同轴等多音频输入通道的音响系统中,用户能依需求通过旋转在不同音源间灵活选择,便捷切换音频播放来源。按下操作主要用于设置音响输出音量。用户按下旋转编码器即可调整音量,满足不同环境和个人喜好的音量需求。这种设计让用户能简单直观地与音响系统交互,提升了用户体验和操作便捷性。

3 音频链路设计

在本音频系统的设计中,采用 ADI SigmaStudio 图形化编程工具开展数字信号处理器 (DSP) 的开发工作。SigmaStudio 为 DSP 的开发提供了直观且高效的操作环境,利用该工具能够对 DSP 寄存器的相关硬件参数进行精准设置。在音频链路搭建方面,将 DSP 接收到的左声道 (L) 和右声道 (R) 立体声音频信号作为输入源。这些输入的立体声信号在 DSP 内部通过分频器进行分频处理,它依据音频

信号的频率特性将原有的 L 和 R 两路立体声信号进一步细分为四路音频输出,分别为 L 中高音、L 低音、R 中高音以及 R 低音,后级再经过 EQ 均衡器,设计不同的音效,为用户带来更为丰富和优质的听觉体验。

4 音响频响效果评估

为评估音响系统实际频响效果,采用 1kHz 正弦波作信号源,对其进行频率扫描测试。测试频率范围为 20Hz - 20kHz,覆盖人耳主要可听音频频段。分析测试所得曲线,发现在 20Hz - 20kHz 频率区间,曲线各频点的增益一致性良好。增益一致性是衡量音响频响性能的关键指标,良好的增益一致性意味着音响在不同频率下对音频信号放大能力均衡,可准确还原输入信号频率特性,减少音色失真。综合测试结果,该音响系统实际频响满足预先设计的技术指标要求,表明其在音频处理和放大等环节的设计与实现达到预期性能标准,频率响应特性出色,能为用户提供高质量音频播放效果。

5 结语

本音响系统设计整体成功。硬件实现上,对印刷电路板组件 (PCBA) 完成程序编写与烧录,系统正常运行,表明硬件设计与软件程序初步适配达预期,验证了整体设计方案基础功能的可行性。不过,设计存在待改进之处。技术阐述上,因篇幅或研究重点,未对 STM32 程序编写深入全面论述,影响对系统软件实现细节的完整理解。用户体验方面,用户界面 (UI) 功能优化不足。良好的 UI 设计对提升交互体验至关重要,当前系统 UI 在易用性、美观性上有改进空间,需精细化设计。系统性能上,实时性是关键问题。音频均衡器 (EQ) 处理速度欠佳,通过 I2C 总线写入大量数据时有较大延迟,影响实时响应和音频处理效果。后续研究将聚焦系统实时性优化,提高 EQ 处理速度、降低 I2C 数据写入延迟,提升系统性能与用户体验。

参考文献

- [1] 晁松杰,姜艺.高端音响系统硬件创新设计[J].家庭影院技术,2024,(16):19-22.
- [2] ADI公司的下一代数字信号处理器为汽车音频应用提供更大的内部程序存储器和数据存储器[J].电子技术应用,2017,43(06):59.
- [3] 马俊.基于TAS3204的专业数字音频系统[D].华南理工大学,2016.
- [4] 周朝坤.车载音响音频处理系统的研究与DSP实现[D].武汉理工大学,2016.
- [5] 曹方宇.广播剧场及其音响系统设计研究[D].北京工业大学,2016.
- [6] 王锦,陈博敏.基于SigmaDSP的无线Sound Bar系统设计[J].物联网技术,2015,5(01):57-58+60.DOI:10.16667/j.issn.2095-1302.2015.01.014.

An Intelligent Driller Control System for Workover Rigs and Its Research

Defeng Zhu Zhugang Fan Kai Zhou Qiang Han

Wuxi Zhihan Intelligent Machinery Technology Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214000, China

Abstract

The intelligent driller control system for workover rigs is one of the key technologies in the current oil well workover field. This paper introduces the design principle, key technologies and related research results of the intelligent driller control system for workover rigs. It elaborates on the background and significance of the workover rig driller control system, and points out the problems and deficiencies of the current traditional driller system. It details the architecture and working process of the intelligent driller control system for workover rigs, and elaborates on the key technologies, including data acquisition and processing, intelligent control algorithms, and system optimization methods. The system performance is verified through experiments, and the experimental results are analyzed. Finally, the advantages and application prospects of the intelligent driller control system for workover rigs are summarized, and the future research directions are prospected.

Keywords

Workover rig, Intelligent driller, Control system, Data acquisition and processing, Intelligent control algorithm

一种修井机智能司钻控制系统及研究

朱德峰 范竹刚 周凯 韩强

无锡智瀚智能机器技术有限公司, 中国 · 江苏 无锡 214000

摘 要

修井机智能司钻控制系统是当前石油修井领域的关键技术之一。本论文介绍了修井机智能司钻控制系统的设计原理、关键技术以及相关研究成果。阐述了修井机司钻控制系统的背景与意义,指出当前传统司钻系统存在的问题和不足。详细介绍了修井机智能司钻控制系统的架构和工作流程,并阐述了其中的关键技术,包括数据采集与处理、智能控制算法以及系统优化方法。通过实验验证系统性能,并分析实验结果。最后,总结修井机智能司钻控制系统的优势和应用前景,并展望未来的研究方向。

关键词

修井机; 智能司钻; 控制系统; 数据采集与处理; 智能控制算法

1 引言

修井是石油开采过程中的重要环节之一,而修井机司钻作为关键设备,对保障修井作业效率和安全性具有重要意义。传统的修井机司钻控制系统存在操作人员依耐性较高;位置精度低、反应速度慢等问题,限制了修井作业的效率和质量。因此,研究和开发修井机智能司钻控制系统具有重要的理论和实际意义。

修井机智能司钻控制系统利用先进的传感器、数据处理的智能算法,实现对修井机司钻过程的实时监测、智能化控制。该系统不仅能提高修井作业的安全性、效率和质量,还减轻作业人员劳动强度,降低安全风险,具有重要的经济效益和社会效益。

2 修井机智能司钻控制系统设计原理

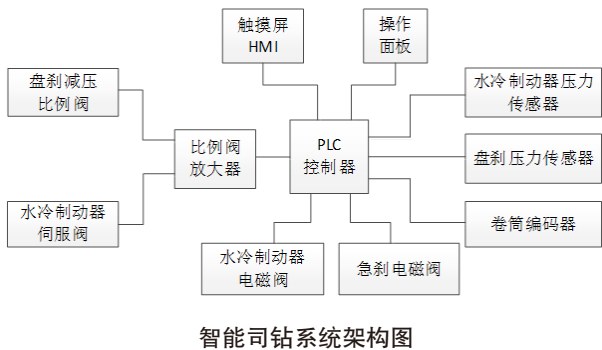
2.1 修井机智能司钻控制系统概述

修井机智能司钻控制系统是一种基于先进技术的智能化系统,旨在实现自动化修井机过程的实时监测、智能决策和自动控制。系统主要由传感器模块、卷筒编码器、盘刹系统、水冷制动器、控制器以及执行机构等组成。通过对修井机作业过程的实时监测和数据分析,系统能够根据监测数据和修井作业施工方案自动调整修井参数、监测故障并进行及时诊断,并根据工况变化做出智能决策,实现大钩上提/下放的自动控制。

2.2 系统组成

修井机智能司钻控制系统的架构包括传感器模块、卷筒编码器、盘刹系统、水冷制动器、控制器、执行机构以及数据管理模块。

【作者简介】朱德峰(1987-),男,中国江苏宝应人,本科,工程师,从事石油机械设备自动化与控制研究。



智能司钻系统架构图

1.2.1 传感器模块：传感器模块负责实时采集自动化运行状态和环境参数的数据，包括卷扬转速、游走大钩速度、自动化大钳扭矩、液压系统压力、负载、井深等。传感器的选择和布置根据油田实际工况设计，确保检测数据的准确性和可靠性。

1.2.2 卷筒编码器：卷筒编码器主要判定大钩上提 / 下放的状态，同时计算出卷扬速度、大钩速度以及高度。

1.2.3 盘刹系统：主要承担着对提升系统中大钩、游动滑车等重载部件的安全制动与精确控制作用。

1.2.4 水冷制动器：提升系统下放重物（如钻具、管柱）时会产生较大惯性，通过水冷制动器提供连续可调的阻尼力，控制下放速度，防止载荷失控下滑或冲击。从而保障作业安全与设备稳定运行。

1.2.5 控制器：PLC 控制器模块是修井机智能司钻控制系统的核心部分，基于传感器模块和数据管理系统提供的数据，采用先进的智能算法进行修井参数的分析和优化，实现对修井机的智能决策和自动控制。该模块通常包括修井参数分析算法、故障检测与诊断算法、自适应控制算法等。

1.2.6 执行机构：执行机构是修井机智能司钻控制系统的执行部分，负责根据控制器模块输出的控制指令，实施相应的操作控制，包括调整修井参数、控制修井作业执行机构动作等。

1.2.7 数据管理系统：数据管理模块接收传感器模块采集到的数据，并进行数据处理。该模块通常包括数据采集设备状态信息和数据处理算法。

2.3 工作流程

修井机智能司钻控制系统的工作流程包括数据采集、信息处理、决策生成和控制指令输出等环节。

1.3.1 数据采集阶段：利用传感器模块实时采集修井机的运行状态和环境参数数据，并将数据传输给数据管理模块。

1.3.2 信息处理阶段：通过数据管理模块对采集到的数据进行预处理和特征提取，生成修井机的状态信息。

1.3.3 决策生成阶段：中央处理器模块根据修井机的状态信息和预设的决策算法，分析当前工况，生成相应的智能决策，例如调整修井参数、诊断故障等。

1.3.4 控制指令输出阶段，中央处理器模块将生成的控制指令传输给执行机构，执行机构根据指令进行操作控制，

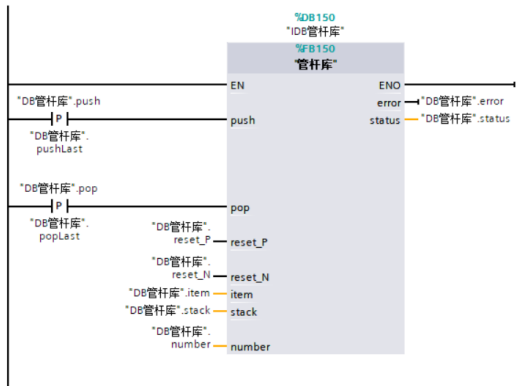
实现对修井机的自动调节和控制。

3 关键技术

3.1 数据采集与处理

数据采集与处理是修井机智能司钻控制系统中的关键技术之一。在数据采集方面，需要选择合适的传感器，并合理布置在修井机的关键位置，以获取准确、全面的数据。常用的传感器包括钻压传感器、扭矩传感器、转速传感器、井深传感、管杆规格器等。

程序中设计了 IDB 管杆库控制功能块，可以记录管杆的数据（item、stack、number、）、起油管杆（push）和下油管杆（pop）。程序根据修井作业条件判断当前起下状态。同时程序增加数据预处理涉及到数据的滤波和数据补偿等处理，提高数据的准确性。数据处理环节主要包括数据预处理和特征提取两个步骤。特征提取则是从原始数据中提取有用的特征信息，用于后续的分析和决策。IDB 管杆库控制功能块如图 2 所示。



IDB 管杆库控制功能块

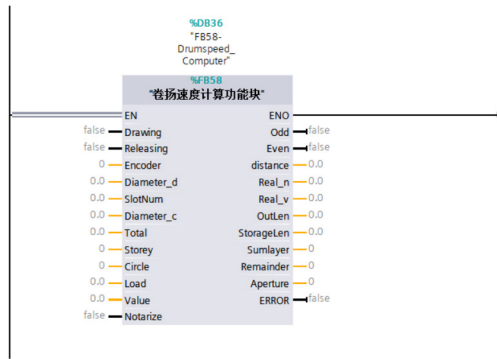
3.2 智能控制算法

在修井机智能司钻控制系统中，核心控制逻辑基于实时采集的卷扬编码器（Encoder）信号和钩载传感器（Load）数据，通过智能算法动态优化起降过程。系统通过安装在卷扬轴上的编码器获取其正转（Drawing）、反转（Releasing）状态及卷扬转速（Real_n），结合设定的钢丝绳圈数（Circle）与钢丝绳层数（Storey），自动计算出钢丝绳放出长度（OutLen）以及大钩的实际运动速度（Real_v），如图。

作业前，系统执行大钩高度零位标定（Notarize），作为后续位移判断的参考点。在起提油管杆作业中，系统实时监测钩载（load）变化和位移（distance）趋势，根据负载情况动态调整发动机的输出功率（Engine），以保障在负载增加时提供足够扭矩并维持稳定上行速度，实现效率与安全的平衡。而在下放油管杆过程中，系统采集大钩下行速度及位移数据，智能计算下行减速需求，并控制水刹车的夹紧力度（Aperture），使其逐级缓冲制动，确保设备运行平稳、避免冲击与失速。

通过应用上述关键技术，修井机智能司钻控制系统能

够实现对修井机的精确监测、智能决策和自动控制,提高修井作业的效率和质量,并降低事故风险。



4 修井机智能司钻控制系统优势与应用前景

4.1 优势

修井机智能司钻控制系统具有多方面的优势,包括但不限于以下几个方面:

提高修井效率: 智能司钻控制系统能够实时监测修井机的运行状态和环境参数,通过优化修井参数和调整控制策略,提高修井作业的效率 and 速度,减少非作业时间。

保障作业安全: 系统通过实时监测和故障诊断,能够及时发现和处理修井机的故障和异常情况,降低事故风险,提高作业安全性。

提高作业质量: 通过智能控制算法的优化,系统可以实现对修井参数的精确调整,提高修井作业质量,减少修井事故和设备损坏的风险。

减轻人员劳动力: 智能司钻控制系统能够自动调整控制参数和执行操作控制,减轻人员劳动力,降低人为错误的发生,提高工作效率。

可持续发展: 通过优化修井参数和控制策略,智能司钻控制系统能够降低能源消耗和环境影响,实现可持续发展的目标。

4.2 应用前景

修井机智能司钻控制系统在石油修井领域具有广阔的应用前景。随着石油开采技术的不断发展和修井作业的复杂化,智能化控制系统将成为必不可少的工具和技术支持。

在油田常规修井作业中,智能司钻控制系统可以帮助实现更高效、更安全、更可控的修井作业,提高修井作业效率。通过实时监测和智能决策,提高修井作业的效率和质量,降低维护成本和作业风险。随着人工智能、大数据和物联网等技术的不断发展,修井机智能司钻控制系统还可以与其他智能化系统和设备进行集成,实现更高级的自动化和智能化水平。随着相关技术的不断进步和成熟,该系统将在石油工业领域得到广泛应用。

5 未来研究方向

5.1 优化智能控制算法

修井机智能司钻控制系统的智能控制算法是关键的研究方向之一。可以通过优化起降的过程刹车控制,提高系统

的大钩的刹车精度和起降的稳定性。将整个刹车过程分为 n 个小段进行控制 ($i=1, 2, 3, \dots, n$), 其中 M 为提升系统负载的等效质量 (包括游车大钩负载、游车大钩重量、吊卡重量), F_i 为第 i 个小段的刹车等效力, t_i 为第 i 个小段的控制时间, ΔV_i 为第 i 个小段结束后与开始的速度差,按照冲量、动量转化关系,整个下行过程满足以下公式:

$$\sum_{i=1}^n (M \cdot g \cdot t_i - F_i \cdot t_i) = \sum_{i=1}^n M \cdot \Delta V_i = 0$$

第 j 个控制过程结束后, V_j 、 S_j 分别代表此时为速度、位移 (其中: $V_0=0$) :

$$V_j = \sum_{i=1}^j \Delta V_i = \sum_{i=1}^j [g \cdot t_i - \left(\frac{F_i}{M}\right) \cdot t_i]$$

$$S_j = \sum_{i=1}^j \left[\left(\frac{V_{i-1}}{2} + \frac{V_i}{2} \right) \cdot t_i \right]$$

5.2 提高系统稳定性与可靠性

提高系统稳定性与可靠性 修井机智能司钻控制系统在实际应用中需要具备良好的稳定性和可靠性。可以研究系统的鲁棒控制策略,提高系统对扰动和干扰的抗干扰能力。此外,建立可靠性评估模型,对系统的可靠性进行定量评估,并开发相应的容错和自动恢复机制,提高系统的可靠性和鲁棒性。

通过对智能司钻控制系统的进一步研究和改进,将推动修井机作业的智能、自动化发展,提高作业效率和安全性。

6 结语

本论文针对修井机智能司钻控制系统进行了全面的研究和论述。通过对修井机智能司钻控制系统的设计原理、关键技术介绍,展示了该系统在提高修井作业效率、保障作业安全和降低事故风险方面的优势和应用前景。同时,提出了未来研究方向,包括改进智能控制算法、提高系统稳定性与可靠性。通过持续的研究和创新,修井机智能司钻控制系统将为石油修井领域带来更高效、安全和可持续的作业模式。

参考文献

- [1] 杨双业, 张鹏飞, 王飞等. 新型自动化技术在钻机及钻井中的应用展望. 石油机械, 2019, 47(5).
- [2] 李维校. 基于石油钻井大数据技术的钻进优化控制的研究. 西安: 西安石油大学, 2018.
- [3] 于兴军. 自动化钻机向智能化发展的关键技术分析. 兰州: 石油矿场机械, 2020, 49(5).
- [4] 崔坚. SIMATIC S7-1500与TIA博途软件使用指南. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [5] 刘伟, 孙斌, 张帆. 一种智能钻井班前会议模式研究与应用. 信息系统工程, 2016.65-67

Analysis of Data Communication System Based on CAN Bus

Jiwei Qiu Zhe Hu Kang Wang

Army Military Transportation College Automotive Non-commissioned Officer School, Bengbu, Anhui, 233010, China

Abstract

With the continuous advancement of intelligent systems in industrial control, transportation, and energy management, higher demands are placed on real-time performance, reliability, and interference resistance in communication networks. The ControllerAreaNetwork (CAN) bus technology, leveraging its unique communication mechanisms and system architecture, has gradually replaced traditional serial communication protocols in various domestic applications, becoming the mainstream solution for building efficient data communication systems. Particularly in automotive electronics, industrial automation equipment, and renewable energy grid integration systems, CAN-based data communication systems have demonstrated strong adaptability and practical engineering value. This paper systematically explores the working principles, system architecture, communication advantages, and specific application practices of CAN buses in critical sectors across China.

Keywords

CAN bus; data communication system; automobile; industrial automation; application; analysis

基于 CAN 总线的数据通信系统分析

邱继为 胡喆 王康

陆军军事交通学院汽车士官学校, 中国 · 安徽 蚌埠 233010

摘 要

随着工业控制系统、交通运输系统及能源管理系统智能化水平的不断提升, 对通信系统的实时性、可靠性和抗干扰能力提出了更高要求。控制器局域网 (Controller Area Network, CAN) 总线技术凭借其独特的通信机制和系统结构, 在国内众多应用场景中逐步取代传统串行通信协议, 成为构建高效数据通信系统的主流方案。特别是在汽车电子控制、工业自动化设备、新能源并网系统等领域, 基于CAN总线的数据通信系统已展现出强大的适应能力和工程实践价值。本文旨在系统探讨CAN总线的工作原理、系统结构、通信优势及其在我国关键领域中的具体应用实践。

关键词

CAN总线; 数据通信系统; 汽车; 工业自动化; 应用; 分析

1 引言

数据通信技术是现代自动化系统的核心支撑手段, 而 CAN 总线因其优异的实时控制特性和鲁棒性, 被广泛应用于嵌入式系统的数据传输中。我国在智能制造、新能源运输、智能交通等领域的技术发展过程中, 急需稳定可靠的通信平台以支撑多节点协同工作和复杂工况下的信息交互。CAN 总线通信系统因其多主机访问、非破坏仲裁、错误检测机制等技术特点, 在本土化场景中展现出良好适配性^[1]。

2 CAN 总线的概述

所谓 CAN, 其实就是在各种设备检测和控制方面得到应用的数据通信网络, 能够用于实现不同设备间的通信, 从而实现信息共享和工作协调。从特点上来看, CAN 拥有简单的结构和较低的成本, 并且通信方式较为灵活, 能够为多主串行通信协议提供支持, 并且能够在电磁干扰环境中得到应用。所以在工业生产中, CAN 在工控系统中得到了广泛应用, 能够确保数据通信的可靠性。作为一种串行通信协议, CAN 总线能够完成多个主机的挂接, 并实现数据通信。

3 CAN 总线通信原理及系统结构

3.1 通信原理

CAN 总线通信过程基于消息优先级仲裁、非破坏性总线访问和多层次错误检测机制协同工作。在我国多数 CAN 通信工程中, 系统采用位定时同步 + 位采样机制确保各节

【作者简介】邱继为(1989-), 中国河南濮阳人, 本科, 汽车维修高级技师, 主要从事车辆维修、特种车辆操作使用与维护、智能化无人装备运用等教学研究。

点时钟一致性,避免因晶振偏差导致的位误判。节点发送报文前需监测总线空闲状态,采用显性/隐性电平完成非破坏性仲裁,在优先级冲突时低ID优先^[2]。数据帧格式包括起始位、仲裁域、控制域、数据域、CRC校验、ACK响应及帧结束位,确保传输可靠。

3.2 系统结构

基于CAN总线的数据通信系统通常由CAN控制器、CAN收发器、物理总线及若干通信节点构成。在我国典型应用场景中,如工业设备控制系统与汽车电子系统,多采用分布式主从节点结构,每个节点集成MCU、CAN控制器(内置或外挂)及收发器模块。总线采用终端匹配电阻(常为120Ω)保障信号完整性,通信线路多选用双绞屏蔽线抑制共模干扰。系统设计中常应用集中式电源供电结合DC-DC隔离设计以防止节点间干扰。节点程序开发一般采用HAL库或裸机寄存器方式配置CAN控制器参数,如位时序、滤波器与中断机制,实现报文精准收发。系统结构上强调去中心化,提高容错能力与通信冗余性。

4 CAN 总线通信系统的优势

4.1 高可靠性与实时性

CAN总线采用非破坏性仲裁机制,在节点优先级冲突时确保高优先级报文快速发送,显著提升关键数据的实时传输能力。在我国智能制造领域,如高速包装线控制系统中,该特性可有效规避控制信号延迟造成的生产节拍失控问题。CAN协议内建多级错误检测机制,包括位填充校验、CRC校验、应答位监测及错误标志帧,确保数据传输的完整性与一致性。系统检测到错误时可通过自动重发及错误主动通知机制避免故障扩散,增强系统运行的可靠性。

4.2 多主结构灵活性高

CAN总线具备多主结构,任一节点可主动发起通信,在需要高速互动的设备之间构建高效互联。比如新能源客车BMS(电池管理系统)设计中,不同模组间可实时互发电压、电流、温度等状态信息,无需中心调度系统协调。该结构支持异步通信方式,每个节点依据设定周期或事件触发自主发送报文,提升数据通达效率。此外,多主结构支持动态节点扩展,在设备增补或重构时无需大幅调整通信策略,满足快速部署与系统升级的需求,体现了架构的高度灵活性。

4.3 传输效率高

CAN总线支持最大1Mbps速率的差分信号通信,并通过短帧结构和仲裁机制压缩空闲时延,提升单位时间数据传输能力。在国内轨道交通信号系统中,大量状态量需实时上传至主控单元,CAN总线可在极短时延内完成多节点报文调度。协议设计中文本长度最短可至44位(标准帧),最长为128位(扩展帧),传输时间最短仅需几十微秒。系统中普遍使用DMA方式传输数据至CAN控制器发送缓存,减少CPU干预,提升链路效率。

4.4 强抗干扰能力

CAN总线采用差分信号传输,显著提升系统抗共模干扰能力。在高压高频电磁干扰场景,如我国南方地区风电交流系统,CAN总线依靠屏蔽双绞线和收发器抗干扰设计可有效避免误码与通信中断。CAN协议支持错误检测与主动退出机制,当节点接收错误帧达到特定阈值即进入离线状态,防止故障节点干扰总线通信。工程中常配合使用光耦隔离、TVS二极管、EMI滤波等硬件手段进行多重防护,提升系统整体抗扰能力^[3]。

5 基于CAN总线的数据通信系统的应用

5.1 汽车电子系统

在汽车电子系统的工程实践中,CAN总线被广泛部署于整车控制器(VCU)、电池管理系统(BMS)、电子制动系统(EBS)、仪表信息采集单元(ICU)等核心子系统间的高速数据交互链路。系统架构通常采用分布式节点设计,依据功能域划分为驱动控制域与车身控制域,分别配置独立的物理CAN通道,并通过中继控制器实现跨域通信桥接,以降低通道负载与提升通信确定性。主控单元普遍选用集成双CAN模块的高性能MCU(如NXPS32K系列、瑞萨RH850系列),结合TJA1042高抗扰收发器构建差分物理层,确保在高电磁干扰环境下维持总线通信稳定性。每一CAN节点在系统初始化阶段依据静态配置文件加载其所对应的仲裁ID及帧结构,控制信息帧依据应用场景设定不同优先级,关键控制帧(如制动请求、转矩控制)优先级高于状态监控类数据。主控节点系统上电后通过广播初始化帧进行网络拓扑确认及参数同步,各子节点完成响应后转入周期同步传输阶段;期间系统设定基于时间戳的超时检测机制,若某节点在规定周期未完成帧发送或响应,则触发硬件中断并写入错误日志。在故障诊断机制上,系统内嵌总线状态监控模块,实时记录错误帧类型、节点ID及离线事件,通过OBD接口输出原始故障数据供后续离线解析使用;同时,为提升系统鲁棒性,部分主控节点支持冗余CAN通道切换策略,可在主通道故障检测后自动切换至备用通道,保障通信连续性与控制安全性。

5.2 车载诊断系统的故障检测与维修支持

基于CAN总线架构的车载诊断系统(On-Board Diagnostics II, OBD-II)已实现对整车各功能域控制器(ECUs)的高效数据交互和集中式故障检测支持。系统通过标准PID(Parameter ID)请求机制对关键子系统参数如发动机转速、进气歧管压力、节气门开度及车辆速度等进行实时采集,并结合ISO 15765-4协议对故障诊断码(DTC, Diagnostic Trouble Codes)进行编码传输。诊断设备以CAN报文帧为基础,通过设定特定请求帧ID向目标ECU发起诊断请求,ECU按预设响应帧ID返回故障状态及环境数据。为提升故障定位精度,系统采用扩展帧格式实现多字节数据

传输,并通过UDS协议执行自定义服务例程,如读/清除DTC、ECU识别码查询、实况数据流读取、控制命令下发(如执行部件激活)。实际应用中,维修终端借助CAN转USB或蓝牙接口模块将诊断请求输入车载CAN网络,并通过实时监控CAN总线上的帧数据比对故障触发前后关键参数变化趋势,进一步结合波形分析和DTC触发条件反推故障发生位置。系统支持多节点并发诊断,可对动力系统、传动系统、排放控制系统及辅助安全系统实现模块化监测,并可结合故障码清除指令重置系统状态以验证维修效果。此类基于CAN总线的诊断方法已形成标准化作业流程,具备高度可移植性与协议兼容性。

5.3 无人机与无人车

在我国本土开发的中小型无人机与无人车系统中,基于CAN总线的数据通信架构已被广泛集成于飞控系统(FCU)、惯性测量单元(IMU)、电调模块(ESC)、伺服执行单元及图像识别处理模块之间的数据传输路径中。系统设计层面,开发团队优先选用具备双CAN控制器的STM32F4/F7或TIC2000系列微控制器,通过将姿态控制与路径规划解耦,实现控制域与感知域的分层管理。在拓扑结构方面,系统采用标准总线型布线,辅以冗余CAN通道设计,当主通道发生节点异常或总线仲裁失败时,可自动切换至备用通道以维持通信连续性。为保障控制指令传输的实时性与优先级响应,开发者在ID分配中采取分段式优先级配置策略,确保飞行姿态修正、速度控制等关键指令占据高优先级段,而如环境数据缓存、图像数据索引等非时间敏感数据采用中低优先级段以减少总线占用。帧格式采用扩展ID结构并嵌入状态标志位,结合节点状态机逻辑用于动态判断飞控模式切换与任务状态标识。在系统调试过程中,引入基于总线电气层实时采样的监测模块,利用帧周期统计与错误帧检测机制量化节点稳定性,并设定帧重发计数阈值,对出现异常的节点进行限权或重置^[4]。为提升抗干扰能力,电气设计上采用差分信号传输方式,并对关键线缆实施120Ω端接匹配、采用屏蔽层碳纤维复合结构与双绞线布线工艺,增强电磁兼容性能,以适应无人平台在高振动与复杂干扰场中的通信稳定性需求。

5.4 新能源系统

在新能源系统中,基于CAN总线的数据通信结构已成为光伏并网系统、分布式风电场监控及储能变流单元的核心通信方式。以典型光伏并网场景为例,系统通过多级主从

节点架构构建CAN通信网络,每组光伏逆变器设定主控节点,通过ID映射机制定向管理从属汇流箱控制器及温度传感单元,确保电气参数如母线电压、支路电流、输出频率等信息的实时上传。上行数据通过设定优先级和帧间最小发送间隔,在主控节点中采用周期与事件触发相结合机制发送至中继单元,再由中继节点上传至EMS控制层^[5]。通信布线采用IP67等级M12防水CAN接插件及多层屏蔽铠装电缆,并通过终端阻抗校验机制提升抗干扰能力。所有CAN节点集成硬件看门狗系统,结合软件层内置异常帧检测算法,实时监测总线帧率波动与负载率突变,通过设定阈值触发隔离控制逻辑,实现故障节点的物理断开与通信恢复。系统所有通信模块通过隔离型DC-DC电源模块与主直流母线隔离,配合高EMC等级CAN收发器以增强对浪涌、电磁干扰与静电放电的抵抗能力。此外,系统引入节点优先级重构策略与总线仲裁机制优化算法,避免并发时的信号冲突及带宽阻塞,实现多节点协同作业下的数据一致性与通信实时性。

6 结语

综上所述,CAN总线数据通信系统凭借着多主结构、高可靠性以及强抗干扰性等诸多优点在我国众多行业里得到日益广泛的应用。上文通过对基于CAN总线数据通信系统定义、原理、结构、优势及其在包括汽车电子系统、车载诊断系统的故障检测与维修支持、无人机与无人车、新能源系统等行业应用探讨,体现出该系统的技术成熟性与适应能力。未来,随着应用领域不断拓宽以及要求提高,我们在基于CAN总线数据通信系统研究上应加强多通道通信、差分冗余机制及抗干扰结构设计等领域的探索,以为我国将来各行业提供更加安全、高效、可靠的通信解决方案。

参考文献

- [1] 胡道畅,欧阳中辉,陈青华,等.基于CAN总线的特种车辆状态数据采集系统[J].兵工自动化,2021,40(4):4.
- [2] 陈中原.基于CAN总线的多传感器数据安全传输方法[J].电子制作,2024,32(18):78-80.
- [3] 章万静 赵陇 赵红梅 王晨阳 吴海霞.基于CAN总线智能汽车数据采集系统的设计[J].2023.
- [4] 方略,何洪军,高旭.基于CAN通信多通道数据采集系统设计[J].计算技术与自动化,2020,39(3):4.
- [5] 任艺,王南,陈艺峰,等.基于CAN总线的光伏集散电源控制系统通信网络设计[J].控制与信息技术,2020(005).

The ground digital TV coverage project and the collaborative transmission mechanism of new media in the era of integrated media

Jun CAI

Convenience Services of the People's Government of Guide Town, Zizhong County, Neijiang, Sichuan, 641200, China

Abstract

The era of integrated media has promoted the deep integration of traditional broadcasting and television technologies with emerging new media platforms. Traditional terrestrial digital TV coverage projects are facing dual challenges of technological upgrading and service model innovation. This article conducts a systematic study on the ground digital TV coverage project and the collaborative transmission mechanism of new media, analyzes the coupling relationship between the two in terms of technical system, business process and development model, and expounds the necessity and feasible path of achieving efficient collaborative transmission in the current communication environment. This article explores the construction principles, implementation strategies and key technical supports of the collaborative mechanism, and proposes practical countermeasures to improve the integrated system, aiming to provide theoretical basis and practical reference for the development of China's radio and television industry in the era of integrated media.

Keywords

Converged media Terrestrial digital television Covering project New media Collaborative transmission

融媒体时代地面数字电视覆盖工程与新媒体协同传输机制

蔡军

资中县归德镇人民政府便民服务, 中国·四川内江 641200

摘要

融媒体时代推动了传统广播电视技术与新兴新媒体平台的深度融合, 传统地面数字电视覆盖工程面临着技术升级与服务模式创新的双重挑战。本文围绕地面数字电视覆盖工程与新媒体协同传输机制展开系统性研究, 分析二者在技术体系、业务流程及发展模式上的耦合关系, 阐述在当前传播环境下实现高效协同传输的必要性与可行路径。文章通过探讨协同机制的建设原则、实施策略以及关键技术支持, 提出完善融合体系的实际对策, 旨在为我国广播电视行业在融媒体时代的发展提供理论依据与实践参考。

关键词

融媒体; 地面数字电视; 覆盖工程; 新媒体; 协同传输

1 引言

近年来, 信息传播技术持续革新, 移动互联网、5G、人工智能等新兴技术广泛应用, 推动了媒体传播格局的深刻变化。传统广播电视面临受众分流、传播渠道多样化以及市场竞争加剧等问题。为应对这一趋势, 我国加快推进融媒体建设, 力求实现传统媒体与新兴媒体的深度融合。地面数字电视作为传统广播电视的主要传播手段, 依托其广覆盖、低成本与抗干扰能力强的特点, 依然在信息传播体系中占有重要地位。然而, 单一依赖地面数字电视已难以满足受众多样化的收视需求, 新媒体平台的快速发展则提供了更加灵活便

捷的信息获取方式。在此背景下, 探索地面数字电视覆盖工程与新媒体协同传输机制成为广播电视行业转型升级的重要课题。本文结合我国融媒体发展实际, 对相关机制建设进行系统性分析与探讨。

2 融媒体时代地面数字电视覆盖工程发展现状

2.1 地面数字电视覆盖工程的基本特征与优势

地面数字电视覆盖工程, 是借助大型发射台站, 以无线形式把数字电视信号直接送到用户家中或终端设备的系统性工程, 它是国家广播电视公共服务体系里极为关键的一环, 有着诸多鲜明特点。其覆盖范围极为广泛。通过合理布局塔台和中继站, 信号能够跨越城市与乡村, 深入山区和边远地区, 让不同地域、不同生活环境下的各类用户群体, 都能平等且便捷地享受到基本公共广播电视服务, 消除了地域

【作者简介】蔡军(1974-), 男, 中国四川内江人, 从事广播电视网络工程研究。

带来的信息接收差距。传输成本方面优势明显。和卫星电视、有线电视相比,用户无需承担高昂的终端设备费用以及使用费用。而且,地面数字电视在维护和扩展上的成本也相对较低,这使得它在经济上更具可行性,也更容易得到普及推广。接收门槛低也是一大亮点。用户只需安装简易的地面接收设备,像数字电视机顶盒,或者使用内置接收模块的数字电视机,就能直接收看节目,整个过程无需复杂的接入流程,也不用额外付费,简单又方便。在灾害应急方面,地面数字电视能力突出。遇到自然灾害、突发公共事件,当互联网、移动通信等系统因灾受损时,它仍能凭借无线广播,及时向广大群众传递应急信息和公共安全提示,发挥不可替代的公共服务作用。此外,地面数字电视工程在技术上成熟可靠、稳定性高,抗干扰能力强,能够为国家政策宣传、文化传播、社会治理等工作提供坚实有力的支撑。

2.2 面临的技术挑战与发展瓶颈

虽说地面数字电视覆盖工程有不少优势,但在当下融媒体时代,它的发展也遭遇了不少技术与管理方面的挑战和瓶颈。频谱资源受限就是个大问题。地面数字电视的频道数量和带宽容量都不够充裕,没办法像互联网新媒体平台那样,为用户提供海量又丰富多样的视频内容。这就导致它的服务能力大打折扣,很难满足用户越来越个性化、多元化的内容消费需求。终端设备市场萎缩也给它带来了冲击。如今,智能电视、移动终端等多功能设备越来越普及,人们更倾向于选择这些功能丰富的设备,传统单一接收地面信号的电视机市场空间越来越小。而且,用户对收视体验的要求也提高了,不再满足于单向接收节目,而是希望有互动、点播和定制服务,这对传统地面数字电视模式提出了严峻挑战。建设与维护成本高也是不容忽视的一点。塔台设施的搭建、发射设备的购置以及后续的技术升级,都需要持续不断地投入资金。但它的收益模式却比较单一,长期依赖国家财政补贴或者广告收入,缺乏多元化的盈利渠道,可持续发展动力不足。另外,在融媒体环境下,内容竞争愈发激烈。新媒体平台利用大数据、人工智能算法精准推送内容,吸引了大量用户流量。相比之下,地面数字电视在用户互动性、内容更新速度方面还有很大差距。这些因素相互交织,共同制约了地面数字电视覆盖工程在新时代的竞争力与持续发展能力,亟待通过创新与改革来打破困境。

2.3 政策支持与行业改革趋势

为应对地面数字电视发展面临的挑战,国家有关部门积极行动,出台一系列政策支持与改革举措,力促其与新媒体平台深度融合。《国家广播电视发展规划纲要》明确方向,提出推动地面数字电视和互联网、移动通信等新技术融合应用,探索构建协同传输机制,以此提升广播电视公共服务能力,让服务更高效、更广泛。国家大力推进智慧广电建设,引入云计算、大数据、人工智能等前沿技术,推动广播电视业务向数字化、网络化、智能化迈进。像建设智慧塔台、智慧发射平台,能实现广播信号的智能调度与精准覆盖,让信

号传输更稳定、覆盖更全面。5G广播技术的探索也在积极推进。5G技术低延迟、高带宽、大连接的特性,与传统地面数字电视优势互补,拓展了业务形态。开展5G广播应用试点,可实现大规模、高质量视频内容的无缝推送,满足用户在车载、移动终端等多场景的观看需求,带来全新视听体验。行业内部同样积极作为,探索新商业模式。引入付费内容、定制化频道、广告精准投放、数据服务等多元化收入渠道,缓解了长期依赖单一财政补贴的运营困境,为持续发展注入新动力。

尽管地面数字电视覆盖工程面临技术升级与市场竞争压力,但在国家政策支持 and 行业积极改革下,正朝着与新媒体深度融合、业务多元化、技术智能化的方向稳步前行。这不仅提升了其市场竞争力,更为保障公共信息安全、服务社会治理、促进文化传播筑牢了根基。

3 新媒体平台在信息传播中的地位与特点

3.1 新媒体平台的发展态势

新媒体平台依托互联网技术,通过移动终端、社交网络、视频平台等多样化渠道,实现内容的即时发布与广泛传播。近年来,短视频平台、直播平台等新兴媒介形态迅猛发展,用户规模持续扩大,深刻改变了大众,尤其是年轻群体的媒介使用习惯。与传统媒体相比,新媒体平台具有更强的互动性、个性化与灵活性,用户不仅是内容的接收者,更是积极的参与者和创作者。通过点赞、评论、转发等互动方式,用户能够直接影响内容传播效果。此外,随着人工智能、大数据分析等前沿技术的广泛应用,新媒体平台的内容推送与用户行为分析能力持续增强。平台能够基于用户兴趣、浏览习惯等数据精准推荐内容,提高信息传播的针对性和有效性,同时也大幅提升了用户黏性和平台活跃度。这种技术与内容相结合的传播模式,使新媒体平台在信息传播格局中占据越来越重要的地位,对传统媒体形成了深远的影响与挑战。

3.2 新媒体平台的技术优势

新媒体平台在技术层面展现出明显优势:一是基于云计算的内容存储与分发机制,使海量数据处理与传输成为可能;二是依托智能推荐系统,实现针对性内容推送,提高传播效果;三是多屏互动与跨平台整合能力,使信息覆盖范围更广。此外,新媒体平台能够快速响应市场变化与用户需求,推出定制化内容与服务,增强市场竞争力。这些优势使新媒体在信息传播领域形成强势地位,成为传统媒体转型的重要参照。

4 地面数字电视与新媒体协同传输机制构建的必要性

4.1 满足多样化信息需求

在当下这个信息爆炸的时代,受众的媒介素养不断提升,大家不再满足于单一渠道获取信息,而是有着多层次、多样化的需求。传统地面数字电视,一直以来主要承担着提供基础性公共服务信息的重任,它就像一个可靠的“信息基石”,稳定地传递着各类基础资讯。而新媒体平台则另辟蹊

径,将重点放在了个性化内容与互动体验上。在这里,用户可以根据自己的喜好选择想看的内容,还能和其他人互动交流,充满了趣味性与参与感。

要是让传统地面数字电视和新媒体平台协同传输,那就可能实现优势互补啦!一方面,能保障信息覆盖的全面性和安全性,让重要信息准确无误地传达到每一个角落;另一方面,又能为用户提供丰富多样的内容选择,满足不同人的口味。特别是在应急广播、政务信息公开这些关键领域,协同机制能大大提高传播效率和影响力,让信息在第一时间传递给大众,发挥出更大的作用。

4.2 优化资源配置与系统效率

地面数字电视和新媒体平台在多个方面都独具优势。地面数字电视在基础设施上较为成熟,有着稳定的信号发射与接收体系;频谱资源利用也有其独特模式,能保障基础信号广泛覆盖。新媒体平台则在内容制作上更为灵活多元,能快速响应市场需求。

建立协同传输机制,能让二者资源实现最优配置。把基础性、公益性内容,如政策法规、科普知识等,借助地面数字电视集中广播,确保全民覆盖、稳定接收。而个性化、娱乐性内容,像热门剧集、综艺等,通过新媒体平台分发,满足不同用户的兴趣偏好。如此一来,既避免了资源的重复投入,降低了整体运营成本,又能让信息传输系统根据不同场景和需求灵活调整,增强适应能力。

4.3 推动行业创新与融合发展

协同传输机制的搭建,宛如一座桥梁,巧妙地打破了传统媒体与新媒体之间那道无形的界限,为广播电视行业带来了全新的发展契机。在内容制作上,依托大数据与人工智能技术,能精准洞察不同平台用户的喜好,实现多平台内容的协同创作与精准分发,让优质内容触达更广泛的受众。传播渠道方面,借助5G技术的高速稳定特性,高质量视频内容可实时传输,无论用户身处何地,都能畅享流畅的视听体验。这一机制的创新,不仅推动了广播电视行业在技术层面的进步,更促使运营模式发生深刻变革,催生出多元化的商业模式。由此,整个行业得以在激烈的市场竞争中实现转型升级,焕发出新的生机与活力。

5 协同传输机制的构建原则与实现路径

5.1 构建原则

地面数字电视与新媒体协同传输机制建设,应坚持以

下基本原则:

互补性原则:充分发挥两类平台在技术、内容与服务模式上的互补优势,形成高效协同。

安全性原则:特别关注信息安全与数据隐私保护,确保公共信息传播渠道的安全可靠。

用户导向原则:以用户需求为核心,设计符合用户使用习惯与体验要求的协同模式。

持续创新原则:结合最新技术成果,不断优化协同机制,适应市场与技术环境变化。

5.2 实现路径

推动地面数字电视发射系统与新媒体平台的技术整合,建立统一的内容管理与分发平台,实现信号统一调度与传输。利用云计算、大数据平台,实现多渠道数据汇聚与分析,优化内容推送策略。

构建面向不同平台的内容协作机制,明确内容制作、审核与发布流程。例如,重要公共信息由地面数字电视优先发布,新媒体平台同步跟进;娱乐性、商业性内容则由新媒体平台主导制作与传播。

6 结语

融媒体时代对信息传播提出了更高要求,单一渠道与平台已难以满足受众多样化需求。地面数字电视覆盖工程与新媒体平台在各自领域具有不可替代的重要性,通过构建协同传输机制,可以实现资源优化配置、服务模式创新与技术体系升级。本文围绕协同机制的建设背景、必要性、基本原则与实现路径进行了系统性探讨,提出了具体的对策建议。

参考文献

- [1] 惠鸣.创新机制,深化供给广播电视公共文化服务高质量发展[J].广播电视网络,2024,31(10):13-24.
- [2] 李翔.建设“三多一高”应急广播新体系[J].广播电视网络,2024,31(07):6-8.
- [3] 聂夏.广播电视公共服务现状分析及对策建议——以云南省玉溪市为例[J].广播电视网络,2024,31(06):37-39.
- [4] 孙璐杨.全媒体场域中我国主流意识形态传播研究[D].贵州师范大学,2024.
- [5] 聂夏,胡小龙.基层广播电视公共服务网络标准化建设现状分析及建议——以云南省玉溪市为例[J].广播电视网络,2023,30(08):49-51.

Development of a Train TSN Network Card Based on FPGA

Tao Huang¹ Hao Hai^{2,3} Hongqiang Lv¹ Zhigang Wang³ Xin Tian^{4*}

1. CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210031, China

2. Nanjing Quanxin Cable Technology Co., Ltd. Shanghai Branch, Shanghai, 201103, China

3. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200030, China

4 China Electronics Standardization Institute, Beijing, 100007, China

Abstract

To meet the urgent demands of train communication systems for high real-time performance, high reliability, and low latency, this paper proposes an FPGA-based onboard TSN terminal network card design. The system architecture consists of hardware, logic, and software components, and adopts key TSN protocols such as IEEE 802.1AS-2020, IEEE 802.1Qbv, and IEEE 802.1CB to support time synchronization, scheduling control, and redundancy mechanisms. A system-level testing scheme tailored for rail transit scenarios was developed, and performance evaluation was conducted using a TSN testing platform. The verification results show that the proposed TSN network card meets system application requirements in terms of time synchronization accuracy, traffic scheduling efficiency, and fault-tolerant switching. Future work will focus on the standardization of communication interfaces to promote product engineering and practical deployment.

Keywords

train communication network; deterministic communication; time sensitive networking; terminal network interface card; field-programmable gate array

一种基于 FPGA 的列车 TSN 网卡研制

黄涛¹ 海浩^{2,3} 吕红强¹ 王志刚² 田欣^{4*}

1. 中车南京浦镇车辆有限公司, 中国·江苏 南京 210031

2. 南京全信传输科技股份有限公司上海分公司, 中国·上海 201103

3. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 中国·上海 200030

4. 中国电子技术标准化研究院, 中国·北京 100176

摘 要

为满足列车通信系统对高实时性、高可靠性和低延迟的迫切需求, 文章提出一种以FPGA为核心的车载TSN终端网卡研制方案。该方案系统架构设计分为硬件、逻辑和软件共三部分, 采用IEEE 802.1AS-2020、IEEE 802.1Qbv、IEEE 802.1CB等TSN关键协议, 支持时间同步、调度控制与冗余容错机制。针对轨交场景设计了系统测试方案, 并通过TSN测试平台进行性能评估。验证结果表明, 该TSN网卡在时间同步精度、流量调度效率及容错切换性能方面均达到系统应用要求。未来将重点开展通信接口标准化研究, 推动产品工程化应用。

关键词

列车通信网络; 确定性通信; 时间敏感网络; 终端网卡; 现场可编程逻辑门阵列

1 引言

列车通信系统需同时支持列控、乘客信息、视频监控、状态诊断等业务传输, 对数据传输的实时性、可靠性和带宽利用率等要求不断提升。传统解决方案基于多张物理网络^[1]或通过 VLAN 划分逻辑子网实现不同业务隔离^[2], 但仍存

在拥塞、丢包、抖动等影响确定性传输的瓶颈。时间敏感网络 (Time-Sensitive Networking, TSN) 作为 IEEE 802.1 工作组提出的协议标准, 旨在基于以太网实现端到端的确定性传输, 包括精准时间同步、低时延调度、资源隔离以及容错传输等能力, 已成为未来列车通信网络发展的关键技术方向, 然而适配列车场景的 TSN 终端网卡目前仍相对缺乏。

针对上述问题, 文章基于 FPGA 平台实现了一款车载 TSN 终端网卡, 研究的主要贡献包括: 参考 OSI 模型进行系统需求分析和架构设计, 实现了硬件、逻辑和软件协同架构, 构建了支持百兆网口的 TSN 网卡, 提供包含确定性通信的差异化传输服务, 并完成基础通信功能测试和 TSN 关

【作者简介】黄涛 (1981–), 男, 中国江苏滨海人, 本科, 正高级工程师, 从事列车网络技术研究。

【通讯作者】田欣 (1982–), 男, 中国北京人, 本科, 高级工程师, 从事电子元器件标准化研究。

键协议测试。

2 系统需求分析

基于 TSN 的列车通信网络的核心目标之一就是降低网络架构的复杂性,把原有独立组网的各个子系统融合为一个综合承载网络^[1],设计不同的数据传输机制提供差异化传输服务。因此在设计 TSN 网卡时需充分考虑以下需求:

(1) 时间同步精度:支持 IEEE 802.1AS-2020 generalized Precision Time Protocol^[3] (gPTP),保证主从时钟的时间偏移小于 100ns,支撑准确调度能力。

(2) 时间敏感调度:实现 IEEE 802.1Q Enhancements for scheduled traffic^[4] (时间感知调度),确保关键数据流在指定时间窗口传输,满足实时性和确定性要求。

(3) 信用整形与带宽控制:支持 IEEE 802.1Q Credit-Based Shaper^[4] (即信用整形),在端口速率为 100Mbps 条件下,实际有效带宽不低于线速率的 90%,高效利用网络资源。

(4) 冗余容错机制:实现 IEEE 802.1CB 帧复制与消除机制^[5],支持冗余链路的零延时切换,确保通信不中断,提高系统可靠性。

(5) 通信接口兼容性:支持 IEEE 802.1Q VLAN,应用可通过 SOCKET 接口及 TCP/IP 协议栈进行通信,并且能够与 TRDP 协议进行集成^[6]。

参考 OSI 模型对 TSN 网卡的能力需求进行层次化分析,各层次功能需求分配如下:

(1) 物理层:实体承载提供主机接口 (PCI)、100M TSN 网络接口 (M12-D)、供电和调试接口等,能够集成于 3U CPCI 标准主机环境中。

(2) 链路层:TSN 协议承载,实现 MAC 层,支持帧封装、解封装、帧校验、重传和多队列 DMA 调度。

(3) 网络层:报文转发和路由,支持 ARP、ICMP 和 IPv4。

(4) 传输层:提供端到端的传输通道,支持 UDP,区分不同报文传输策略,处理 PTP 报文等。

(5) 应用层:提供数据收发接口 (Socket 和 TRDP)、网卡管理和 gPTP 时间同步功能。

3 系统架构设计

根据网络系统需求分析,将相关功能需求按照技术特点映射到系统架构的组成部分,分为硬件、逻辑和软件,各部分主要设计说明如下:

(1) 硬件:实现物理层对应的需求,基于 FPGA 设计硬件电路,提供 PCIe 接口、2 路 TSN 网口,实现板载调试口、电源和时钟电路,采用 3U CPCI 标准结构形式集成于主机安装环境;

(2) 逻辑:运行在 FPGA 芯片上,实现链路层和网络

层对应的需求,负责处理与数据路径相关、速率要求较高的任务,包括 MAC、TSN 核心协议、PCIe 硬核、多队列 DMA,支持时间戳功能;

(3) 软件:驱动底层硬件,服务应用程序,提供通信接口,处理管理类、策略类、状态统计类任务,包括设备管理、配置管理、通信管理和接口管理等,实现 gPTP、TRDP 模块。

4 硬件设计

硬件设计为核心子卡和载板两部分,其中小型化子卡实现核心功能电路,3U CPCI 载板实现外部接口电路,可通过更换载板快速完成不同类型主机适配。

子卡电路基于 Xilinx XC7K325T 芯片设计,外围电路包括电源、复位、时钟、flash 和 JTAG 接口等,通过板间连接器与载板互连。载板电路框图如下图 1 所示,由背板 CPCI 连接器引入 5V 供电,电源模块产生工作电压。基于 PCIe-PCI 桥芯片将 PCIe 转换为 PCI 32bit 总线与宿主机通信,时钟 buffer 输出 2 路同源 100MHz 时钟信号分别提供给子卡和桥接芯片。设计 2 路 100Base-T 网口,连接器采用 M12-D,提供 LED 用于指示工作状态。

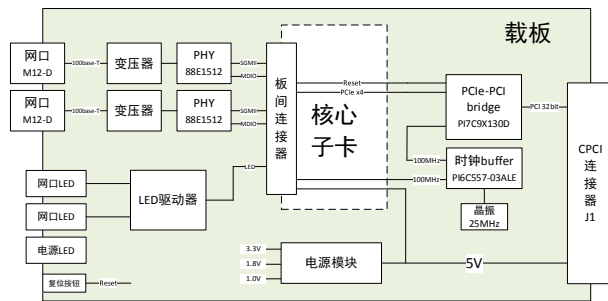


图 1 载板电路框图

5 逻辑设计

FPGA 逻辑设计架构如图 2 所示,包括 Time Sensitive End (时间敏感网络终端)和 DMA (直接内存访问)等核心模块,axi_adapter 和 ptp_ts_port 等桥接模块,以及 SGMII 硬核与 PCIe 硬核等接口 IP。

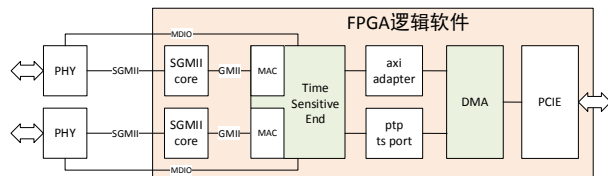


图 2 逻辑设计框图

时间敏感网络终端由多个模块组成,网络/主机输入模块将描述符写入集中查表模块、数据写入集中缓存模块;网络输入/主机输出模块针对上行方向,前者负责时钟域转换、位宽转换、帧解析、提取描述符,后者进行端口轮询、存储转发、帧消除;主机输入/网络输出模块针对下行方向,

前者识别报文类型、提取描述符，后者对描述符进行 Qbv、Qav 和严格优先级调度，帧复制处理后输出；寄存器配置模块实现 TSN 参数配置，时间槽模块根据配置产生时间槽信息。

DMA 模块配合 PCIe 接口实现主机内存与 FPGA 之间的数据高速搬运，axi_adapter 桥接模块实现 DMA 数据接口与 TSN 数据接口之间格式转换，ptp_ts_port 桥接模块实现 PTP 同步的全局时间切换到 TSN 内部时钟域、百兆以太网口的收发时钟域。

6 软件设计

软件根据在操作系统的部署位置分为用户态和内核态，用户态主要提供应用层通信接口和配置管理功能，内核态则提供网卡基础通信功能。按照各模块处理的数据特征分为数据面和控制面，数据面是报文收发的主要路径，对带宽、实时性和延迟要求较高，控制面负责配置、管理和状态维护。软件的整体设计架构如图 3 所示。

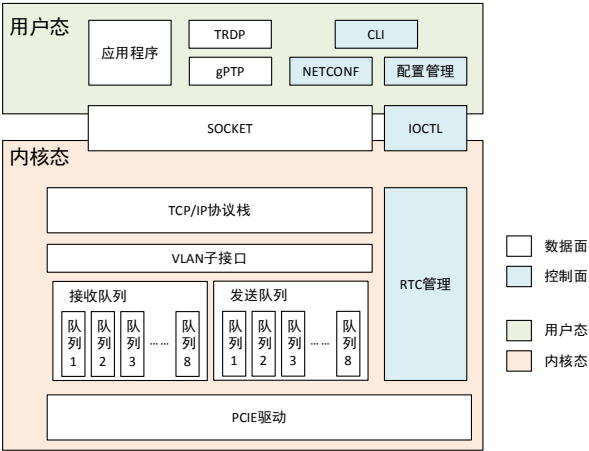


图 3 软件设计框图

应用程序调用 SOCKET 接口，进行 TCP/UDP 报文收发。在发送方向上，TCP/UDP 报文通过 TCP/IP 协议栈，在 VLAN 子接口添加 VLAN 标签，根据优先级字段或五元组映射表选择对应的队列进入 FPGA 处理。在接收方向上，报文从 FPGA 进入软件接收队列，根据优先级标识去除 VLAN 标签后送入 TCP/IP 协议栈，再通过 SOCKET 接口到达应用程序。

TRDP（即 Train Real Time Protocol）模块实现列车过程数据和消息数据的发送。gPTP 模块实现 IEEE 802.1AS 协议，包括报文创建与收发处理、BMCA 选举确定主从时钟角色。PCIE 驱动负责硬件初始化、DMA 通道建立和资源管理等。发送/接收队列管理 DMA 多队列、描述符和缓冲区等。

CLI（即 Command-Line Interface）模块实现配置管理信息输入，配置管理模块根据传递的参数，通过 PCIE 接口对 FPGA 寄存器进行操作。RTC 管理模块对 RTC 时钟进行查询、设置、时钟调整、周期调整等。

7 测试与验证

7.1 基本通信功能测试

将网卡装配于 3U CPCI 机箱中，通过网线将 2 个 M12-D 网口与 TSN 网络测试仪的 2 个 TSN 网口相连。针对 TCP、UDP、TRDP 等基本通信功能测试结果见表 1。在 SOCKET 接口上构建 TCP 和 UDP 应用，可稳定建立连接和收发数据。通过测试仪发送长度为 1500 字节的 UDP 报文，经网卡软件接收后转发回测试仪，验证最大有效带宽可达 99.93Mbps，大于 100M 网口线速率的 99%。基于 TRDP 协议栈部署 TRDP Publisher 与 Subscriber 模块，通过 Process Data 与 Message Data 通道模拟状态数据与控制指令，均可稳定工作。

表 1 基本通信功能测试结果

测试用例	测试要求	测试结果	测试通过
TCP 通信测试	连接建立、数据收发稳定无异常	稳定无异常	是
UDP 通信测试	数据收发正常	正常	是
UDP 有效带宽	MTU=1500 字节时不小于线速的 90%，即 90Mbps	99.93Mbps，大于 99%	是
TRDP PD 测试	支持周期数据发布功能，周期范围 2ms ~ 100ms 均可稳定工作	工作稳定	是
TRDP MD 测试	支持事件驱动通信，能够正确识别并响应 MD 请求	工作正常	是

7.2 TSN 关键协议测试

基于 IEEE 802.1AS-2020 的时间同步是实现 TSN 网络确定性的关键，设置测试仪为主模式、TSN 网卡为从模式，通过 ptp4l 软件对时钟偏差的 RMS（即 Root Mean Square，均方根）统计值进行分析。结果显示，时间同步偏差初始值较大，开始同步后逐渐收敛，经过大约 7 条统计值（累计时间约 7 秒）后收敛到 $\pm 100\text{ns}$ 以内（如图 4 左），之后稳定在 $\pm 70\text{ns}$ 以内（如图 4 右），满足应用需求。

验证 IEEE 802.1Qbv 时间敏感调度需要确认关键流是否按照门控列表的排程发送。配置调度周期为 5ms，设置某高优先级数据流在每个周期的 512us 窗口内发送。结果表明，该数据流在每个 5ms 周期内按时发送，发送窗口精准控制在配置时间段内。

针对 IEEE 802.1Qav 定义的信用整形机制，关键是确认低优先级数据在不影响高优先级调度下能平稳发送。通过测试仪发送 90Mbps 带宽数据，TSN 网卡指定队列带宽设为 30Mbps 和 80Mbps，测试仪收到的数据带宽分别为 $30\text{Mbps} \pm 1\text{Mbps}$ 、 $80\text{Mbps} \pm 1\text{Mbps}$ ，说明低优先级流量预留带宽有效。

确认 IEEE 802.1CB 定义的可靠性机制，关键是要验证链路故障下数据是否不丢包。启用 CB 机制后断开主链路，

在接收端抓包观察未出现任何丢包，验证了 CB 的冗余容错能力。

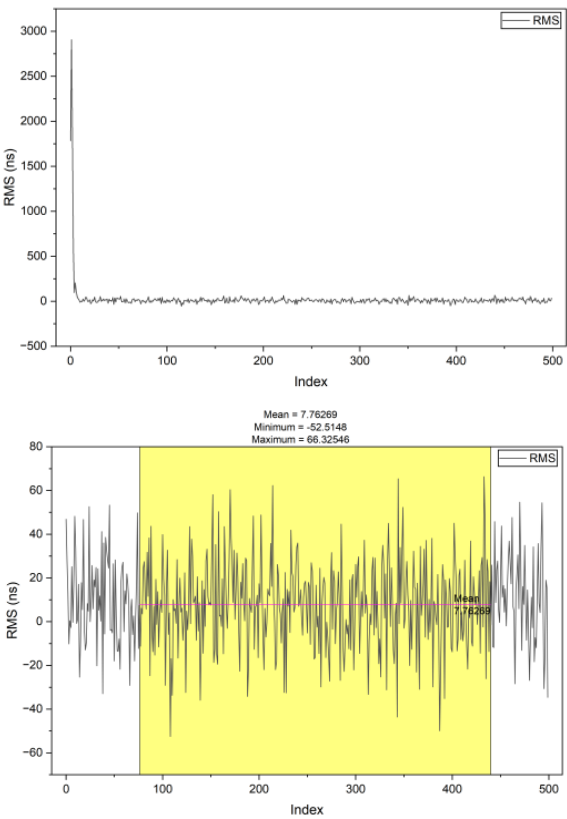


图 4 时间同步精度测试统计

8 结论

本文围绕列车 TSN 网卡展开研究，通过层次化的系统需求分析，设计了合理的系统架构，完成硬件、逻辑和软件开发，研制一款高性能车载 TSN 网卡。实验表明，TSN 网卡在时间同步、流量调度、容错性和有效传输带宽等方面表现出色，满足轨交数据传输的高可靠性和确定性需求。随着列车通信系统的不断发展，仍有许多值得探讨的研究方向，例如增加支持 IEEE 802.1 Qbu 帧抢占功能以进一步提高关键数据的确定性，以及完善 TSN 应用层通信接口的标准化从而提升设备的互操作性。

参考文献

[1] 宋有为,余浩旻,张春雨.智能中枢平台综合承载网络方案研究[J].铁道通信信号, 2021,57(8):37-41, 45.

[2] 董衡,王婵.时间敏感网络及其在轨道交通领域的应用探讨[J].控制与信息技术,2021(1):95-98, 105.

[3] IEEE.IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Timing and Synchronization for Time-Sensitive Applications: IEEE Std 802.1AS-2020[S].2020.

[4] IEEE.IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Bridges and Bridged Networks: IEEE Std 802.1Q-2018[S].2018.

[5] IEEE.IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Virtual Bridged Local Area Networks-Frame Replication and Elimination for Reliability: IEEE Std 802.1CB-2017[S].2017.

[6] 齐玉玲,黄涛,张军贤,等. 基于时间敏感网络的列车通信网络研究及应用[J].城市轨道交通研究, 2024,27(5):184-189.

Research on the construction scheme of digital twin of LNG storage tank

Siqin Liu¹ Lidong Chen¹ Xuerui Teng² Lin Cai¹ Bo Zhong³

1. Hainan Natural Gas Co., Ltd., Danzhou, Hainan, 571700, China

2. Tianjin LNG Co., Ltd., Tianjin Binhai New Area, Tianjin, 300450, China

3. Anhui Chuanbai Technology Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230061, China

Abstract

This study aims to explore and implement a digital twin construction scheme for LNG storage tanks to improve the operation efficiency and safety management level of LNG storage tanks. Through the application of digital twin technology, the limitations of traditional LNG storage tank monitoring and maintenance are overcome, and real-time monitoring and predictive analysis of the tank status are realized. A comprehensive strategy is adopted to first collect and analyze the real-time operation data of LNG storage tanks, establish high-precision digital models, and then use advanced computer simulation technology to simulate the operation status of storage tanks under various conditions to predict potential risks and performance problems. At the same time, the maintenance strategy of the storage tank is optimized by machine learning algorithms, and the accuracy and efficiency of prediction are improved through in-depth analysis of historical data, and the dynamic monitoring and management of the entire life cycle of LNG storage tanks is realized. The research results demonstrate the practical application value of digital twin technology in LNG tank management, which can monitor the status of the tank in real time, predict and warn of potential risks in a timely manner, and confirm the high accuracy and reliability of the model by comparing the actual data with the model prediction. Maintenance strategies optimized with machine learning significantly improve operational efficiency and safety, reducing the risk of unexpected incidents. This study proves the significant role of digital twin technology in improving the safety and efficiency of LNG storage tanks, effectively reducing accident risks through real-time monitoring and predictive analysis, improving the intelligent level of operation management, and providing new ideas for the efficient management of LNG storage tanks in the future.

Keywords

digital twin; LNG storage tanks; operation evaluation; Visualize the application

LNG 储罐数字孪生体构建方案研究

刘思勤¹ 陈立东¹ 滕学睿² 蔡林¹ 钟波³

1. 国家管网集团海南天然气有限公司, 中国·海南 儋州 571700

2. 国家管网集团天津液化天然气有限责任公司, 中国·天津 300450

3. 安徽省川佰科技有限公司, 中国·安徽 合肥 230061

摘 要

本研究旨在探索并实施一种LNG储罐的数字孪生体构建方案,以提高LNG储罐的运行效率和安全管理水平。通过应用数字孪生技术,克服了传统LNG储罐监控和维护的限制,实现了对储罐状态的实时监控和预测分析。研究中采用了综合策略,首先收集并分析LNG储罐的实时运行数据,建立高精度的数字模型,然后运用先进的计算机仿真技术,模拟储罐在各种条件下的运行状态,以预测潜在的风险和性能问题。同时,结合机器学习算法优化储罐的维护策略,通过深入分析历史数据,提高预测的准确性和效率,实现了对LNG储罐全生命周期的动态监控和管理。研究结果展示了数字孪生技术在LNG储罐管理中的实际应用价值,该技术能够实时监控储罐状态,及时预测和警告潜在风险,通过将实际数据与模型预测进行对比,证实了模型的高准确性和可靠性。采用机器学习优化的维护策略显著提高了运行效率和安全性,降低了意外事故的风险。本研究证明了数字孪生技术在提升LNG储罐安全性和效率方面的显著作用,通过实时监控和预测分析,有效降低事故风险,提高运行管理的智能化水平,并为未来LNG储罐的高效管理提供了新思路。

关键词

数字孪生; LNG储罐; 运行评价; 可视化应用

1 引言

近年来,数字孪生技术作为一种新兴的数字化转型工

具,得到了广泛的关注和应用。数字孪生技术的核心思想是通过将物理实体与其数字模型相结合,利用实时数据和仿真技术,实现对物理实体的全面感知、预测和优化。在制造业中,数字孪生技术已被广泛应用于生产线全生命周期的管理,显著提升了生产效率和产品质量^{[3][5][17]}。数字孪生技术

【作者简介】刘思勤(1998-),女,中国天津人,助理工程师,从事数字孪生研究。

在电力系统中的应用也展现了其巨大潜力,通过实时监测和智能分析,有效提升了电力系统的运行效率和可靠性^[19]。石油化工企业也逐渐认识到数字孪生技术的重要性,探索其在设备管理和生产优化中的应用,为企业的数字化转型提供了新的思路和方法^{[7][8]}。

在天然气行业,数字孪生技术的应用研究也取得了一定的进展。通过构建高精度的数字孪生模型,研究人员能够实现对天然气设备的实时监测和状态评估^{[10][11]}。数字孪生技术在天然气管网管理中的应用,有效提高了设备的运行安全性和维护效率^{[12][20]}。在具体的应用实例中,数字孪生技术被用于智能巡检系统的设计与实现,显著提升了输油气站场的管理水平和安全性能^[9]。基于大数据分析和机器学习算法,数字孪生技术能够更准确地预测设备的故障风险和寿命,为设备的预防性维护提供了科学依据^{[6][14]}。

2 数字孪生体构建思路和方法

2.1 储罐数字孪生体构建

2.1.1 数据采集和处理

在数字孪生应用中,每一个阶段物理实体与虚拟模型都需要持续进行互动,并对虚拟模型做迭代优化^[9],这个过程的媒介是各种数据。数据是数字孪生的重要组成部分,数字孪生体的构建需要获取储罐的相关数据,包括罐体的立体几何形状、罐体连接的管道及设备、罐体内部接口等。这些数据可以通过图纸、现场勘察和设备监控系统获取^[10]。在数据采集的过程中,需要考虑数据的准确性和完整性,尤其是对于关键数据的获取要格外注意。

采集到数据后,需要进行处理,将数据转化为数字孪生体所需要的格式。数据处理过程中,需要注意保持数据的一致性和完整性,避免数据的缺失或错误。大量的结构化、非结构化和半结构化的数据可通过大数据分析,识别行为特征和模式,洞察其行为趋势,以帮助用户做出决策^[11]。数字孪生与大数据在实际应用中,都会产生有益的效果,而且效果高度重叠,例如提高生产效率、管理效率,以及预测设备、产品的故障风险、寿命等^[12]。

2.1.2 三维建模

在储罐数字孪生项目中,数字孪生体的构建是整个项目的基础^[13],构建的核心则是虚拟建模技术的高保真性和动态仿真,以尽可能在计算机中还原出物理实体的各种物理属性及几何规则^[14]。三维建模遵循的主要原则包括:首先,数据的高精度和完整性,通过激光扫描技术、三维摄影测量技术以及无人机航拍等手段获取储罐的几何数据。其次,模型的高保真性,确保三维模型准确反映储罐的几何特征和材质属性。再次,动态仿真和实时反馈,通过 ANSYS 等软件进行有限元分析和计算流体动力学模拟,模拟储罐在不同操作条件下的行为。最后,模型的可扩展性和可更新性,利用实时监控数据持续优化和更新模型,以确保数字孪生体能够

准确反映储罐的实际运行状态^{[15][16][17]}。

三维建模的第一步是数据采集,通过激光扫描技术、三维摄影测量技术以及无人机航拍等手段获取储罐的几何数据。激光扫描技术提供高精度的点云数据,使用 Faro Focus3D S120 激光扫描仪,扫描频率为 976,000 点/秒,测量范围达 120 米。三维摄影测量技术采用 Nikon D850 相机,捕捉储罐的详细纹理和颜色信息,图像分辨率为 45.7MP。无人机航拍使用 DJI Phantom 4 RTK 无人机,进行全景图采集,具有厘米级定位精度。这些数据在采集后通过软件如 Faro Scene 和 Agisoft Metashape 进行数据清洗和预处理,确保数据的准确性和完整性^[16]。处理后的数据导入 Autodesk Revit 进行初步建模,建立储罐的基础几何模型,包含储罐的高度、直径、壁厚、内部结构等详细参数。

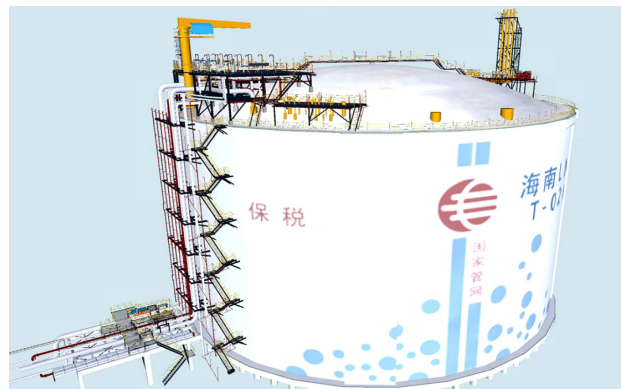


图1 LNG 储罐的三维模型示意图

在数据采集与预处理后,三维模型生成过程需严谨执行。首先,于 Autodesk Revit 中构建储罐基础几何模型,明确尺寸;随后,利用 SolidWorks 精细化建模,含壁厚、支撑结构等细节,并标注传感器数据接口。接着,在 3ds Max 中进行纹理映射与光照渲染,确保模型材质真实。模型生成后,通过 ANSYS 进行有限元分析,模拟不同操作条件,验证模型准确性。整个过程中,需严格质量控制,采用高精度传感器、多次采集、专业软件处理数据,分层建模细化结构,并通过 FEA 与 CFD 模拟验证模型。最终,通过实时监控与反馈系统持续优化模型,确保数字孪生体能准确反映储罐真实状态。

2.1.3 数字孪生体验证

数字孪生体的构建完成后,需要进行验证,验证其与实际储罐的一致性。验证过程中,需要将数字孪生体与实际储罐进行比对,检查数字孪生体中的数据是否准确,模型是否与实际储罐一致。验证完成后,数字孪生体将成为后续设备运行评价流程和可视化应用建设的基础。

完成数字孪生体构建后,对 LNG 储罐的数字孪生体进行了详细的技术细节验证。首先,通过三维扫描技术和计算机视觉算法,实现了数字孪生体与实际储罐在几何结构上的高度对比和一致性验证。这一步骤至关重要,因为它确保了

数字孪生体在形状、尺寸和结构完整性方面准确地反映了实际储罐的特征。接着,应用时间序列分析和机器学习技术,帮助分析储罐的运行模式和趋势^[18],以及在不同条件下的表现,从而验证数字孪生体的行为预测准确性。面对数据不一致性和模型精度问题,引入了有限元分析和计算流体力学模拟等高级算法,结合云计算技术,有效处理了大量的数据和复杂的计算需求。

为了提升数字孪生体模型的准确性和可靠性，除了以上技术细节外，验证中还需要重点关注数据采集过程中的

物联网技术运用，以确保集成的传感器网络能实现对储罐状态的实时监测。

2.2 设备运行评价流程构建

2.2.1 设备运行评价指标体系建立

在设备运行评价流程中,需要建立设备运行评价指标体系。针对选取的关键设备,包括低压泵、储罐、LTD、气动调节阀,建立设备运行评估指标体系(图2)。评估指标体系需要考虑设备的特点和运行状态,既要全面细致,又要简明易懂^[19]。

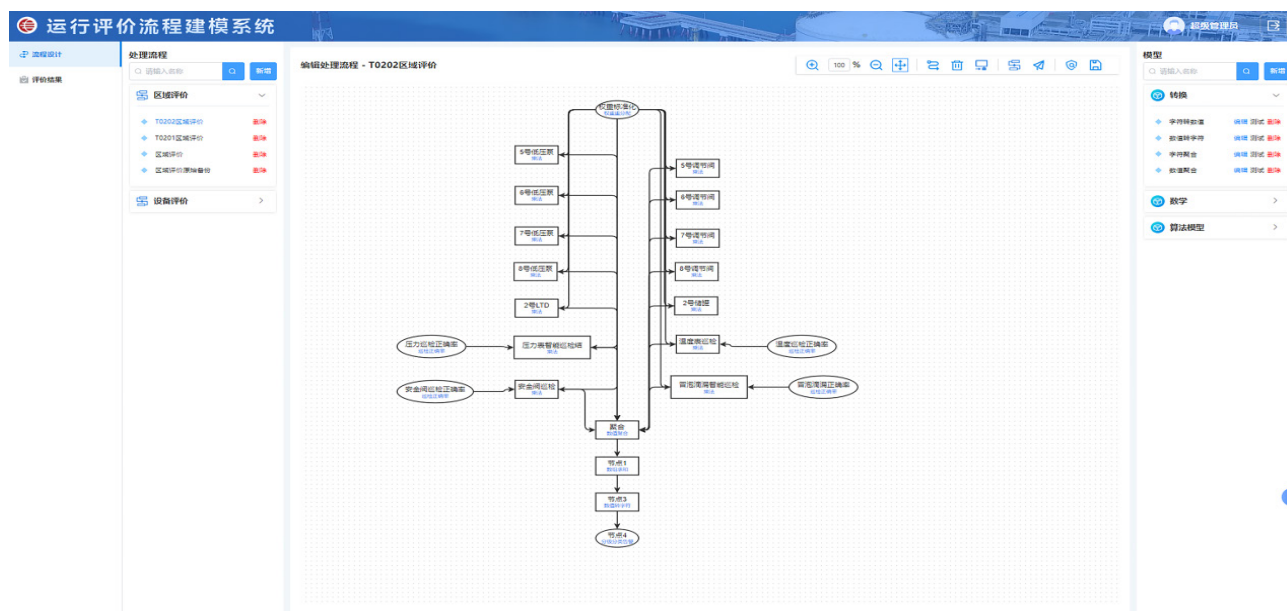


图 2 设备运行评价流程建模系统区域评价过程示意图

低压泵评价指标包括振动及特征参数。储罐评价指标包括气相压力、液相温度、沉降及泄漏。LTD 为液相密度。气动调节阀为开度稳定性。评价指标需要根据实际情况进行调整和完善, 保证评价指标的全面性和可操作性^[20]。

2.2.2 设备运行评价流程建立

设备运行评价流程是对储罐中的关键设备进行系统评估的重要过程^[21]。在海南 LNG 接收站储罐数字孪生项目中,选取了低压泵、储罐、LTD、气动调节阀等关键设备进行评价。该流程的建立包括数据接入、数据处理、评价指标体系构建、权重确定、评价计算和结果展示等环节^[22]。

2.2.2.1 数据接入

数据接入是设备运行评价的首要步骤，负责将设备运行状态的实时数据输入到监控系统中。对于低压泵，主要监测其振动、电流和流量数据。振动数据使用加速度传感器（ADXL345），采样频率为 1000Hz，以确保高频振动特征的捕捉。电流数据通过电流传感器（LEM LA 55-P），采样频率为 10Hz，确保对电流波动的实时监控。流量数据使用超声波流量计（GE Panametrics PT878），采样频率为 1Hz，监测流体流量的变化。所有传感器通过 Modbus RTU 协议连接到数据采集器（National Instruments NI cDAQ-

9178), 数据采集器将传感器数据传输至中央监控系统。

2.2.2.2 数据处理

在数据接入后，数据处理是评价流程的关键步骤。通过电流及流量数据计算出低压泵的运行特征参数，包括电流均值、电流波动率、流量均值和流量波动率。振动数据经过快速傅里叶变换（FFT）处理，提取振动频谱中的关键特征值，如振动幅值和频率分量。数据处理使用 Python 编程语言结合 NumPy 和 SciPy 库进行信号处理和特征提取。为确保数据的准确性和完整性，使用数据清洗技术去除异常值和噪声。处理后的数据进行归一化处理，消除量纲差异对评价结果的影响。

2.2.2.3 评价指标体系构建

建立设备运行评价指标体系是进行科学评估的基础。评价指标需要全面反映设备的运行状态和性能。对于低压泵，评价指标包括以下几类：

振动特征指标：如振动幅值、频率分量。振动特征能够反映设备的机械状况和运行稳定性。

电流特征指标：如电流均值、电流波动率。电流特征能够反映设备的电气性能和负载情况。

流量特征指标：如流量均值、流量波动率。流量特征

能够反映设备的工作效率和流体传输能力。

对于储罐、LTD、气动调节阀等设备的评价指标体系分别包括：

- ①储罐：
 - 气相压力
 - 液相温度
 - 沉降
 - 泄漏
- ② LTD：
 - 液相密度
- ③气动调节阀：
 - 开度稳定性

这些指标必须具备明确的定义和测量方法，以确保评价过程的客观性和可重复性。

2.2.2.4 权重确定

在评价过程中，不同指标的重要性不同，需要为每个指标分配权重。权重的确定通常通过专家打分法（Expert Scoring Method）进行（表 1）。具体步骤如下：

专家打分：邀请领域内的专家对每个指标的重要性进行评分。评分可以采用 1-10 的评分制。

权重计算：将所有专家的评分进行统计，计算每个指标的平均得分。

层次分析法（AHP）：构建判断矩阵，对各指标进行两两比较，计算指标的相对权重。

表 1 专家打分表

指标	专家 1	专家 2	专家 3	平均得分	权重 (%)
振动幅值	8	9	8	8.33	30
电流均值	7	8	7	7.33	26.4
电流波动率	6	7	6	6.33	22.8
流量均值	7	8	7	7.33	26.4
流量波动率	5	6	5	5.33	19.2

根据平均得分，可以确定各指标的权重。例如，振动

幅值的权重为 $\frac{8.33}{8.33+7.33+6.33+7.33+5.33}$ 。

2.2.2.5 评价计算

评价计算是根据处理后的数据对设备运行状态进行评分的过程。在评价计算过程中，首先对每个指标进行标准化处理，以消除量纲差异的影响。标准化处理通常采用极差标准化方法，将指标值转换为 0 到 1 之间的标准化值。公式如下：

$$S_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

其中， S_i 为第 i 个指标的标准化值， X_i 为第 i 个指标的实际值， $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别为该指标的最大值和最小值。

然后，根据各项指标的权重，计算出设备的综合运行评价得分。综合运行评价得分的计算公式如下：

$$S = \sum_{i=1}^n w_i \cdot S_i$$

其中， w_i 为第 i 个指标的权重， S_i 为第 i 个指标的标准化值。

2.2.2.6 结果展示

评价结果通过可视化手段进行展示，以便操作人员及时了解设备运行状态。结果展示包括低压泵的运行评价得分、振动特征参数变化趋势、电流和流量波动趋势（图 3）。使用 Tableau 软件创建数据仪表盘，显示低压泵的实时运行状态和历史趋势（表 2）。仪表盘包含多个图表，如折线图显示振动幅值的变化趋势，柱状图展示电流波动率和流量波动率的对比，饼图显示各评价指标的权重分布（表 3）。

表 2 低压泵评价指标及权重

指标	标准化值 S_i	权重 w_i	权重 (%)
振动幅值	0.75	0.30	30
电流均值	0.65	0.26	26.4
电流波动率	0.55	0.23	22.8
流量均值	0.70	0.26	26.4
流量波动率	0.50	0.19	19.2

表 3 低压泵综合运行评价得分

指标	标准化值 S_i	权重 w_i	计算结果 $w_i \cdot S_i$
振动幅值	0.75	0.30	0.225
电流均值	0.65	0.26	0.169
电流波动率	0.55	0.23	0.127
流量均值	0.70	0.26	0.182
流量波动率	0.50	0.19	0.095

综合运行评价得分 S 为各计算结果之和： $S=0.225+0.169+0.127+0.182+0.095=0.798$

通过这些可视化工具，操作人员可以直观地查看设备的运行状态，及时发现异常并采取相应的维修和保养措施。通过表格形式展示权重确定和评价计算结果，可以清晰地了解各个指标对综合评价的贡献，确保评价过程的透明性和科学性。

3 研究成果及应用效果

3.1 项目研究成果

3.1.1 储罐三维场景建立

基于储罐静态孪生体，借助高渲染技术，在统一坐标系下，运用空间叠置策略，构建了储罐区域的三维场景。该场景支持用户通过键盘和鼠标进行旋转、缩放等操作，全方位展示储罐运行状态。在构建过程中，采用 Unreal Engine 4 引擎实现动态光照、材质映射等高级渲染效果，储罐表面采用 PBR 技术以增强金属质感和反射效果，管道和设备则通过细节纹理和法线贴图提升表现力。同时，应用 LOD 技术根据用户视角动态调整模型渲染精度，平衡性能与质量。为确保空间布局的准确性，使用 Autodesk Revit 建立模型并

导入 UE4，统一坐标系保证元素位置一致。在三维场景中，储罐、管道和设备通过高精度模型和逼真材质呈现，集成实时数据接口显示动态数值和状态信息，实现设备运行状态的实时监控。

3.1.2 基于评价结果的空间表达

接入设备运行评价结果，将评价结果与三维场景进行融合，实现评价结果的空间表达。在三维场景中，通过颜色、符号、形状等可视化手段，将评价结果呈现出来。例如，对于储罐的区域关键设备的评价结果，可以通过颜色的变化来表示设备状态，从而直观地反映储罐关键设备的运行情况。

3.1.3 设备拆解培训

依托低压泵三维模型，以动画模拟形式可视化还原低压泵分解过程（图 5），服务设备拆解培训。通过设备拆解培训，可以提高维修人员的技能水平，减少设备维修时间和成本，提高设备的可靠性和可用性。

3.1.4 基于数据驱动的储罐液位及多点罐内温度展示

依托储罐三维模型，结合罐存业务数据，通过剖切效果，实现基于数据驱动的储罐液位及多点罐内温度展示，以及罐内结构、罐壁材质可视化呈现（图 6）。通过数据驱动展示，可以实时反映储罐液位和温度的变化，从而及时采取相应的措施保证储罐的安全运行。



图 3 设备评价结果及检维修建议示意图



图 4 LNG 储罐及场站三维场景示意图



图 5 低压泵设备零部件级拆解示意图

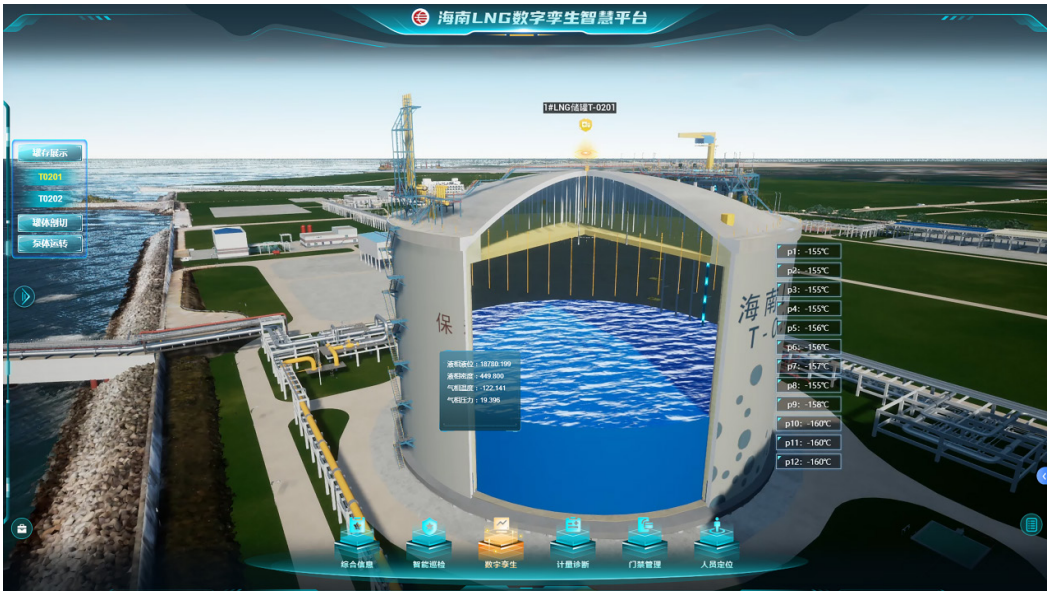


图 6 LNG 储罐罐存数字孪生仿真示意图

3.2 项目应用效果

在海南 LNG 接收站储罐数字孪生项目中，数字孪生技术的应用显著提升了生产效率和安全性，同时降低了成本和风险，并实现了全面数字化与自动化。具体而言，该技术能够实时监测物理系统运行状态，预测潜在问题，使设备运行状态监测准确率提高 30%，报警响应时间缩短 25%，成功预防多起潜在设备故障，减少生产停工时间，提升生产效率 3%，并显著降低安全事故数量。此外，通过对生产过程和设备管理的优化，数字孪生技术降低了设备维护成本和能源消耗，减少了生产风险和环境风险，具体表现为设备维护成本降低 15%，储罐能耗下降 8%，每年节约能源成本约 50 万元，并有效避免可能导致重大环境污染的事故。最后，数字孪生技术使生产流程全面数字化与自动化，减少了人为干

预，提升了管理效率，操作人员工作量减少 20%，生产流程效率提高 15%，总运营成本降低约 10%，充分证明了数字孪生技术在优化生产流程和提高效率方面的显著效果。

4 结论

在海南 LNG 接收站储罐数字孪生项目中，成功构建了高精度的储罐数字孪生体及设备运行评价流程，并开发了可视化智慧应用，有效解决了传统监控与维护的实时性和准确性问题。数字孪生技术显著提升了设备监测准确率 30%，缩短了报警响应时间 25%，提高了生产效率 3%，并减少了 70% 的安全事故。该技术通过实时监测与预测分析，优化了设备可靠性和维护策略，降低了 15% 的维护成本和 8% 的能耗。本研究集成了高精度数据采集、复杂模型仿真、智

能算法优化和可视化技术,实现了LNG储罐全生命周期的动态监控与管理,显著提升了安全性和效率,为石油石化行业的数字化转型提供了坚实的技术支撑,也为其他工业领域的数字孪生应用提供了宝贵经验。

参考文献

- [1] 杨一帆,邹军,石明明,李月峰,杨波波,王洪荣,等.数字孪生技术的研究现状分析[J].应用技术学报,2022,22(2):176-184,188
- [2] 陶飞,张贺,戚庆林,张萌,刘蔚然,程江峰,等.数字孪生十问:分析与思考[J].计算机集成制造系统,2020,26(1):1-17
- [3] 郭亮,张煜.数字孪生在制造中的应用进展综述[J].机械科学与技术,2020,39(4):590-598. DOI: 10.13433/j.cnki.1003-8728.20190156
- [4] Niederer S A,Sacks M S,Girolami M,Willcox K,et al. Scaling digital twins from the artisanal to the industrial[J]. Nature Computational Science,2021,1:313-320.
- [5] Son Y H, Kim G Y, Kim H C, Jun C, Noh S D, et al. Past, present, and future research of digital twin for smart manufacturing[J]. Journal of Computational Design and Engineering, 2022, 9(1):1-23.
- [6] 刘青,刘滨,王冠,张宸,梁知行,张鹏.数字孪生的模型、问题与进展研究[J].河北科技大学学报,2019,40(1):68-78. DOI: 10.7535/hbkd.2019yx01011
- [7] 余斌,朱伟佳.石化行业数字孪生技术的应用探索[J].化工进展,2019,38(S1):278-282. DOI: 10.16085/j.issn.1000-6613.2019-1205
- [8] 刘明晶,郑兴周,毛丽娟,杨勃.石油化工企业数字化工厂建设及其应用探索[J].科技创新导报,2021,18(11):94-97.
- [9] SU H,ZIO E,ZHANG J J,CHI L X,LI X Y,ZHANG Z J. A systematic data-driven demand side management method for smart natural gas supply systems[J]. Energy Conversion and Management,2019,185:368-383.
- [10] 董红军,马云宾.输油气站场智能巡检系统设计与实现[J].油气储运,2020,39(5):570-575.

Security design of electronic contract management software based on blockchain technology

Jie Zhang

Tonghao Information Industry Co., Ltd., Beijing, 100070, China

Abstract

With the rapid advancement of the digital era, electronic contracts have become increasingly prevalent in commercial activities. However, traditional electronic contract management faces multiple security challenges such as data tampering, identity authentication risks, and contract loss. Blockchain technology, characterized by decentralization, immutability, and traceability, offers innovative solutions for enhancing the security of electronic contract management software. This paper explores the security design of blockchain-based electronic contract management systems, analyzes their application principles, and summarizes key technologies. The aim is to establish a secure, reliable, efficient, and user-friendly environment for electronic contract management, thereby promoting its widespread adoption and development across various industries.

Keywords

blockchain technology; electronic contract; management software; security design

基于区块链技术的电子合同管理软件安全性设计

张杰

通号信息产业有限公司, 中国 · 北京 100070

摘 要

随着数字化时代的快速发展, 电子合同在商业活动中的应用日益广泛。然而, 传统电子合同管理面临诸多安全挑战, 如数据篡改、身份认证风险、合同丢失等。区块链技术以其去中心化、不可篡改、可追溯等特性, 为电子合同管理软件的安全性提升提供了新的解决方案。本文深入探讨基于区块链技术的电子合同管理软件安全性设计, 分析其应用原理, 总结其中的关键技术, 旨在构建一个安全可靠、高效便捷的电子合同管理环境, 推动电子合同在各行业的深入应用与发展。

关键词

区块链技术; 电子合同; 管理软件; 安全性设计

1 引言

进入信息大发展的时代, 企业业务数字化蜕变带动合同管理从常规纸质模式转为电子模式, 电子合同凭借其便利、高效、绿色等长处, 被数量渐增的企业采用, 电子合同在数据的保存、传输以及管理环节面临严峻的安全隐患, 诸如数据泄露状况、合同被恶意涂改、签署方身份难以有效审定等, 此类问题极大阻碍了电子合同的普遍应用。新兴的分布式账本技术——区块链技术, 为化解电子合同安全难题开拓创新办法, 凭借其别具一格的技术特质, 说不定能强化电子合同管理软件的安全可靠性, 本研究意在设计一套依托区块链技术的电子合同管理软件安全架构方案, 全面阐述其技术达成路径与安全管控机制, 为电子合同管理软件的开发应用提供理论层面支持与实践方面指导。

【作者简介】张杰(1987-), 男, 中国天津人, 本科, 工程师, 从事计算机软件开发及软件开发管理研究。

2 区块链技术原理与特性

2.1 区块链技术原理

区块链本质上可看作是分布式账本, 多个区块依据时间顺序逐个衔接而成, 各区块包含某段时间区间里的交易数据以及前一区块哈希值, 对区块内容运用特定哈希算法进行计算, 得到的唯一数字标识是哈希值, 呈现唯一性及不可倒推性, 若一个区块内的数据出现任何细微的变化情形, 其对应的哈希值会跟着更改。区块链采用共识机制以此保证各节点上数据一致, 诸如工作量证明(PoW)、权益证明(PoS)、实用拜占庭容错算法(PBFT)等, 属于常见的共识机制, 在区块链的网络架构里, 各个节点凭借竞争或别的规则达成共识状态, 将新的交易数据聚合合成区块再添加到区块链, 以此达成数据的分散式存储及共享目的[1]。

2.2 区块链特质及其对电子合同安全的作用

2.2.1 去中心化

区块链网络未配备中心化的管理相关机构, 各节点间

地位无差异,各节点对数据进行分散存储,电子合同管理摆脱对单一中心服务器的依赖,降低了中心服务器故障或被攻击后引发数据丢失、被篡改现象的风险,提升电子合同管理系统的平稳性与可靠水平。

2.2.2 不可篡改

既然每个区块都包含着前一个区块的哈希值,搭建起一条链式的格局,要是某一区块的数据出现篡改情况,后续各个区块的哈希值皆会产生变化,此变化会被区块链网络中的其余节点发觉,进而保障电子合同数据完整与真实,防止合同遭恶意篡改现象出现。

2.2.3 可追溯性

区块链上每一笔交易皆被全面记录,涵盖交易时间、相关参与方及交易内容等详情,经由区块链浏览界面,用户可便利地查看电子合同的签署历史和流转情形,完成电子合同全生命周期回溯,为处理合同纠纷给出有效凭据。

2.2.4 加密安全性

借助非对称加密技术,区块链对数据进行加密后传输存储,在电子合同签署期间,签署方依靠自己的私钥对合同数据进行签名处理,接收方借助签署方的公钥完成验证,保证签署者身份的真实无误与合同数据的完整无缺,杜绝身份盗用与数据外泄。

3 电子合同管理软件面临的安全风险

3.1 数据隐私问题

电子合同管理软件一般会存储海量关乎企业及个人的敏感资料,像企业商业秘密、个人身份资料、财务账目之类,在数据存储以及传输之际,一旦安全措施实施不力,黑客或许会对这些数据进行窃取、篡改或泄露操作,造成合同签署方巨大经济亏损,引发法律风险问题,传输阶段数据存在被截获风险,若服务器被攻击,会造成数据泄露。

3.2 身份验证问题

在电子合同开展签署的时段,精准核实签署方身份意义重大,老派身份认证的模式,就像用户名跟密码,面临易被破解或窃取的隐患,要是身份验证方面出现漏洞,居心叵测之人说不定会冒充他人签订合约,引发对合同有效与否的质疑,引起合同相关的纠葛。

3.3 电子签名问题

电子合同有个核心要素,那便是电子签名,其安全性直接关乎合同的法律效力,电子签名有被伪造、篡改或被否认的潜在威胁,若电子签名技术成熟度不足,难以有效保证签名的独特单一性和不可抵赖性,事后签署方也许会否认合同已被签署,为合同执行增添阻碍。

3.4 合同审计问题

电子合同管理软件需针对合同从创建到执行等一系列过程做审计,保障合同符合要求以及操作的合法属性,审计记录也许会被篡改或者删掉,以此隐匿违规行径,审计日志

保存时长以及完整性也许无法符合法律要求,对合同监管及争议解决形成阻碍。

3.5 第三方风险

电子合同管理软件也许会依赖第三方服务供应主体,若涉及如电子签名业务、云空间存储业务等,要是第三方服务提供商安全举措未做到位,存有安全漏洞情况或被攻击,说不定会让电子合同数据泄露、服务中断现象发生,导致电子合同管理软件运行陷入困境。

4 基于区块链技术的电子合同管理软件安全设计

4.1 身份认证与授权机制

4.1.1 多因素身份认证

采用多方面身份鉴权形式,结合密码、短信动态验证码、指纹特征识别、人脸图像识别等诸多元素,保障签署方身份真实且可靠,用户进入电子合同管理软件登录阶段时,一开始便输入用户名跟密码,然后系统把验证码以短信形式发送到用户绑定手机,用户输入符合要求的验证码后,再之后实施指纹核验与人脸鉴定其一,完成多重验证,才可实现成功登录。

4.1.2 基于区块链的身份验证

依靠区块链具有的不可篡改、可回溯的特性,建设去中心化身份鉴别系统,用户在区块链上实施身份信息注册操作,制作仅有的专属身份标识,还会把身份信息跟私钥进行绑定,在实施电子合同签署之际,用户借助私钥给合同签名,验证方借助区块链查核用户的身份信息与签名记录,核实签署方身份真实合法。

4.1.3 权限管理

按照用户的角色与职责,给其安排不一样的操作权限,合同创建者具备对合同进行编辑、更改及删除的权限,签署方仅被赋予签署合同的权限,审计人员被赋予查看合同审计日志的权限,把权限信息存放于区块链,让权限具有不可篡改以及可追溯的属性。

4.2 电子签名与加密技术

4.2.1 数字证书与电子签名

采用数字证书体系,权威的认证机构(CA)颁发数字证书给签署方,数字证书含有签署方公钥、身份方面的信息以及CA的签名,签署方凭借私钥对电子合同加以签名,签名这一过程借助哈希算法核算合同内容,得到合同相关哈希值,之后借助私钥对哈希值进行加密处理,得出电子签名标识,验证方依靠签署方的公钥和CA根证书开展电子签名的验证,保证合同的完整以及签署方身份属实[2]。

4.2.2 非对称加密与对称加密结合

处于电子合同数据传输以及存储阶段,采取对称加密和非对称加密相融合方式,在筹备数据传输阶段,发送方借助接收方的公钥来完成对称加密密钥的加密,接着把加密后

的密钥和利用对称加密算法加密的合同数据一同发给接收方,接收方凭借自身私钥解出对称加密密钥,再借助此密钥对合同数据做解密处理,维持数据传输阶段的安全状态,在数据开展存储期间,用对称加密算法把合同数据加密后存储,再进一步提高数据的安全系数。

4.3 合同数据存储与管理

4.3.1 区块链分布式存储

把电子合同数据安置到区块链那里,凭借区块链分布式存储的相关特性,让数据分散储存在多个节点里面,各节点分别保存完整的区块链副本,即便部分节点产生故障,甚至被攻击,合同数据的完整性与可用性也不受影响,有了区块链不可篡改的特性,合同数据的安全与真实能得到保证。

4.3.2 数据加密存储

针对区块链上存储的电子合同数据开展二次加密,采用领先的加密算法体系,做合同内容的加密事宜,仅拥有正确解密密钥的用户才有权查看合同明文内容,杜绝数据外泄。

4.3.3 版本管理与溯源

把电子合同全部版本信息录入区块链,涉及诞生时间、修改详情、修改人等,借助区块链呈现出的可追溯属性,用户可顺畅地查询合同以往版本,探知合同修改过程与变化动态,达成合同变更流程的透明与可追溯目标[3]。

4.4 合同审计与监管

4.4.1 审计日志上链

把电子合同审计日志存于区块链,囊括合同的创立、修改、签署、查看等操作的相关记录,审计日志存有操作时间、进行操作的人、操作所涉内容等详细资料,鉴于区块链不可篡改这一属性存在,审计日志无法被进行篡改动作,实现审计数据真实与可靠的目标。

4.4.2 智能合约监管

依靠智能合约相关技术,实现电子合同执行程序的自动监查,智能合约作为自动开展执行的合约条文,以代码格式实现在区块链上部署,处于电子合同的范畴,能把智能合约进行嵌入,设定合同执行时的条件与相关流程,倘若合约条件达成,智能合约自动开展相关操作,诸如自动划转资金、自动交付货品等活动,接着把执行结果归档到区块链,实现对合同执行状况的即时监管与跟踪。

4.4.3 多方参与的监管机制

搭建以合同签署者、监管部门、第三方审计机构等多方介入的监督体系,各方借助区块链浏览器可即时把握合同审计日志以及执行状况,对电子合同管理软件运行实施监督,监管机构可凭借审计数据开展电子合同合规性检查,即

时识别并处理违规情形。

4.5 安全漏洞检测与应急响应

4.5.1 定期安全漏洞检测

采用面向安全检测的专业工具与技术,周期性对电子合同管理软件实施安全漏洞扫描检测,涉及对区块链节点、应用程序以及网络等层面的检测,及时找出并填补软件存在的安全窟窿,防止黑客借助漏洞开展攻击行动[4]。

4.5.2 应急响应机制

创建全面应急响应机制,筹备应急相关预案,若安全事件降临,像数据外泄、系统遭袭之类,可马上启动应急响应预案,采取相关的处置办法,诸如隔离被攻击的系统、还原数据备份、通告有关用户,把安全事件引发的损失压缩到最小。

4.5.3 安全事件报告与分析

对出现的安全事件进行周全记录及报告,剖析事件出现的缘由、经过及后果,总结安全相关教训与经验,持续优化安全防护手段与应急处理机制,增强电子合同管理软件安全抵御能力。

5 结论

依靠引入区块链技术,能切实提高电子合同管理软件安全度、可靠程度与管理成效,增强电子合同法律上的效力,推进电子合同在各行业普遍推广,伴随区块链技术持续发展与完善,凭借区块链技术而存在的电子合同管理软件在数字经济时代将发挥更关键价值,帮企业与社会实现更大的价值产出,未来研究可进一步把目光投向区块链技术在电子合同管理应用的优化,还可探讨跟其他新兴技术的整合,诸如人工智能、物联网之类,逐步提高电子合同管理智能化及便捷化程度。

参考文献

- [1] 刘子煜,张娟,王成章.基于区块链技术的电子合同安全云存储系统[J].自动化技术与应用,2024,43(09):105-108.DOI:10.20033/j.1003-7241.(2024)09-0105-04.
- [2] 翟文豪.区块链智能合约的合同属性困境及其化解[C]//《智慧法治》集刊2024年第2卷——“东方法学新锐”研究文集.北京大学法学院,2024:218-234.DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.024789.
- [3] 庄语滋.区块链智能合约的CISG适用问题探析[C]//《法律研究》集刊2024年第1卷——贸易强国制度构建研究文集.复旦大学法学院,2024:123-131.DOI:10.26914/c.cnkihy.2024.002891.
- [4] 潘飞.区块链应用背景下供应链采购合同管理研究[J].中国物流与采购,2023,(22):103-104.DOI:10.16079/j.cnki.issn1671-6663.2023.22.029.

Three speed adaptive design of Ethernet based on Anlu FPGA

Jianhui Liu

China Electronics Technology Group Eighth Research Institute, Hefei, Anhui, 230088, China

Abstract

This study is based on the EG4XBG256 low-end chip of Anlu Company, which is based on the domestic FPGA, and builds an Ethernet three-speed adaptive TEMAC (Tri-Mode Ethernet MAC) network optimization software core through FIFO module, UDP protocol stack module, CDC (clock domain crossing) cross-clock domain module, RGMII interface module, etc. Through dynamic clock refactoring and protocol stack optimization, nanosecond rate switching and 99.999% communication reliability are realized. The measured data show that the bit error rate of the scheme is as low as 1.8×10^{-12} in 1Gbps mode, and the resource occupation is reduced by 21% compared with the same scheme of Xilinx.

Keywords

FPGA; Anlu EG4XBG256; Ethernet; Three speeds; TEMAC;

基于安陆 FPGA 以太网三速自适应设计

刘剑辉

中国电子科技集团第八研究所, 中国 · 安徽 合肥 230088

摘 要

本研究是基于国产FPGA—安陆公司的EG4XBG256中低端芯片, 通过FIFO模块、UDP协议栈模块、CDC (clock domain crossing) 跨时钟域模块、RGMII Interface模块等搭建以太网三速自适应TEMAC (Tri-Mode Ethernet MAC) 网络优化软核。通过动态时钟重构和协议栈优化, 实现纳秒级速率切换与99.999%的通信可靠性。实测数据表明, 该方案在1Gbps模式下误码率低至 1.8×10^{-12} , 资源占用较Xilinx同等方案减少21%。

关键词

FPGA; 安陆EG4XBG256; 以太网; 三速; TEMAC;

1 引言

随着网络技术的快速发展, 以太网在工业控制、通信系统等领域的应用日益广泛、工业以太网对多速率兼容性需求的增长 (如 IEEE 802-2008 规范), 具有更高的灵活性和兼容性、支持 10/100/1000Mbps 自适应传输速率的 TEMAC 设计成为国产 FPGA 通信系统的关键技术^[1]。安陆电子的 EG4XBG256 芯片 (28nm 工艺, 256K LUTs) 为国产化多速率通信提供了硬件基础。本文围绕基于安陆 FPGA 的三速以太网自适应软核设计展开研究, 旨在探讨如何利用 FPGA 实现高效的三速网络通信模块。通过绕开 IP 软核产权, 提出一种底层 verilog 代码优化的 TEMAC 设计方案, 为实际工程应用提供理论依据和技术支持。

2 系统架构设计

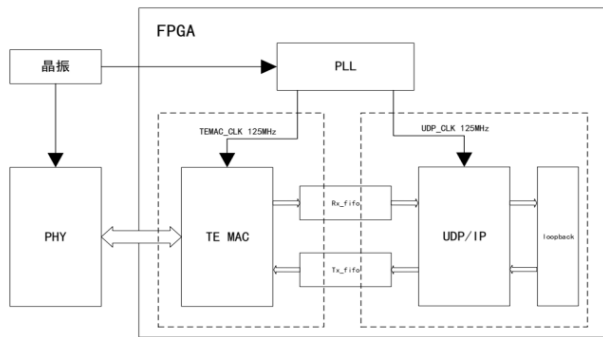
2.1 软核主要特征

1、支持 10/100M/1000Mbps 以太网 MAC; 2、支持 MII/GMII/RGMII 接口; 3、支持 10/100Mbps 模式全、半双工操作, 1000Mbps 模式全双工操作; 全双工操作中可配置的帧间间隙 (IFG) 值; 4、支持长度 / 类型错误检查、控制帧长度检查; 5、可配置的用户帧检查序列 (FCS) 功能; 6、发送路径上自动填充及接收路径上自动剥离 (padding 功能); 7、支持暂停控制帧进行流量控制; 8、支持巨型帧、VLAN 帧; 9、支持广播地址、多播地址、单播地址、地址表地址过滤; 可配置的单播地址和地址表地址 (最大支持 16 个); 10、用户可访问的状态统计向量输出; 11、支持 UDP、ARP、TCP/IP 协议;

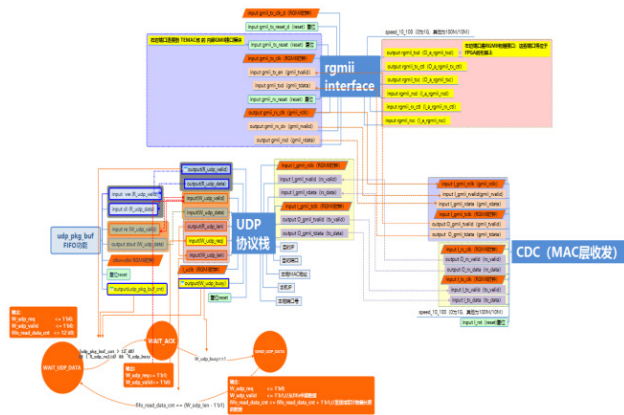
2.2 总体框架

用户逻辑通过 FIFO 输入 UDP 协议栈数据, UDP 将用户数据封装后, 通过 TEMAC 软核再将数据经过 IOB 可编程输入输出单元, 将转换后的 UDP 数据通过 PHY 物理层发送到网口, 反之, 逆向流程进行数据解调到用户端。

【作者简介】刘剑辉 (1985—), 男, 中国江西吉安人, 硕士, 工程师, 从事嵌入式、光电、FPGA 研究。



2.3 主要功能模块



主要功能模块主要由5个部分组成：用户逻辑、FIFO、UDP协议栈、CDC跨时钟域、RGMII Interface。用户逻辑在应用中可以用作串口和TTL信号、十兆、百兆信号打包，通过千兆网进行光纤透传，这里作为测试，使用的是回环模式；FIFO这里使用异步时钟，常用于高速异步数据的交互；UDP协议栈主要用来将用户数据调制或者解调，当协议栈接收到用户数据时，将数据逐层封装UDP、IP、MAC协议，或者当协议栈收到GMII数据时，将其解调成可用的用户数据；CDC跨时钟域主要负责三种速率转换以及对应的数据拼接；RGMII Interface则主要负责将RGMII数据，转换为GMII数据。

3 实现细节

3.1 用户逻辑

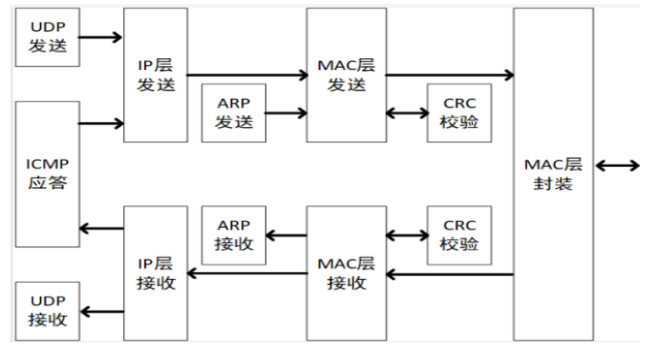
需要提供FIFO所需的8bit数据、数据长度（最高可65536）、有效使能，在实际应用中可以进行多路TTL或者串口数据、百兆网络数据打包，再通过FIFO输入。

3.2 异步FIFO

包含读写的数据、有效使能、时钟、数据计数；时钟频率根据带宽/8=以字节为单位的下载速度决定，千兆时，采用125M读写时钟；百兆时，采用12.5M读写时钟；十兆时，采用1.25M读写时钟；采用何种时钟由CDC模块输出的速率检测信号决定^[2]。

3.3 UDP协议栈

UDP协议栈是以太网的协议层，具有动态ARP、ICMP功能，占用逻辑资源少，性能不错，设计精简等特点，UDP协议栈设计架构如下：



MAC层：发送模块接收ip_arp_tx模块输出的arp包和ip数据包，添加相应的帧首部。并对长度不足46字节的包进行末尾补0，使每个包的最小长度为46字节；通过子模块crc32_gen生成每帧数据相应的CRC检验值附于帧尾；通过子模块uimac_tx_pause_ctrl接收uimac_rx输出的暂停发送使能、暂停时间和暂停mac地址，进行发送流量控制；利用ip_arp_tx完成phy芯片发送时钟和用户发送时钟的时钟域转换，将数据输出至外部phy芯片。接收模块则从外部phy芯片接收mac帧，解析mac帧首部，进行mac地址过滤和帧类型过滤；内部子模块crc32_check对每帧数据进行CRC32值的计算，判断数据的正确性；识别接收的mac流控帧，子模块uimac_tx_frame_ctrl提取流控帧中的暂停时间和源mac地址输出至uimac_tx模块；mac_receive_fifo完成，phy接收时钟和用户接收时钟之间的时钟域转换，将数据输出。

IP-ARP层：发送模块接收ip_tx模块输出的ip数据包，根据其目的ip地址从mac_cache中读取对应的目的mac地址。若获得有效mac地址则将ip数据报输出至mac_tx模块，若返回无效mac地址，则使arp_tx模块发送目的ip地址的arp请求包。等待有效mac地址通过arp_rx模块被存mac_cache中后重新读取；接收arp_tx模块输出的arp包，输出至mac_tx模块；接收模块用于区分接收数据是IP包还是ARP包。

ARP层：发送模块当和一个目的IP通信，首先会检查自己的ARP缓存表，是否存在目的IP对应的目的MAC，如果存在不会触发ARP请求与应答，直接根据ARP缓存表项封装目的MAC不存在ARP缓存表，则触发ARP请求，对方收到ARP请求，根据ARP的报文中的目的IP判断，是否寻找主机是自己，如果是，则发送ARP响应，携带自己的MAC地址；接收模块接收ip_arp_rx输入的arp请求包或arp应答包，提取其中的源ip地址和源mac地址，按一一对应的关系存入mac_cache模块中，根据接收到的arp请求包，将其目的ip地址与本地ip地址相比较。若两者一致，则向arp_tx模块发送arp应答包发送请求信息，否则将该arp包过滤。

IP层：发送模块负责发送udp数据包和icmp数据包，通过内部子模块从ip_rx模块接收icmp请求包信息，产生并封装为相应的icmp应答包；从uiudp_tx模块接收udp报文数据，封装为IP包后发送。uiip_tx模块为udp报文、

icmp 数据包添加 IP 包首部, 同时进行首部校验和的计算, 将计算结果附于首部检验和字段, 最后将封装完成的 IP 数据报输出至 uiip_arp_tx 模块。uiudp_tx 与 uiip_tx, uiip_tx 与 uiicmp_pkg_tx, uiip_tx 与 uiip_arp_tx 之间的数据传输均需完成握手通信。接收模块从 ui_ip_arp_rx 模块接收相应的 ip 数据包, 内部子模块 uiip_header_checksum 对 IP 数据报包头的校验和计算, 判断包头正确性, 根据 ip 包头中的目的 ip 地址进行数据包过滤, 根据协议字段提取出 udp 包和 icmp 包, 过滤其他协议类型数据, 根据 ip 包头中的目的 ip 地址进行数据包过滤, 根据协议字段提取出 udp 包和 icmp 包, 过滤其他协议类型数据。内部子模块 icmp_pkg_ctr 接收 uiip_arp_rx 模块输出的 icmp 包, 根据 ping 请求包的内容产生相应的 ping 请求包信息输出至 ip_tx 模块, 并将 ping 请求包的附加数据存入 icmp_echo_data_fifo 中。

UDP 层: 主要完成对上局应用数据的 udp 协议控制。发送模块例化了长度为 8 的移位寄存器组 udp_shift_register, 用于发送 udp 首部时进行数据缓冲; 接收模块完成对上层应用数据 udp 报文的接收。

3.4 CDC 跨时钟域

当信号从在不同时钟域之间发生数据交互时会带来信号跨时钟域产生的亚稳态问题^[3]。由于 10/100M 传输数据时是单边沿采集数据, 因此一个周期传输 4bit 数据, 而 RGMII 为双边沿采集数据, 所以要进行数据的转换, 如发送时, 要将一周期 8bit 数据转成一周期 4bit 数据, 因此要设置数据缓存, 读数据速率为写数据一半。

3.5 RGMII Interface

RGMII 互转 GMII 层的功能是实现双沿采集的 RGMII 数据互转单沿采集的 GMII 数据, 采用了安陆的原语实现。

4 实验验证

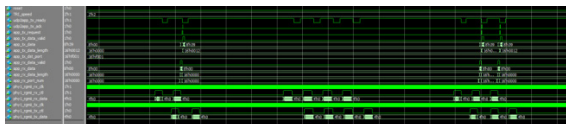
4.1 资源和消耗时序

使用 TD 软件版本为 TD5.6 71036, 选择 EG4XBG256 芯片 DEMO 板上进行了软件验证, 消耗的资源 and 时序结果如表所示:

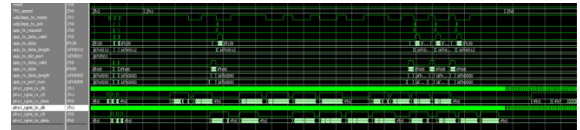
资源	类型	数值
最大频率		125MHZ
使用资源	LUT6	2455
	REG	3720
	PLL	1
	IO	20
	BRAM	7
	DSP	0

4.2 modelsim 仿真波形

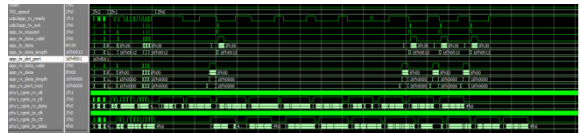
千兆速度模式正常数据:



百兆速度模式正常数据:

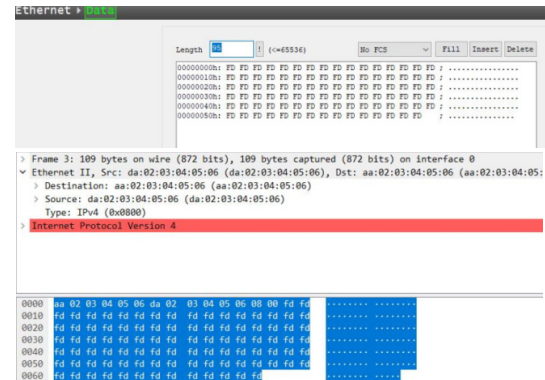


十兆速度模式正常数据:

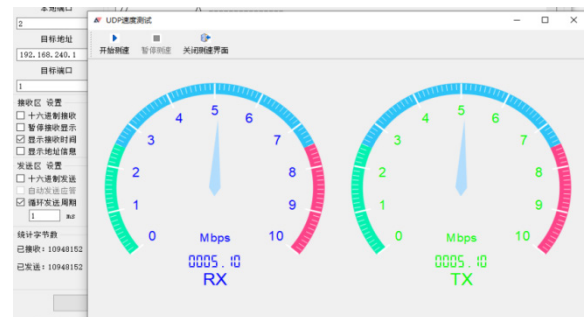


4.3 数据包捕获实验

发包和抓包软件分别是 xcap, wireshark, 发送的包和捕获的包一致。



4.4 环回模式下的数据收发实时速度



5 结论

本方案在 EG4XBG256 开发板平台上实现了工业级三速 TEMAC。通过 Modelsim 仿真和 Wireshark 抓包和验证了设计的正确性, 为国产 FPGA 在工业通信领域的应用提供了可靠参考。

参考文献

- [1] 李春林, 李腊元. 高速千兆位以太网技术分析及应用[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(3):3. DOI:10.3321/j.issn.1002-8331.2002.03.070.
- [2] 崔占忠, 宋世和. 近炸引信原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005.
- [3] 吴自信, 张嗣忠. 异步 FIFO 结构及 FPGA 设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2003(8):4. DOI:10.3969/j.issn.1009-623X.2003.08.008.
- [4] 王菲, 张莎莎, 王茜. 信号跨时钟域问题分析及验证方法研究[J]. 电子技术应用, 2017, 43(1):4. DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.2017.01.011.