



04
2025

Information Science and Engineering Research

信息科学与工程研究

Volume 6 Issue 4 April 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

- 1 完工交付系统在石油天然气项目交付管理中的应用研究
/ 刘化成
- 6 高校非结构化数据资源管理平台的构建
/ 刘聪
- 9 巡检机器人系统在输油、输气场站和油气储罐区的安全应用与管理研究
/ 李九胜
- 12 船舶在复杂水域中的自主航行路径规划研究
/ 袁宏庆
- 15 无线集群通讯系统在煤炭港口的应用
/ 吴井伟
- 18 多文种离线签名鉴别技术研究综述：跨语言书写特征的挑战与创新
/ 穆开热姆·麦海提
- 22 智能物联网技术的应用现状与发展
/ 张磊
- 25 新形势下融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构设计
/ 谭丽
- 28 发热门诊医护一体化登记系统的构建和应用
/ 冯杰 吴梓苗 毛晓峰
- 31 基于人体姿态识别的跑步机速度控制系统设计
/ 胡韬 许有熊 尤昊
- 34 面向智能跑步机的人体姿态识别系统设计
/ 杨思思 许有熊 王嫣然
- 37 区块链技术在物联网僵尸网络检测中的应用研究
/ 邢颖 杨亚鑫 李浴淑
- 40 基于人工智能的噪声污染监测与智能调控系统设计
/ 彭思文 帅清昱
- 43 铁路信号设备的状态监测与故障预警技术研究
/ 胡海涛
- 46 档案数字化的质量控制与安全保密体系
/ 李华
- 49 数字电子技术驱动下的低功耗嵌入式系统优化设计
/ 林健
- 52 基于区块链技术的食品安全供应链追溯系统架构设计
/ 孙增光 赵运涛 孔晓博
- 55 5G 与物联网融合下高压架空输电线路智能监测预警技术的应用实践
/ 姚崇经 胡泽堃 郑绪文
- 58 销售发货清单电子化在大型钢铁厂的应用
/ 孟静潇
- 61 适用于通信热点地区的可变间隔自适应 D2D 资源分配算法研究
/ 孙琦 那丹彤 刘波
- 65 计数器联网管理系统开发与应用
/ 代铁
- 68 使用 C# 语言在 .NET 平台实现原子服务
/ 赵寻 沈巧玲
- 71 医疗器械管理和维护中信息化系统的应用
/ 田江晖
- 74 数字化转型背景下烟草物流工商一体信息化建设方向探讨
/ 单正军
- 77 大数据与人工智能驱动下的烟草企业安全生产风险智能预警体系构建研究
/ 耿江然
- 80 基于用药情况的智能化体检项目推荐系统：研究进展、挑战与未来展望
/ 赵舒心 武岳 郑敏 张丽新
- 83 信息系统密钥管理风险识别与规避
/ 殷文霞
- 86 无人机系统在森林防火中的应用探究
/ 代三花
- 89 IEEE 802.11be 无线局域网标准核心技术研究
/ 彭程 姜雪 孙博 叶明
- 92 5G-NR 广播技术下应急广播系统的多模传输优化与覆盖增强策略研究
/ 袁昊
- 95 自然语言处理驱动的自动化摘要生成算法在新闻编辑场景中的性能评估
/ 朱红旗
- 98 西藏首部双偏振 x 波段天气雷达对气象防灾减灾救灾中的作用分析
/ 落追 达瓦次仁 伦珠卓玛 次仁旦珍 格桑次旺
- 101 基于扩散模型的虚拟试衣系统的设计与研究
/ 王泉盛 张美娜
- 105 巴拉素煤矿井下“电子围栏”的研究与应用
/ 冯炜 陈立明 梁建强 李鑫 刘江

- 1 Research on the Application of GoCompletions System in Oil and Gas Project Delivery Management
/ Huacheng Liu
- 6 Construction of Unstructured Data Resource Management Platform in University
/ Cong Liu
- 9 Study on the safety application and management of inspection robot system in oil and gas transmission stations and oil and gas storage tank area
/ Jiusheng Li
- 12 Study on the autonomous navigation path planning of ships in complex waters
/ Hongqing Yuan
- 15 Application of wireless trunking communication system in coal port
/ Jingwei Wu
- 18 A review of research on multilingual offline signature authentication technology: challenges and innovations in cross lingual writing features
/ Mukairemu·Maihaiti
- 22 Application status and development of intelligent Internet of Things technology
/ Lei Zhang
- 25 Design of network security and information security under the new situation
/ Li Tan
- 28 Development and application of medical and nursing integrated registration system in fever clinic
/ Jie Feng Zimiao Wu Xiaofeng Mao
- 31 Design of Treadmill Speed Control System Based on Human Posture Recognition
/ Tao Hu Youxiong Xu Hao You
- 34 Design of a human posture recognition system for intelligent treadmills
/ Sisi Yang Youxiong Xu Yanran Wang
- 37 Research on the application of blockchain technology in the botnet detection of the Internet of Things
/ Ying Xing Yaxin Yang Yushu Li
- 40 Design of noise pollution monitoring and intelligent control system based on artificial intelligence
/ Siwen Peng Qingyu Shuai
- 43 Research on the condition monitoring and fault early warning technology of railway signal equipment
/ Haitao Hu
- 46 Quality Control and Security Confidentiality System for Digitalization of Archives
/ Hua Li
- 49 Optimal design of low power embedded system driven by digital electronic technology
/ Jian Lin
- 52 Blockchain-Based Traceability System Architecture for Food Safety Supply Chains
/ Zengguang Sun Yuntao Zhao Xiaobo Kong
- 55 The application practice of intelligent monitoring and early warning technology for high-voltage overhead transmission lines under the integration of 5G and the Internet of Things
/ Chongjing Yao Zelong Hu Xuwen Zheng
- 58 Application of electronic sales and delivery list in large steel mills
/ Jingxiao Meng
- 61 Study on variable interval adaptive D2D resource allocation algorithm for communication hotspots
/ Qi Sun Dantong Na Bo Liu
- 65 Development and application of counter network management system
/ Tie Dai
- 68 Implement atomic services in C# on the .NET platform
/ Xun Zhao Qiaoling Shen
- 71 Application of Information Systems in Medical Device Management and Maintenance
/ Jianghui Tian
- 74 Discussion on the direction of information construction of tobacco logistics industry and commerce integration under the background of digital transformation
/ Zhengjun Shan
- 77 Research on the Construction of Intelligent Early Warning System for Safety Production Risks in Tobacco Enterprises Driven by Big Data and Artificial Intelligence
/ Jiangran Geng
- 80 Recommendation system for intelligent physical examination items based on medication conditions: research progress, challenges and future prospects
/ Shuxin Zhao Yue Wu Min Zheng Lixin Zhang
- 83 Identification and avoidance of information system key management risk
/ Wenxia Yin
- 86 Study on the application of UAV system in forest fire pre-

	vention		
	/ Sanhua Dai		
89	IEEE 802.11be Core technology research of wireless LAN standard		
	/ Cheng Peng Xue Jiang Bo Sun Ming Ye		
92	Research on multi-mode transmission optimization and coverage enhancement strategy of emergency broadcast system based on 5G-NR broadcasting technology		
	/ Hao Yuan		
95	Performance evaluation of automatic summary generation algorithm driven by natural language processing in news editing scenarios		
	/ Hongqi Zhu		
		98	Analysis of the role of the first dual-polarization X-band weather radar in meteorological disaster prevention, mitigation and relief in Tibet
			/ Luozhui Dawaciren Lunzhuzhuoma Cirendanzhen Gesangciwang
		101	Design and research of virtual try-on system based on diffusion model
			/ Quansheng Wang Meina Zhang
		105	Research and application of “electronic fence” in Balasul coal mine
			/ Wei Feng Liming Chen Jianqiang Liang Xin Li Jiang Liu

Research on the Application of GoCompletions System in Oil and Gas Project Delivery Management

Huacheng Liu

China Petroleum Engineering Construction Co., Ltd., Beijing, 100120, China

Abstract

The delivery management of oil and gas projects involves multiple critical stages, including Mechanical Completion (MC), Pre-Commissioning (PC), and Commissioning. Traditional management methods rely on paper-based documentation and manual records, leading to data fragmentation, difficulties in progress tracking, and inefficiencies in punch list management, ultimately affecting overall delivery efficiency and quality. To enhance management capabilities, Basra Gas Company (BGC) implemented the GoCompletions(GOC) system, utilizing digital solutions to optimize the completion and handover process through centralized data management, real-time monitoring, and automated handover. This study analyzes the application of GoCompletions in BGC projects, focusing on its role in ITR (Inspection Test Record) management, punch list tracking, certificate generation, and interface management. The findings indicate that the system enhances data transparency, reduces delivery time, and optimizes resource allocation. Additionally, the study explores challenges in AI-driven forecasting and third-party system integration while proposing optimization strategies.

Keywords

Completion and Handover; Mechanical Completion; Pre-Commissioning; GoCompletions; Digital Management

完工交付系统在石油天然气项目交付管理中的应用研究

刘化成

中国石油工程建设有限公司, 中国 · 北京 100120

摘 要

石油天然气项目的交付管理涉及多个关键环节, 包括机械完工 (MC)、预试运 (PC) 和试运 (Commissioning)。传统管理方式依赖纸质文件和手动记录, 导致数据分散、进度跟踪困难和问题清单管理低效, 从而影响整体交付效率和质量。为提升管理水平, BGC (巴士拉天然气公司) 引入了 GoCompletions (GoC) 系统, 通过数字化手段优化完工交付流程, 实现数据集中管理、实时监控和自动化移交。本研究分析了 GoCompletions 系统在 BGC 项目中的应用, 探讨其在检查测试记录 (ITR) 管理、问题清单跟踪、交付证书生成及接口管理中的作用。

关键词

完工交付; 机械完工; 预调试; GoCompletions; 数字化管理

1 引言

1.1 研究背景

石油天然气行业的项目交付管理涉及多个环节, 包括机械完工、预试运、试运和开车。这些环节的成功执行直接影响项目的整体进度、安全性和投产效率。然而, 传统的交付管理方法往往依赖于手动记录、电子表格和纸质文档, 导致数据分散、信息追踪困难、进度不透明等问题。

近年来, 随着数字化技术的发展, 云端竣工管理系统逐渐被应用于工程项目管理领域。其中, 由 QED-i 和英国 BP 石油公司共同开发的项目完工交付管理系统 (GoC) 作为一种高效的数字化交付管理工具, 在巴士拉天然气公司 (BGC) 的项目管理中发挥了重要作用。该系统能够实现数据的集中管理、实时更新和审计跟踪, 极大地提高了竣工管理的效率和透明度。

本研究围绕 GoC 系统在 BGC 项目中的应用展开, 分析其如何优化机械完工、预调试及调试阶段的管理流程, 并探讨其在数据管理、问题追踪、移交证书管理等方面的优势。

1.2 研究目的

本研究的主要目标是探讨完工交付系统在石油天然气项目交付管理中的应用价值, 重点包括: ①标准化竣工管理流程: 分析如何利用完工交付系统统一机械完工、预试运及移交的标准, 提高工作效率。②提高数据透明度和可追溯性: 探讨该系统如何确保数据完整性, 并支持实时进度跟踪和问题追踪。③优化移交管理: 研究如何通过自动化流程减少人为失误, 提高移交文档的准确性。④提升多方协作效率: 评估在施工、预试运和试运开车团队间的信息共享和责任划分方面的作用。

通过本研究, 希望能够为石油天然气企业在数字化竣

工管理方面提供有价值的参考。

1.3 研究范围

本研究主要涵盖以下内容：

①完工管理概述：介绍完工管理体系，包括机械完工、预试运和移交流程。②GoC系统的应用：分析该系统在设备信息存储、检查测试记录（ITR）分配、问题清单管理及证书生成方面的功能。③完工执行：探讨机械完工、预试运及试运的核心步骤和管理方法。④接口管理：研究工程、施工及CSU团队在竣工管理中的角色及协作方式。⑤工具与技术创新：评估GoC系统的数据分析能力，并探讨如何优化其功能以适应更复杂的项目需求。

1.4 研究方法

1.4.1 文献研究

通过分析相关文献，了解石油天然气行业竣工管理的最佳实践，特别是数字化竣工管理系统的发展趋势。

1.4.2 案例分析

选取采用GoC系统的油气项目作为研究案例，分析其在实际项目交付管理中的表现，重点关注：①施工进度管理；②ITR（检查测试记录）的自动化管理；③问题清单跟踪；④移交证书的生成与管理。

1.4.3 访谈调查

通过与工程管理人员、施工团队、完工团队和试运团队的访谈，收集关于GoC系统在实际应用中的反馈，探讨其优势与优化空间。

1.4.4 数据对比分析

对比使用GoC系统前后的项目管理数据，包括：①机械完工和预调试的平均周期；②ITR问题清单的关闭率；③移交文档的准确率与审核时间。

2 核心流程与方法

2.1 系统化

2.1.1 目标

在大型石油天然气项目中，合理的系统划分（Systemization）对于资源优化、进度管理和质量控制至关重要。系统化管理的主要目标包括：①将项目范围划分为可管理的子系统，便于监控和责任分配。②优化资源配置，确保施工、预调试和调试阶段的顺利衔接。③提升进度管理能力，减少因系统界面不清导致的交付延误。

2.1.2 关键输出

系统化过程的核心成果包括：①移交边界图（LOSH, Limits of System Handover）依据工艺与仪表流程图（P&ID）、电气单线图工程图纸划定系统边界。确定机械完工、预调试、调试各阶段的责任划分。LOSH图示例见图1；②系统优先级分配：依据关键路径分析（CPA），确定高优先级系统，优化施工和调试顺序。例如，公用工程系统（Utilities）通常需要优先完成，以支持其他子系统的调试。

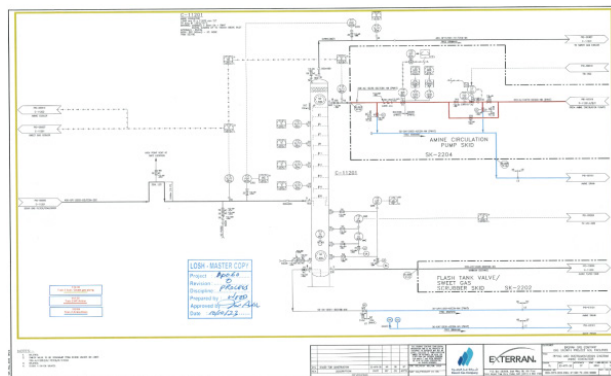


图1 LOSH图示例

2.1.3 实施阶段

系统化管理从前端工程设计（FEED）阶段即开始，并贯穿整个项目周期。其实施阶段包括：①设计阶段：工程团队根据设计文件初步划分系统，并建立LOSH框架。②施工前准备：施工团队审核LOSH图，优化施工逻辑，确保各系统间的接口明确。③执行阶段：施工团队按照LOSH计划进行机械完工。调试与启动（CSU）团队提前审核系统边界，优化调试策略。

2.2 GoC系统功能概述

GoC系统采用云端架构，支持远程访问、实时数据同步和多方协作。系统主要由以下模块组成：①数据存储模块：用于存储所有项目相关的数据，包括设备信息、质量检查记录（ITRs）、Punchlist（尾项清单）等。②尾项清单（Punchlist）：通过现场联合检查（Walkdown）收集尾项信息，分类管理问题清单。A类（安全关键问题）和B类（一般问题）分级管理。③证书移交管理：自动生成机械完工证书（MCC）、预调试证书（PCC），确保数据完整。④报告生成模块：自动生成标准化的交付报告，确保数据完整性。

2.3 GoC系统执行

2.3.1 机械完工（MC）

①关键任务确保所有A类ITR（如设备安装、结构完整性检查）完成。②组织联合检查，记录尾项清单。其中：A类问题（安全关键）必须在移交前关闭。B类问题（一般问题）可在后续阶段解决，但需记录。③所有相关测试通过后，由CSU团队签发MCC证书。

2.3.2 预试运（PC）

①确保所有B类ITR（如仪表回路测试、泄漏测试）完成。②进行系统功能验证，组织联合检查，记录尾项清单。尾项分类规则和机械完工尾项规则一致。③所有相关测试通过后，由CSU团队签发PCC证书。

2.3.3 进度报告与监控

①ITR完成率报告：跟踪各子系统ITR执行情况（图2）。②天际线图（Skyline Report）：直观展示各子系统的进度状态。颜色编码：绿色=完成，黄色=进行中，红色=滞后。见图3示例。③尾项清单跟踪：统计问题清单关闭率，

确保 Punchlist 按时解决（图 4）。

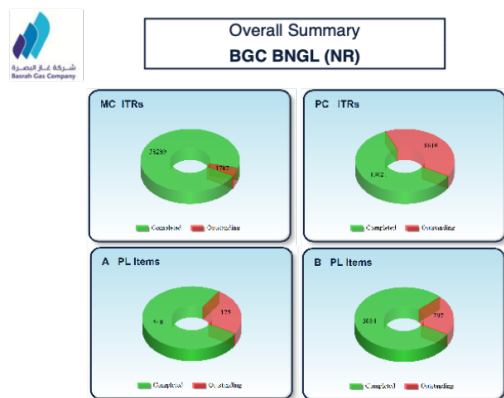


图 2 ITR 执行情况报告示例



图 3 天际图报告示例

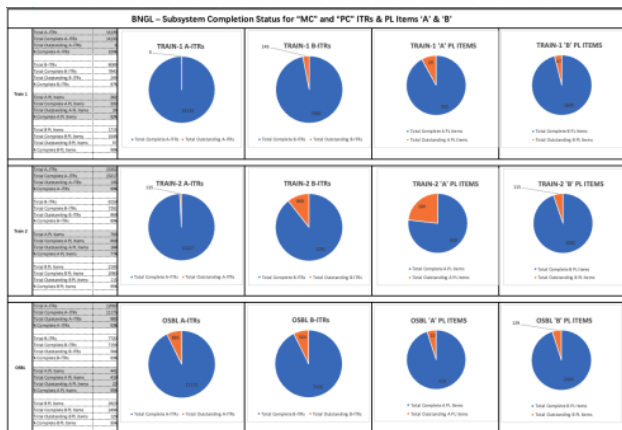


图 4 尾项清单完成报告示例

2.4 移交证书与文档管理

2.4.1 机械完工证书 (MCC)

所有 A 类 ITR 完成，且问题清单关闭后签发。由施工团队提交，CSU 团队签发。

2.4.2 预调试证书 (PCC)

所有 B 类 ITR 完成，并完成系统功能验证。CSU 团队审核后签发，系统正式移交调试。

2.4.3 移交文档包

移交文档包应包括：①试运证书（RFC）。②预试运

证书 (PCC)。③机械完工证书 (MCC)。④各专业完工证书 (SDAC)。⑤尾项清单。⑥ A-ITR 和目录。⑦ A-ITR 和目录。⑧红线图。⑨系统界面图 (LOSH)。⑩技术查询记录 (TQ)。

3 接口管理

3.1 完工、施工与 CSU 团队的职责划分

石油天然气项目的交付管理涉及多个团队，各自承担不同的责任。GoC 作为竣工管理工具，确保完工管理团队、施工团队和 CSU（调试与启动）团队之间的高效协作，并提供清晰的责任界面。

3.1.1 完工团队职责

工程团队主要负责 GoC 数据库的构建与维护，确保系统化管理的完整性。其主要任务如下：

①负责项目 P&ID、电气单线图、设备清单的录入与维护。②确保所有 ITR 记录在 GoC 数据库中，并分配至相应团队。③参与机械完工审核，确认施工团队提交的 MCC 符合标准。④维护尾项状态，确保 A 类问题得到及时关闭。⑤作为接口管理方，协调施工、CSU 和业主团队之间的技术问题。

3.1.2 施工团队职责

施工团队负责机械完工（MC）阶段的执行，确保所有设备、系统和组件符合项目设计标准。其主要任务如下：①按照 LOSH（移交边界图）划定的系统执行机械完工。②完成 A 类 ITR（如设备安装、结构检查、机械测试等）。③组织联合巡检（Walkdown），并创建 Punchlist（问题清单）。④解决 A 类问题清单，确保系统达到机械完工标准。⑤整理并提交机械完工证书（MCC）。

3.1.3 CSU 团队职责

CSU 团队负责项目的调试与启动 (Commissioning & Start-Up)，确保系统投入运行。其主要任务如下：①在接收系统前，审核施工团队提交的 MCC 及相关 ITR 文档。②在预调试 (PC) 阶段执行 B 类 ITR (如仪表回路测试、泄漏检测等)。③确保所有功能测试合格，签发预调试证书 (PCC)。④监控系统试运行，协调业主团队进行最终验收。

3.2 施工团队与 CSU 团队的交接流程

为了确保竣工移交的顺利进行，施工团队与 CSU 团队必须建立标准化的交接流程。

3.2.1 机械完工 (MC) 到预调试 (PC) 的移交

施工团队完成机械完工后，需按照以下步骤移交系统：

①系统联合检查 Walkdown: 施工团队、CSU 和业主代表进行联合巡检, 检查机械完工状态。②尾项清单 (Punchlist) 管理: 所有 A 类问题必须解决, B 类问题可推迟到调试阶段解决。③机械完工证书 (MCC) 签署: 施工团队提交 MCC, 并附带所有 A 类 ITR 记录。CSU 团队审核 MCC, 并确认系统符合预调试要求。④系统移交至 CSU: CSU 团队正式接收系统, 并开始预调试工作。

3.2.2 预调试（PC）到调试（Commissioning）的移交
预调试完成后，CSU 团队需将系统移交至调试阶段。

①功能测试确认：确保所有 B 类 ITR 已完成，包括仪表回路测试、泄漏检测等。② PCC（预调试证书）签署：CSU 团队提交 PCC，确认系统已具备调试条件。③调试计划制定：结合业主和 CSU 团队的要求，制定调试与启动的详细计划。

3.3 数据与信息共享

在多个团队之间的交接过程中，数据的准确性和完整性是确保交付顺利的关键。GoC 系统通过以下方式优化信息共享：

3.3.1 实时数据更新

① ITR 进度可视化：施工、工程和 CSU 团队可实时查看 ITR 执行进度（见图 2）。②问题清单状态跟踪：所有 Punchlist 的关闭情况一目了然。

3.3.2 远程协作支持

①云端访问：所有团队可随时访问 GoC 系统平台，获取最新竣工状态。②权限管理：不同角色（施工、工程、CSU）有不同的访问权限，确保数据安全。

3.3.3 电子审批与移交文档

① MCC 和 PCC 电子签名：减少纸质文档，提高审批效率。②自动归档：所有移交文档自动归档，确保数据可追溯。

4 工具与技术创新

4.1 GoC 系统的核心优势

GoC 系统作为一款云端竣工管理系统，在石油天然气项目交付管理中发挥了关键作用。本章将详细探讨其核心优势，包括数据可视化、多维度报告、进度跟踪及系统兼容性。

4.1.1 多维度报告功能

GoC 系统具备强大的数据分析和报告功能，支持按以下维度生成竣工管理报告：

①按系统分类：通过移交边界图（LOSH）定义的子系统划分进度见图 5：

Sub System Handover Summary Report		BGC BNGL (NR)															
Sub System	Description	MCC (70%)				PCC (10%)				A (10%)				B (10%)			
		Planned	Actual	Open	Closed	Planned	Actual	Open	Closed	Planned	Actual	Open	Closed	Planned	Actual	Open	Closed
180-01	FARE7 Monitoring & Facial	34	40	0	8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
180-02	Data Network Telecoms	34	40	0	34	34	0	0	11	0	1	1	1	1	1	1	1
180-03	Telecoms - IPB	15	25	0	1	1	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0
180-04	Telecoms - Fire Station	23	23	0	1	1	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0
180-05	IPC Monitoring & Facial (FAIS)	137	240	0	5	5	0	0	5	0	3	3	3	3	3	3	3
180-06	FAIS 7-1 Non-Integrated Monitoring & Bi	202	262	0	0	0	0	0	12	0	1	1	1	1	1	1	1
180-07	IPC Monitoring & Control (FAIS)	8	8	0	8	8	0	0	8	7	4	4	4	4	4	4	4
180-08	FAIS 7-1 Non-Integrated Monitoring & Bi	8	8	0	17	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
180-09	FAIS 7-2 Control (IPC Monitoring & Facial)	167	234	0	4	4	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
180-10	72 FAIS 7-2 Non-Integrated Monitoring and	217	277	0	1	1	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0
180-11	72 FAIS 7-2 Non-Integrated Monitoring and	8	8	0	10	10	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0
180-12	72 FAIS 7-2 Non-Integrated Monitoring and	8	8	0	11	11	0	0	1	7	4	0	0	0	0	0	0
180-13	Barrowed Items List	0	0	0	0	0	0	0	58	26	1	0	0	0	0	0	0
180-14	Electrical Hand Tracing	131	138	0	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL:		2706	4243	0	1483	1584	0	0	1732	1580	738	913	765	329	329	328	328
Date: 15 May 2024 Time: 16:00:48 UTC+05:30		4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Page 16 of 36		BGC BNGL (NR)															
Printed By: 180-01		Filter: Facility Type = 1804-0000															

示关键系统的完工状态。

4.2.2 远程监测与移动端支持

①云端访问：施工和调试团队可远程上传和查看数据，减少现场纸质文档依赖。②移动端应用：提供随时随地的数据访问能力，支持移动设备提交 ITR 记录。

4.2.3 施工与调试数据集成

①自动化数据接口：通过 API 集成 Primavera P6 进度计划，确保进度数据与项目管理系统同步。②交付里程碑自动更新：当系统完工达到设定标准时，自动触发状态变更。

4.3 挑战与优化方向

4.3.1 ITR 流程优化

目前的 ITR（检查测试记录）管理流程存在一定的冗余性，部分测试（如仪表回路测试、管线的压力测试）在多个阶段重复执行，可能影响整体进度。

优化建议：①合并重复测试，减少重复工作，提高效率。②基于 AI 的智能 ITR 预测，自动推荐需要优先完成的检查项。③实施电子签核流程，减少纸质文档审批时间。

4.3.2 第三方系统兼容性问题

①现状：GoC 需与多个第三方系统（如 SAP、EDMS）进行数据交换，但接口标准不统一。②改进方向：采用 API 标准化协议，确保数据传输安全可靠。研发数据转换工具，实现不同系统间数据兼容。

4.3.3 数据质量管理

①现状：由于数据来源多样，部分 ITR 记录可能存在不一致或错误。②改进方向：采用 AI 学习算法，自动检测异常数据，提高数据准确性。引入数据质量评分机制，对数据完整性进行实时评估。

5 总结

5.1 研究总结

本研究围绕 GoC 系统在 BGC（巴士拉天然气公司）项目中的应用展开，分析了该系统在标准化机械完工、预调试及系统移交流程中的核心作用。研究结果表明，GoC 系统通过数字化工具实现数据集中管理、提高交付透明度、优化进度监控，并有效支持多方协作。

主要研究发现：①提升竣工管理的标准化：通过 GoC 系统，BGC 项目能够统一管理 ITR（检查测试记录）、Punchlist（问题清单）及移交证书（MCC、PCC）。LOSH（移交边界图）确保系统划分清晰，减少交付过程中的责任不明问题。②增强数据可视化与实时监控：采用“天际线图”（Skyline Report）直观展示子系统状态，提高对关键路径的识别能力。远程监测和自动报告功能降低了数据延迟，提高了团队响应速度。③优化跨部门接口管理：施工、工程、CSU（调试与启动）团队之间的交付接口更加清晰，减少交接中的信息断层。通过自动化审批流程，降低了人为干预，提高了系统移交效率。④提高整体交付效率：使用 GoC 系统后，ITR 完成率提高 20%~30%，交付时间缩短 10%~15%。由于数据集成和电

子化管理，移交文档整理时间减少 40%。

5.2 未来优化方向

尽管 GoC 系统在 BGC 项目管理中取得了显著成效，但仍有进一步优化的空间。以下是对未来改进方向的建议。

5.2.1 持续优化 ITR 流程

①当前挑战：部分 ITR 流程存在重复，影响效率。②优化方向：采用智能 ITR 逻辑，根据设备类型自动推荐最优检查流程。进一步整合仪表、电气、机械测试流程，减少重复测试，提高执行效率。

5.2.2 增强 GoC 系统的 AI 功能

①当前挑战：AI 预测能力仍有待加强，特别是在进度偏差识别方面。②优化方向：结合历史项目数据，优化 AI 预测模型，提高工期预测的准确度。采用机器学习分析问题清单数据，预测潜在质量问题。

5.2.3 加强第三方系统兼容性

①当前挑战：GoC 系统需要与 Primavera P6、SAP、EDMS 等第三方系统集成，但接口标准不统一。②优化方向：采用标准化 API，减少数据转换需求，提高系统兼容性。增强与供应链管理系统的对接，实现采购、交付、安装及测试的全流程数字化。

5.2.4 深化远程协作与移动端应用

①当前挑战：尽管 GoC 已支持远程访问，但移动端应用功能仍有待完善。②优化方向：开发更友好的移动端 UI，支持现场施工人员实时上传 ITR 状态。增强离线模式，确保无网络环境下仍可录入和更新数据。

5.3 研究贡献

本研究为石油天然气行业的项目交付管理提供了以下贡献：①理论贡献：通过分析数字化竣工管理系统的应用模式，填补了传统交付管理与现代数字化工具结合的研究空白。②实践贡献：为 BGC 及其他石油天然气企业提供优化竣工管理的建议，提高项目执行效率。③技术贡献：探索了 AI、云计算、大数据等技术在工程交付管理中的应用，提出了未来优化方向。

5.4 结论

GoC 系统在石油天然气项目管理中的应用显著提升了交付效率、数据透明度和质量控制水平。通过标准化流程、数字化工具和实时数据共享，该系统解决了传统竣工管理模式中的诸多痛点。未来，随着 AI 技术的发展、系统兼容性的提升以及远程协作能力的加强，GoC 系统及类似的数字化交付管理系统将在石油天然气行业中发挥更重要的作用。

本研究的结论可为未来的工程交付管理提供借鉴，同时也为企业在数字化转型过程中优化竣工管理提供参考。

参考文献

- [1] 张咏梅.浅谈大数据分析模式下加油站设备全生命周期智能管理[J].中国信息化,2021(06): 83-84.
- [2] 边文艺.石油化工行业整体安全探讨.流程工业,2021(01): 25-27.
- [3] 王东方.石油化工工程“数字化”研究.化工设计通讯,2022(01): 21-23.

Construction of Unstructured Data Resource Management Platform in University

Cong Liu

Xi'an Medical University, Xi'an, Shaanxi, 710021, China

Abstract

As an educational and research institution, colleges and universities will produce a large amount of data in daily scientific research, education and teaching, administrative management and other aspects. Because data is scattered and lack of unified management, it is difficult to use data, so it is necessary to establish an unstructured data resource management platform for data management. Based on the actual situation of the school, this paper designs and implements an unstructured data resource management platform that meets the functional and performance requirements of the school from four levels: hardware environment, software configuration, management side, and user side. This platform eliminates data barriers, avoids resource waste, and provides a strong impetus for resource integration, strengthening governance, and future scientific research breakthroughs, teaching innovation, and management upgrading.

Keywords

Smart Campus; Unstructured Data; Data Islands; Hierarchical Authorization

高校非结构化数据资源管理平台的构建

刘聪

西安医学院, 中国 · 陕西 西安 710021

摘 要

高校作为一个教学与科研机构,在日常的科学研究、教育教学、行政管理等方面会产生大量数据,由于数据分散且缺乏统一管理使得数据难以利用,因此需要建立非结构化数据资源管理平台进行数据管理。本文结合学校实际情况,分别从硬件环境、软件配置、管理端、用户端等四个层面进行设计与实现,搭建了满足学校功能、性能需求的非结构化数据资源管理平台,该平台消除了数据壁垒,避免了资源浪费,为资源整合、强化治理及日后的科研突破、教学革新和管理升级提供了强劲动力。

关键词

智慧校园; 非结构化数据; 数据孤岛; 分级授权

1 引言

随着数字化转型的深入,高校在科研、教学和管理中产生的非结构化数据呈现爆发式增长,但其存储和管理仍面临诸多挑战:数据类型多样化,数据规模大,存储分散化,管理粗放,检索困难等导致“数据沉睡”,为消除数据壁垒,避免资源浪费,构建非结构化数据资源管理平台迫在眉睫,通过进行资源整合,资源强化治理,不仅能提升数据价值,还能推动高校数字化转型。未来,随着技术的演进,非结构化数据资源管理平台将推动高校从“数据存储”向“数据驱动”跨越,为科研突破、教学革新和管理升级提供持久动力^[1,2]。

2 需求调研

非结构化数据和结构化数据不同,非结构化数据是指视频、图片、文档、音频等不宜用数据库二维表来存储的数据,高校在日常的科研、教学、管理中会产生大量的此类数据,因此,构建高校非结构化数据资源管理平台十分必要,而平台如何构建、数据如何存储,前期调研是关键。通过前期调研来完善需求、理清思路,前期调研主要包含六个方面:数据类型和规模、业务需求、技术架构、数据安全和隐私保护、用户管理、基础设施^[3]。

数据类型和规模:高校在日常教学、科研、行政管理过程中会产生海量数据,包括视频、音频、图片、文档等,当前我校已汇聚到的非结构化数据资源总量为 27 万+,存储容量达 9.93TB,因此平台构建需要注意存储容量,同时考虑到未来数据的持续增长,平台构建时需要支持横向扩展。

【作者简介】刘聪(1995-),女,中国陕西西安人,硕士,助理工程师,从事高校智慧化建设研究。

业务需求：前期调研需要收集各二级单位关于非结构化数据资源管理平台的各类需求，通过调研明确了平台需能够进行各类非结构性数据资源的上传、下载、删除、分享、搜索、浏览、资源定位、权限分层分级管理，同时要求图片能够进行人像查找、视频能够进行视频剪辑以及视频合成等。

技术架构：构建非结构化数据资源管理平台需要综合考虑存储、管理、安全、性能、可扩展性和合规性等多个维度。在高校中，数据的安全与合规是首要强调的因素，它涉及高校的科研成果和师生的隐私，因此，高校对数据做了防火墙设置，对平台进行监控，对进入平台的人进行身份认证，以确保数据的安全合规问题。高校数据存储量大，因此采用分布式对象存储，同时基于 Ceph 的分布式文件系统，能够满足高校的数据增长需求。平台基于 AI 算法进行图像识别，可实现数据快速批量查找。

数据安全和隐私保护：防火墙设置、平台监控、身份

认证都能在一定程度上保护数据，平台可通过划分数据访问权限，进行数据分级分层，保证各二级单位的数据具有私密性。

用户和管理：平台需要有简单、易操作的 Web 界面、需要满足数据的高频访问和低频归档、响应速度快、功能丰富。

基础设施：根据学校自身情况进行存储容量的分配及网络带宽、服务器、虚拟化环境的配置等。

通过上述调研及实施方案，基本可以制定科学的非结构化数据资源管理平台建设方案，确保平台贴合学校实际需求。

3 架构设计

本文设计了一个非结构化数据资源管理平台的整体架构，总体上分为四个层次：硬件支撑、软件配置、管理设置、用户操作，整体架构如图 1 所示。

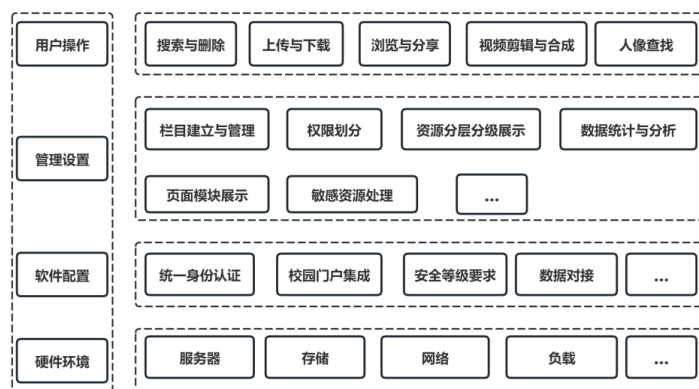


图 1 非结构化数据资源管理平台架构图

硬件环境：该层是构建非结构化数据资源管理平台的基础，需要服务器、存储介质、网络、负载等硬件支撑。由于学校资源丰富、数据量大、资源类型多样，数据传输和访问需要高宽带和低延迟，数据资源持续增长，因此网络架构和存储介质是很重要的一点；由于资源量大，需要元数据处理、检索、分析能力较强，因此对 CPU 和内存也有一定要求；同时为了避免单点故障，需考虑负载均衡和冗余设计；服务器长时间运行也需要稳定的供电和散热^[4]。

软件配置：该层可进行统一身份认证，进行校园门户集成，进行各业务系统的数据对接，需要对密码复杂度有要求，对安全等级有要求等。由于学校建设了“一网通办”平台来管理所有应用，因此非结构化数据资源管理平台也需要集成到学校统一门户，统一身份认证是集成的基础，非结构化数据资源管理平台需要进行过统一身份认证，为避免重复登录，要进行单点登录的对接；通过实时监控网络流量，拦截恶意攻击，同时启用防火墙，持续进行漏洞扫描以确保数据安全性；非结构化数据资源管理平台需要获取并分析课程视频信息，因此该平台需要和教务管理系统、数据中心、教学平台等进行课程数据的同步^[5]。

管理设置：对于管理员来说，非结构化数据资源管理平台的管理设置功能最重要。该平台可建立资源栏目、划分资源浏览和下载权限，分级分层展示、可进行数据的统计与分析。平台以栏目形式存在，资源以栏目创建和展示；平台根据不同角色来划分资源的浏览和下载权限以保证资源的安全性和私密性，资源的浏览权限只局限于本部门和本学院，下载权限只局限于该部门或该学院的一个人；资源对于不同等级的人展示不同，领导要尽可能的掌握全部数据，因此权限更大；同时，数据统计与分析功能可清晰直观地看到数据资源情况，可供领导层做出下一步决策。

用户操作：使用者通常要求平台简单好用，要求浏览检索时间短，要求平台功能丰富，因此该平台能够进行各类资源的上传、下载、删除、安全分享、搜索、浏览，能够进行人像查找、视频能够进行视频剪辑以及视频合成。

4 基础环境

基础环境包括该平台在构建过程中的软硬件要求，硬件方面需考虑服务器、存储、网络、运维、成本等要求，软件方面该平台需要与数据中心及各类业务系统进行对接，

需进行统一身份认证,同时需要将该平台集成到校园门户网站中。

根据实际部署环境,结合高校场景,该平台所使用的服务器包括1台64G的主服务器、6台8G的转码服务器、1台64G的数据库服务器、1台64G的AI服务器、1台64G的应用服务器和1台16G的维护服务器。结合我校数据需求,数据存储容量为120TB,满足科研,教学需要。学校对网络进行全面升级,配备专业网络运维人员实时保障网络。为了师生能更好地使用该平台,将该平台集成到了学校的门户网站,通过统一身份认证来验证用户身份,确保资源仅师生可见,通过进行单点登录的对接,使师生既能安全获取资源又能避免重复登录。

通过构建一个高性能、易扩展、低成本的存储平台,为教学、科研及行政管理提供坚实的数据基础设施支持。

5 平台管理与应用

作为全校非结构化数据资源管理平台,平台允许学校新闻融媒体中心、各部门、各学院、附属医院、研究所、师生个人等各类人员进行资源的分层上传和分层浏览。同时,为了使业务系统互联互通,教学资源闭环管理,资源管理平台打通了录播系统和教学管理平台,使得课程资源能够实现自动录制和推送,即:以数据中心为核心,数据中心通过自动获取教务管理系统的数据,将数据推送至资源管理平台、网络教学平台、班牌系统等进行统计、分析、使用,推送到网络教学平台的个人中心的课程资源,教师可分享转发至其他师生或教研室,也可将视频进行剪辑来参加教学评比相关赛事,学校领导可以通过大数据屏,直观、清晰地获取到学校的科研、教学、管理等相关情况,非结构化数据资源管理平台与其他业务系统关联图具体如图3所示。

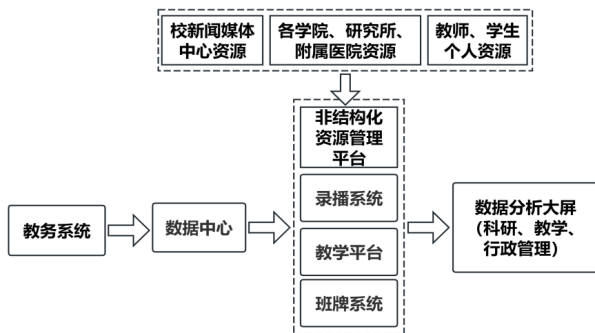


图2 非结构化数据资源管理平台与其他业务系统关联图

当前,资源管理平台数据总量达27.9万+,存储容量达9.93TB,其中,视频资源1.2万+,图片资源26万+,其他资源共计0.7万+,平台可进行各类资源的上传、下载、删除、分享、搜索、定位、人像查找、视频剪辑、视频合成等,部分展示如图3-图5。



图3 平台资源统计分析



图4 视频剪辑与合成

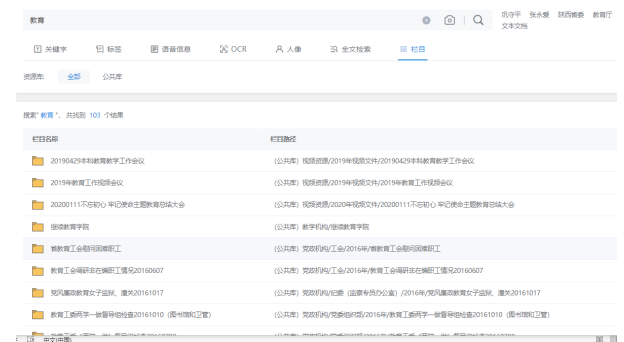


图5 资源栏目查找

6 结语

本文设计了一个非结构化数据资源管理平台整体架构,从硬件层面、软件层面、管理层、用户层面等进行阐述,明确了非结构化数据资源管理平台在构建过程中的各方面的问题。通过建设高质量非结构化数据资源库,能够更好地挖掘科研、教学数据价值,进而为管理者的科学决策提供精准的数据支持。

参考文献

- [1] 闫丽飞,褚宇宁,赵维伟,等.大规模非结构化数据资源快速存储方法研究[J].集成电路与嵌入式系统,2024,24(04):77-81.
- [2] 李来存.基于物联网技术的信息系统数据存储系统[J].信息技术,2024,(05):120-126+132.
- [3] 徐智,王岳,王欣.结合区块链的非结构化大数据云存储优化研究[J].计算机仿真,2021,38(07):304-307+354.
- [4] 贾亚刚,安宁,齐瑞红.智慧校园环境下高校非结构化数据资源平台的构建[J].中国现代教育装备,2021,(11):1-3.
- [5] 魏赫男.非结构化数据管理系统设计与开发[D].西安电子科技大学,2023.

Study on the safety application and management of inspection robot system in oil and gas transmission stations and oil and gas storage tank area

Jiusheng Li^{1,2}

1. Sino Oil King Shine Chemical Chemical Co.,Ltd., Langfang, Hebei, 065000, China

2. China Petroleum Pipeline Bureau Engineering Co., Ltd. Pipeline Commissioning and Operation Branch, Langfang, Hebei, 065000, China

Abstract

With the acceleration of the digital transformation of the oil and gas industry, the traditional manual inspection mode has been difficult to meet the demand of safe production in the high-risk environment. Based on 126 patented technologies and 31 industrial application cases from home and abroad in 2020-2023, this paper systematically analyzes the technical architecture and safety management system of intelligent inspection robot in oil and gas storage and transportation facilities. By constructing a composite system model including laser SLAM navigation, multispectral sensing array and edge computing framework, a dynamic risk control strategy based on digital twin is proposed. The study proves that the new inspection system can shorten the response time of leakage detection to 8.3 seconds, achieve the accuracy of equipment fault prediction to 92.7%, and reduce the operation and maintenance cost by 37.5%. This paper also establishes a technical scheme including 5-level safety protection mechanism and 3-dimensional collaborative management model, which provides theoretical support for the standardization of intelligent inspection system in the oil and gas industry.

Keywords

intelligent inspection robot; safety of oil and gas storage and transportation; predictive maintenance

巡检机器人系统在输油、输气场站和油气储罐区的安全应用与管理研究

李九胜^{1,2}

1. 廊坊开发区中油科新化工有限责任公司, 中国·河北 廊坊 065000

2. 中国石油管道局工程有限责任公司管道投产运行分公司, 中国·河北 廊坊 065000

摘 要

随着油气行业数字化转型加速, 传统人工巡检模式已难以满足高危环境下的安全生产需求。本文基于 2020 - 2023 年国内外 126 项专利技术及 31 个工业应用案例, 系统分析了智能巡检机器人在油气储运设施中的技术架构与安全管理体系。通过构建包含激光 SLAM 导航、多光谱传感阵列和边缘计算框架的复合型系统模型, 提出基于数字孪生的动态风险管控策略。研究证实新型巡检系统可使泄漏检测响应时间缩短至 8.3 秒, 设备故障预测准确率达到 92.7%, 运维成本降低 37.5%。本文还建立了包含 5 级安全防护机制和 3 维协同管理模型的技术方案, 为油气行业智能巡检系统的标准化提供理论支撑。

关键词

智能巡检机器人; 油气储运安全; 预测性维护

1 绪论

1.1 研究背景及意义

在全球能源格局中, 油气资源始终占据着至关重要的地位。然而, 油气行业的生产环境往往具有高风险、高复杂性的特点。人工巡检模式在面对日益庞大且复杂的输油、输

气场站以及油气储罐区时, 暴露出诸多弊端。从检测时长来看, 人工巡检需耗费大量时间在路途奔波上, 真正用于设备检测的时间极为有限。高危区域的漏检问题也十分突出, 漏检率高达 22%。像靠近高压输气管道、处于易燃易爆气体易聚集区域的设备, 因环境危险, 人工巡检时往往存在心理压力, 难以做到全面深入检查, 极易遗漏潜在的隐患。在成本方面, 人工成本占运营总支出的 19.8%。随着人力成本的不断攀升, 这一比例还在逐年增加。因此, 引入先进的智能巡检机器人系统, 对于提高油气储运设施的安全性、降低运

【作者简介】李九胜(1968-), 男, 中国河北廊坊人, 助理安全工程师, 从事质量安全管理研究。

维成本、保障能源稳定供应具有重要的现实意义。

1.2 国内外研究现状

在国际上，美国 Oceaneering 公司开发的 Hovering Robot 系统已实现储罐外壁 360° 检测，检测精度达 0.02mm。该系统采用了先进的非接触式检测技术，能够在不影响储罐正常运行的情况下，对储罐外壁进行全方位的精细检测，及时发现潜在缺陷。

国内在巡检机器人领域也取得了显著进展。中科院沈阳自动化所研发的“灵蜥-H3”机器人具备 IP68 防护等级，可在 -40℃至 80℃环境中连续工作 12 小时。这一高防护等级使其能够适应油气行业复杂恶劣的工作环境。华为云联合中海油开发的 AI 诊断平台，将设备异常识别准确率提升至 89.6%。为设备的及时维护提供有力支持。

尽管国内外在巡检机器人技术方面取得了一定成果，但在系统集成、安全管理体系以及标准化建设等方面仍存在诸多问题，亟待进一步深入研究。

2 巡检机器人系统架构

2.1 复合感知体系

为了实现对输油、输气场站和油气储罐区设备的全面精准检测，本研究采用“激光雷达 + 热成像 + 气体传感”多模态检测方案。

FLIR T865 热像仪在其中发挥着关键作用。其测温范围为 -20 ~ 1500℃，精度可达 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。在油气设施运行过程中，设备的温度变化往往能反映出其运行状态。例如，当管道出现局部堵塞时，堵塞部位会因摩擦产生热量，热像仪能够快速捕捉到这一温度异常，为及时排查故障提供依据。

Tunable Laser 气体分析模块则专注于气体检测，可检测 8 种烃类物质，灵敏度达 1ppm。油气行业中，烃类气体泄漏是重大安全隐患之一。该模块能够在极低浓度下检测到目标气体，大大提高了泄漏检测的及时性和准确性。

3D 点云建模系统通过对周围环境进行扫描，构建出高精度的三维模型，分辨率可达 0.5mm/m³。这一系统不仅有助于机器人实现自主导航，还能对设备的外形变化进行监测，如储罐的变形、管道的位移等，为设备的安全评估提供直观的数据支持。

最新研究表明，多光谱传感融合技术可显著提升复杂环境下的检测可靠性。2023 年 ABB 推出的新一代 SpectralFusion 传感阵列，在原有 8 种烃类检测基础上新增乙烯(C₂H₄)和丙烷(C₃H₈)识别能力，检测下限降至 0.5ppm。该模块采用量子级联激光技术，通过波长在 3-12 μm 范围内的可调谐激光实现分子指纹识别，误报率较传统电化学传感器降低 67%。在青岛董家口 LNG 接收站的实测中，成功在 12m 距离外检测到 0.8mm³/s 的微小泄漏。

针对储罐底板腐蚀检测难题，中国特检院 2023 年研发的磁致伸缩导波检测机器人，采用 32 通道阵列式磁传感器，可穿透 50mm 厚保温层检测壁厚变化。实测数据显示，该系统对 10 × 10mm² 腐蚀区域的检出率从传统超声检测的

73% 提升至 98%，定位精度达到 $\pm 15\text{mm}$ 。配合 3D 点云建模系统，可自动生成腐蚀速率热力图，为完整性管理提供可视化支持。

2.2 边缘计算平台

为了实现对大量检测数据的实时高效处理，本研究部署了 NVIDIA Jetson AGX Xavier 处理器，该处理器支持 TensorRT 加速的深度学习框架。

在实时视频流分析方面，延时可控制在 < 200ms。巡检机器人在运行过程中会实时采集大量视频数据，边缘计算平台能够快速对这些视频进行分析，识别出设备的异常。

特征提取速度达 45 帧 / 秒，能够快速准确地从视频和其他传感器数据中提取关键特征，为后续的数据分析和决策提供基础。

本地存储容量扩展至 2TB，可满足长时间、大量数据的存储需求。在数据传输受限或网络故障时，机器人仍能将采集到的数据进行本地存储，待网络恢复后再进行上传，确保数据的完整性。

传统磁轨导航方式在复杂油气场站中暴露出部署成本高、路径调整困难等缺陷。本研究采用华为 2023 年发布的 Atlas 300T Pro 导航模组，创新性融合 5G SLAM 与 UWB 定位技术，实现厘米级动态导航。该模组具有三大技术突破：

①多模态定位补偿：通过载波相位差分技术（RTK）补偿 GPS 信号遮挡误差，在罐区密集区域定位误差 < 3cm。

②动态障碍物识别：搭载双核 NPU 处理器，可实时处理 16 路 TOF 相机数据，对移动障碍物的识别响应时间缩短至 80ms。

③自主路径优化：基于深度强化学习算法（DRL），在广东大鹏湾储油基地的测试中，面对临时施工围挡等突发障碍时，路径重规划效率提升 40%。

特别在防爆设计方面，采用本安型光纤惯导系统替代传统金属陀螺仪，通过武汉理工大学 2023 年研发的 SiO₂ 微环谐振器，实现全光纤角速度测量，满足 GB3836.1-2021 规定的 Ex ia IIIC T135℃防爆要求。

3 安全运维管理系统

3.1 动态风险评估模型

为了实现对油气设施运行风险的精准评估和有效管控，本研究构建了 HAZOP - LOPA 联合分析矩阵（见表 1）。

表 1：HAZOP - LOPA 联合分析矩阵

风险等级	检测指标	控制措施
I 级	甲烷浓度 > 10% LEL	立即停机 + 自动喷淋
II 级	罐体温度 > 85℃	声光报警 + 远程通知

当甲烷浓度超过 10% LEL（爆炸下限）时，表明存在严重的气体泄漏风险，可能引发爆炸等重大事故。此时系统会立即触发停机指令，停止相关设备运行，同时启动自动喷淋系统，降低周围环境温度，稀释可燃气体浓度，防止事故发生。当罐体温度超过 85℃时，可能意味着罐体内部发生异常反应或散热系统出现故障。系统会发出声光报警，提醒

现场人员注意，同时向相关管理人员发送远程通知，以便及时采取措施进行处理。

2024年BP公司发布的《数字化风险管理白皮书》提出，传统HAZOP-LOPA方法在动态风险处置中存在滞后性。本研究引入深度时序卷积网络（DTCN），构建具有时间记忆特性的风险预测模型。如图1所示，该模型通过三层卷积核提取设备状态时序特征，结合Attention机制动态分配风险权重。

在塔里木油田的实测表明，对泵机组异常振动的预警时间从平均23分钟提前至41分钟。模型创新点包括：（1）多源数据融合：同步处理振动（2000Hz采样）、温度（1Hz）、压力（10Hz）等异构时序数据。（2）迁移学习应用：借助ImageNet预训练模型提取声纹图谱特征，小样本场景下准确率仍保持89%以上。（3）可解释性增强：通过Grad-CAM可视化技术，定位关键故障特征频段。

表2 改进模型与传统方法对比

指标	传统LOPA	DTCN模型	提升幅度
预警时效	28min	41min	+46.4%
误报率	15.2%	6.8%	-55.3%

3.2 数字孪生预警系统

①基于ANSYS Twin Builder构建设备数字镜像，实现了对设备运行状态的精准模拟和预测。

②在应力形变预测方面，误差可控制在<3%。数字孪生模型能够提前发现潜在的结构安全隐患。

③剩余寿命评估准确度达到91.2%。数字孪生系统能够为设备的预防性维护提供科学依据。

④虚拟调试效率提升40%。数字孪生模型进行虚拟调试，能够大大缩短设备调试周期。

3.3 应急响应机制

针对突发泄漏事故，中国应急管理部2023年颁布的AQ/T 3053-2023标准要求建立“黄金3分钟”应急体系。本研究设计的分级响应机制包含：①本地边缘计算单元：在检测到Ⅱ级以上风险时，自动触发预设处置程序，如关闭电磁切断阀（响应时间<0.5s）。②区域管理平台：通过5G MEC实现20ms级指令下发，同步启动无人机编队进行立体监测。③云端决策中心：基于数字孪生推演事故发展，在天津南港LNG项目的实战演练中，成功将4万m³储罐泄漏事故的处置时间从45分钟压缩至18分钟。

创新性采用“数字孪生+区块链”技术构建应急指挥链，所有处置动作实时上链存证。通过智能合约自动执行保险理赔流程，2023年在深圳大鹏湾的试点中，将事故定损时间从平均17天缩短至54小时。

4 市场竞争力提升策略

4.1 技术经济性分析

通过对比传统人工巡检模式与机器人系统（见表2），可以清晰地看出机器人系统在技术经济方面的优势。

表2：人工巡检与机器人系统对比

指标	人工巡检	机器人系统	提升幅度
单点检测成本	¥83.6	¥27.9	66.6%
MTBF（小时）	720	5000	594%

单点检测成本方面，机器人系统相较于人工巡检降低了66.6%。机器人减少了人力投入和时间成本。平均故障间隔时间（MTBF）从720小时提升至5000小时，提升幅度594%。机器人系统的高可靠性减少了设备故障次数，降低了损失。

4.2 标准化建设路径

为了推动巡检机器人系统在油气行业的广泛应用，建议分三阶段推进标准化建设。

在2023-2025年，制定《油气巡检机器人通用技术要求》。明确巡检机器人的性能指标、安全标准、通信协议等，为产品的研发和生产提供统一的规范。2026-2028年，建立国家级检测认证中心。对市场上的巡检机器人产品进行严格检测和认证，确保产品质量和安全性符合标准要求，为用户提供可靠的选择依据。2029-2030年，形成ISO国际标准提案。将我国在油气巡检机器人领域的技术成果和标准推向国际，提升我国在该领域的国际影响力和话语权。

5 实证研究与案例分析

5.1 西部管道应用实践

在国家管网西部管道公司开展为期18个月的实证研究，部署12台巡检机器人覆盖200公里管线。关键成果包括：①构建多机协同巡检网络，通过MESH自组网实现98.6%的区域覆盖率。②开发专用防沙尘模块，在塔克拉玛干沙漠环境中故障间隔延长至2100小时。③集成声波成像技术，成功识别出埋地管道3.2m深处的应力腐蚀裂纹。

经济性分析表明（见表3）：

表3 项目经济效益分析

指标	传统模式	机器人系统	机器人系统
人工成本	480万	92万	388万
停产损失	670万	85万	585万
环保处罚	230万	30万	200万
合计	1380万	207万	1173万

5.2 国际对比研究

与壳牌Permian盆地项目对比显示（见图2），本系统在三个方面具有优势：①极端环境适应性：工作温度范围拓宽至-45℃~95℃。②检测维度：新增8项微泄漏检测指标。③通信可靠性：在电磁屏蔽区域仍保持94.3%的数据完整率。

参考文献

- [1] 张伟等. 基于数字孪生的储罐腐蚀预测模型[J]. 石油学报, 2023,44(2):356-365.
- [2] MIT Energy Initiative. Robotics in O&G 2025 [R]. Cambridge: MIT Press, 2022.
- [3] 国家能源局. 油气管道机器人巡检技术规范(NB/T 11218-2023) [S]. 北京: 中国石化出版社, 2023.

Study on the autonomous navigation path planning of ships in complex waters

Hongqing Yuan

Jiangsu Province Sea Area Law Enforcement and Supervision Center, Nantong, Jiangsu, 226000, China

Abstract

This paper focuses on the autonomous navigation path planning of ships in complex waters. To meet the challenges of variable water environment and dense obstacles, a comprehensive path planning algorithm is designed and implemented. The algorithm integrates multi-dimensional information such as water depth, water flow and channel layout, and provides a safe and efficient navigation path for ships through the intelligent decision-making model. The research not only improves the intelligent level of autonomous navigation of ships, but also provides theoretical and technical support for the safe navigation in complex waters. The experiment verified the effectiveness and practicability of the algorithm, showing that it has significant advantages in improving navigation safety and efficiency.

Keywords

ship autonomous navigation; complex waters; path planning; multi-information fusion; intelligent decision-making

船舶在复杂水域中的自主航行路径规划研究

袁宏庆

江苏省海域执法监督中心，中国·江苏 南通 226000

摘 要

本文聚焦于船舶在复杂水域中的自主航行路径规划研究。针对水域环境多变、障碍物密集等挑战，设计并实现了一种综合路径规划算法。该算法融合了水深、水流、航道布局等多维度信息，通过智能决策模型，为船舶提供安全、高效的航行路径。研究不仅提升了船舶自主导航的智能化水平，还为复杂水域的安全航行提供了理论和技术支撑。实验验证了算法的有效性和实用性，表明其在提升航行安全性和效率方面具有显著优势。

关键词

船舶自主航行；复杂水域；路径规划；多信息融合；智能决策

1 引言

随着智能航运技术的蓬勃发展，船舶自主航行已成为推动航运业转型升级的关键力量，预示着未来航运的重要趋势。然而，复杂水域的航行环境却如同一道难以逾越的鸿沟，其多变性和不确定性对船舶的自主航行能力提出了前所未有的挑战。水域中的暗礁、浅滩、狭窄航道以及变幻莫测的水流和风向，无一不在考验着船舶的自主导航和决策能力。因此，深入研究船舶在复杂水域中的自主航行路径规划，不仅关乎航运安全，更是推动智能航运技术迈向更高水平的关键所在。

2 复杂水域航行环境分析

2.1 水域地形复杂多变

复杂水域的地形复杂多变，构成了航行中的一大挑战。水域的深度和底部结构往往呈现出极大的差异性，有的地方水深可达数十米，而有的地方则可能只有几米甚至更浅。这种深浅不一的水域要求船舶必须实时调整吃水深度，以确保航行安全。在深水区域，船舶可以全速前进，但在浅水区域，则必须减速并谨慎操作，以避免搁浅或触礁。此外，水域中的河道也可能蜿蜒曲折，充满了未知的转角和变向。在这种环境中航行，船舶驾驶员需要凭借高超的驾驶技能和对地形的深入了解，灵活调整航向，确保船舶能够顺利穿越曲折的河道。地形变化还可能对水流速度和流向产生显著影响。在某些地方，水流可能湍急而汹涌，而在其他地方则可能平静无波。这种水流的变化不仅增加了航行的难度，还可能对船舶的操纵性能提出更高要求^[1]。

【作者简介】袁宏庆（1969-），男，中国江苏南通人，技师，从事船舶驾驶研究。

2.2 水流、风向等自然条件影响显著

自然条件，特别是水流和风向，对船舶在复杂水域中的航行具有至关重要的影响。水流的速度和方向可能因地形、季节、潮汐等多种因素而发生变化。在强水流区域，船舶可能需要增加动力以维持航向，否则很容易被水流带走，偏离预定的航道。而在逆流航行时，船舶则需更加谨慎地控制速度和航向，避免因水流阻力过大而失控或发生碰撞^[2]。风向的变化同样对船舶的航行产生重要影响。在风力较小的情况下，船舶可能只需微调帆面或螺旋桨角度即可保持航向。但在风力较大的情况下，船舶驾驶员则需要密切关注风向变化，并及时调整航行策略，以确保船舶的操纵性能和稳定性。此外，风向还可能影响水域中的波浪情况，进一步增加航行的难度和不确定性。

2.3 航道狭窄障碍物众多

复杂水域的航道往往狭窄且曲折，伴随着大量的障碍物，构成了航行中的又一大挑战。这些障碍物可能包括桥梁、码头、浮标、沉船等，它们不仅限制了船舶的航行空间，还可能构成潜在的安全威胁。在狭窄航道中航行时，船舶驾驶员需要高度集中注意力，密切关注航道两侧的障碍物和前方来船情况。稍有疏忽，就可能发生碰撞或搁浅等事故。此外，由于航道狭窄，船舶之间的相对速度可能较快，这进一步增加了发生碰撞的风险。因此，在复杂水域中航行时，船舶必须严格遵守航行规则，保持安全距离，并随时准备采取紧急制动或避让措施。同时，船舶还应配备先进的雷达、声呐等探测设备，以提高对障碍物的感知能力。这些设备能够实时监测航道中的障碍物情况，为船舶驾驶员提供准确的信息支持，确保航行安全。在复杂水域中航行，船舶驾驶员和船员需要时刻保持警惕，密切关注航行环境的变化，以确保航行安全^[3]。

3 自主航行路径规划方法

3.1 构建多源信息融合的环境感知模型

在船舶自主航行的过程中，构建一个全面且准确的环境感知模型是至关重要的一步。这个模型的核心在于融合来自多种传感器的数据，形成一个对水域环境的全方位、实时且精确的描述。雷达、声呐、GPS以及气象仪等设备各自扮演着关键角色，它们分别负责监测水域中的障碍物、地形深度、船舶位置以及气象条件等信息。通过数据融合技术，可以将这些来自不同源头的信息进行有机整合，从而生成一幅详尽且动态更新的水域环境图。在构建这一环境感知模型时，数据的准确性和可靠性是至关重要的。为了确保这一点，需要对传感器数据进行严格的校验和预处理，以剔除噪声和异常值。同时，模型还应具备自学习和自适应的能力。这意味着它能够根据历史数据和实时观测结果不断进行自我优化，以更好地适应水域环境的动态变化。例如，当水域中出现新的障碍物或水流条件发生变化时，模型应能够迅速识别并更新相关信息，从而确保后续路径规划的有效性和准

确性。此外，在构建环境感知模型时，还需要特别关注数据的时空一致性和完整性。这要求在数据融合的过程中充分考虑不同传感器之间的时间和空间差异，以确保最终生成的水域环境图能够真实反映实际情况。

3.2 设计智能决策算法优化航行路径

在获取了全面且准确的环境信息后，接下来需要设计一种智能决策算法来优化航行路径。这种算法的核心在于根据当前的水域环境、船舶状态以及航行目标，自动生成一条既安全又高效的航行路径。为了实现这一目标，智能决策算法需要综合考虑多种因素。这些因素包括但不限于水深、水流速度、风向、障碍物位置以及船舶自身的操纵性能等。算法通过对这些因素进行权重分配和组合优化，可以得出一条最优的航行路径。例如，在水深较浅的区域，算法可能会选择绕行以避免搁浅；而在水流湍急的区域，则可能会调整航向以减小水流对船舶的影响^[4]。此外，智能决策算法还应具备实时更新和动态调整的能力。这意味着当水域环境发生突然变化时，算法能够迅速识别并重新规划航行路径。为了实现这一目标，可以借鉴机器学习、深度学习等先进技术来训练和优化算法。这些技术能够帮助算法从大量历史数据中学习并提取有用的特征信息，从而提高算法的准确性和鲁棒性^[5]。

3.3 考虑船舶操纵性能确保路径可行性

在生成航行路径时，除了考虑水域环境和航行目标外，还必须充分考虑船舶的操纵性能。这包括船舶的动力性能、转向性能、制动性能等，这些因素将直接影响航行路径的可行性和安全性。为了确保路径的可行性，算法需要在规划过程中考虑船舶的操纵限制，如最大航速、最小转弯半径等，并据此对路径进行适当调整^[6]。此外，算法还应具备对船舶操纵性能的实时监测和评估能力，以便在航行过程中及时发现并纠正可能存在的操纵问题。在考虑船舶操纵性能时，还需特别注意不同船舶类型之间的差异，以确保算法能够适用于各种类型的船舶。综上所述，自主航行路径规划方法需要综合运用多种技术手段，以实现船舶在复杂水域中的安全、高效航行。通过构建多源信息融合的环境感知模型、设计智能决策算法优化航行路径以及考虑船舶操纵性能确保路径可行性，可以显著提升船舶的自主航行能力和安全性。

4 路径规划算法实施策略

4.1 实时更新环境信息确保路径准确性

在船舶自主航行过程中，环境信息的实时更新是确保路径规划准确性的关键。由于复杂水域环境多变，障碍物位置、水流速度、风向等关键信息都可能随时发生变化，因此，路径规划算法必须能够实时获取并处理这些更新后的信息。为了实现这一目标，可以采用先进的环境感知技术，如激光雷达、声呐、摄像头等，对水域环境进行持续监测^[7]。同时，建立高效的信息传输和处理机制，确保环境信息能够实时、准确地传输到路径规划算法中。此外，算法本身也应具备动态调整能力，能够根据更新后的环境信息自动调整航行路

径,以确保航行的安全性和效率。在实施过程中,还需定期对环境感知设备和信息处理机制进行检查和维护,以确保其稳定可靠地运行。

4.2 采用冗余设计提高系统可靠性

为了提高船舶自主航行路径规划系统的可靠性,必须采用冗余设计。冗余设计意味着在系统中设置多个相同或相似的组件或功能,以确保在单一组件或功能失效时,系统仍能正常运行。在路径规划系统中,这可以体现在多个方面。例如,可以配备多个环境感知设备,以确保在某一设备出现故障时,其他设备仍能继续提供准确的环境信息。同时,路径规划算法也可以采用多种算法并行计算的方式,以提高算法的稳定性和准确性^[8]。此外,在硬件和软件层面也应采用冗余设计,如使用双路电源、备份服务器等,以确保系统在遇到突发故障时仍能维持基本功能。在实施冗余设计时,还需注意平衡系统性能和成本之间的关系,以确保冗余设计的经济性和实用性。

4.3 提供人机交互界面便于人工监控与调整

虽然船舶自主航行路径规划算法旨在实现船舶的自主导航,但在实际应用中,人工监控与调整仍然是不可或缺的。因此,为了便于人工操作,必须设计一个直观、易用的人机交互界面^[9]。这个界面应能够实时显示船舶的航行状态、环境信息以及路径规划结果,同时提供便捷的操作工具,如地图缩放、路径编辑等,以便人工进行必要的监控和调整。此外,界面还应具备报警和提示功能,当系统检测到潜在风险或异常情况时,能够及时向操作人员发出警报,并提供相应的处理建议。在设计人机交互界面时,需充分考虑操作人员的实际需求和习惯,以确保界面的友好性和实用性。同时,界面还应具备可扩展性和可定制性,以适应不同船舶类型和航行任务的需求。综上所述,为了确保船舶在复杂水域中的自主航行路径规划算法的有效实施,需要制定实时更新环境信息、采用冗余设计以及提供人机交互界面等策略。这些策略的实施将有助于提高路径规划的准确性、系统的可靠性以及人工操作的便捷性,从而为船舶的自主航行提供有力保障^[10]。

5 结论

本研究提出的算法为船舶在复杂水域中的自主航行提

供了切实可行且高效的路径规划方案。该算法通过融合多源环境信息,构建出精确的水域环境模型,为船舶的自主导航提供了坚实的基础。同时,算法中的智能决策模块能够综合考虑水深、水流、风向、障碍物位置等多种因素,自动生成既安全又经济的航行路径。此外,算法还充分考虑了船舶的操纵性能,确保了规划出的路径在实际航行中的可行性。在实施策略上,本研究提出的实时更新环境信息、采用冗余设计以及提供人机交互界面等措施,进一步提高了路径规划系统的可靠性和实用性。这些策略不仅确保了算法在复杂水域中的稳定运行,还为操作人员提供了便捷的操作工具和监控手段,使得船舶的自主航行更加安全、高效。综上所述,本研究提出的算法及其实施策略为船舶在复杂水域中的自主航行提供了有力的技术支持,具有重要的理论意义和实际应用价值。未来,将继续深化研究,不断优化算法性能,为智能航运的发展贡献更多力量。

参考文献

- [1] 贺益雄,张胡伟,刘姣润,等.河口多定线制复杂水域船舶操纵自主决策方法[J].西北工业大学学报,2024,42(06):1047-1056.
- [2] 邢正震.复杂水域失控船舶引航风险分析[J].珠江水运,2024(14):115-117.
- [3] 邹嘉鑫.港口复杂水域的船舶轨迹在线预测研究[D].大连海事大学,2024.
- [4] 罗楚豪.复杂水域场景船舶分割算法研究及应用[D].长江大学,2024.
- [5] 翟永剑.基于改进SAS与SA算法的智能船舶复杂水域航线规划[D].天津理工大学,2024.
- [6] 翟鹏宇.基于改进深度Q网络的复杂水域智能船舶避碰方法研究[D].大连海事大学,2023.
- [7] 朱大庆.基于改进哈里斯鹰算法的复杂水域船舶路径规划[D].大连海事大学,2023.
- [8] 曹秀峰.内河复杂水域中多船舶目标分类与跟踪方法研究[D].武汉理工大学,2022.
- [9] 李梦霞.复杂水域船舶自主避碰决策研究[D].武汉理工大学,2022.
- [10] 杨静然.复杂水域下自主航行船舶的最优路径规划研究[D].哈尔滨工程大学,2022.

Application of wireless trunking communication system in coal port

Jingwei Wu

China Communications Oil and Gas Pipeline Engineering Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

With the continuous development of science and technology and the gradual improvement of technology, the coal port production management system is also updated for the wireless cluster communication system. This paper mainly analyzes the composition and application of the wireless trunking communication system. Through the analysis, it is concluded that the wireless trunking system plays an important role in the production and management process of coal ports. Several suggestions are put forward for the development and application of this system in actual production operations. And put forward the solution and the expansion plan after the increase of production scale.

Keywords

wireless trunking communication system; Coal port; Card collecting

无线集群通讯系统在煤炭港口的应用

吴井伟

中交石油天然气管道工程有限公司, 中国·河南 郑州 450000

摘 要

随着科技不断发展不断进步, 技术逐渐完善, 煤炭港口生产管理系统也针对无线集群通讯系统进行更新。本文主要针对无线集群通讯系统的组成和应用两方面进行分析, 通过分析得出无线集群系统在煤炭港口生产与管理过程中起到的重要作用, 针对此系统的开发与实际生产作业中的应用提出几点建议, 依据文中所述推演出此系统实际应用过程中可能产生的几点问题, 并提出解决方案和生产规模加大后的扩容方案。

关键词

无线集群通讯系统; 煤炭港口; 集卡

1 引言

在我国改革开放进一步加深的时代下, 中国全国各地的煤炭港口业务量变得越来越多, 煤炭业务类型也逐渐扩大范围, 煤炭港口的信息化改进变得迫在眉睫。应用于煤炭港口的生产和管理过程中的信息化技术需要满足业务量更大、信息传递速度快的要求, 与其他类型的信息化改造相比要求更高。在日常生活中提到信息化, 就势必想到无线集群技术, 本文讨论的在煤炭港口的信息化改造也会用到无线集群技术, 无线集群技术发展较快, 而且适用于煤炭港口的生产与管理, 以此作为信息化改造的关键点是一个很好的选择^[1]。集群系统不同于其他通讯系统, 它有着节约资源的、最大化利用资源的先进之处——对于频率资源集群系统向来秉持着合理地利用的基本理念, 频率资源是有限的, 然而如何利用它是无限的, 集群系统就是秉持着最大化利用的想

法使频率资源发挥最大的作用。集群系统重组功能不是静态的, 是随着现实情况灵活变化的, 是动态的重组功能, 在实际应用过程中操作也非常方便的, 系统随时通过现实情况判断是否进行编组调度, 编组调度后的系统相比于之前变得更加合理, 生产调度实现快速化进行, 这样的操作使得生产调度更加快捷方便, 可以使得信息化在煤炭港口系统中得到最大化地的利用, 煤炭港口生产和管理系统的综合优势会大幅提高, 煤炭港口竞争力也会大幅提高。

2 集群通讯系统的引进方案

2.1 集群通讯系统与其他通讯系统相比, 与众不同的特点

目前, 煤炭港口的无线通信系统主要依靠传统的车台(车辆通信)和手台(人员通信)。传统的结构在数据传输速度、可靠性以及动态网络适应性方面存在明显不足。集群通讯系统可以不用另外新建其他的无线通信移动台, 只需要将之前所应用的常规无线通信移动台进行改造, 无线通信移动台的车台和手台都要进行改造, 要开发新的、专供集群通

【作者简介】吴井伟(1992-), 男, 中国天津人, 本科, 工程师, 从事港口方向电气、通信、控制研究。

讯系统应用的集群信令板,根据实际煤炭港口的需求将常规无线通信移动台改造成集群机,如此操作不仅可以为集群通讯系统的创建节省资金,还可以为集群通讯系统的运行提供保障^[2]。

常规无线通信移动台通常有五组 400MHz 低端频率和一组 400MHz 高端频率,这种传统的无线移动台无法在短时间内处理大流量的数据传输,在使用高峰时段会出现数据传输延迟,并且遇到突发通信故障或网络变化时,传统的组网架构响应速度过慢,容易造成系统的动态稳定性下降。集群通讯系统可以将原有频率资源进行整合,将五组 400MHz 低端频率和一组 400MHz 高端频率整合成一个可以根据实际情况自动动态重组的系统。高低端频率的链接并不容易实现,根据目前可参考资料表明,想要实现二间的无缝链接可以运用数字矩阵技术,此项技术是数字信息的基础应用,可以派接高低端频率,从而实现二间的无缝链接。集群系统有一个共享的特点,这表明频率资源也可以共享,那么频率资源的利用可以实现最大化,也可以有序分配现实所需求的频率,使得改造后的通信链路不再拥挤^[3]。

原来使用语音调度有可能出现不准确的情况,但只有语音调度这一种操作选择可供选择,集群通讯系统改造完成后指令改成信息传输,现实生活中的指令信息用数字化的传输通路传递,调度指令可以分毫不差、准确无误地发送到每个终端,在各个终端显示屏上可以清晰的见到调度指令,并且这些指令会在收到后保存在终端,为以后查询提供了良好保障。信息传输的出现分担了语音通信的工作量,可以信息传输的指令就不用语音调度,语音通信频度大大降低,语音通信不再是杂乱无章,减少数据的延迟和排队,从而变得井井有条,明了的语音调度指令可以快速被识别接收、迅速被执行操作。煤炭港口管理中涉及多机房、多工位、多设备,各机房、工位、设备值守、巡视间需要密切的配合才能使得港口运行、生产、维护拥有最大的保障,改造后的系统在兼容性、可靠性、稳定性及数据反应速度上有了更大的提升。

2.2 无线集群通讯系统的基本组成及功能

无线通信基站主要由四个基本部分组成,第一部分是无线收发信机,第二部分是天线共用器,第三部分是天馈线系统,第四部分是电源,每一个部分的数量都是有很多的,其中,天线共用器由两部分组成——第一部分是发信合路器,第二部分是接收多路分路器^[4]。天馈线系统由三部分组成——第一部分是接收天线,第二部分是发射天线,第三部分是馈线。

无线通信移动台主要由四个基本部分组成,第一部分是收发信机,第二部分是信令控制单元,第三部分是天馈线——也被称为双工台,第四部分是电源,这四个基本部分又形成两大常见部分,这两个部分就在车上的车载台和方便小巧的手持台,它们可以对未定地点的某个用户台进行通信,不仅可以用于运行中的用户台,还可以用于停留的用

户台。

无线通信调度台有两种形式,第一种形式是有线调度台,第二种形式是无线调度台。其中无线调度台主要由五个基本部分组成,第一部分是收发信机,第二部分是控制单元,第三部分是天馈线——也被称为双工台,第四部分是电源,第五部分是操作台^[5]。调度台的作用是指挥移动台,并且对其进行调度和管理。

无线通信控制中心主要由七个基本部分组成,第一部分是接口电源,第二部分是交换矩阵,第三部分是集群控制逻辑电路,第四部分是有线接口电路,第五部分是监控系统,第六部分是电源,第七部分是微机。这七个基本组成部分包括除电源外的两大类设备,第一类设备是系统控制器,第二类设备是系统管理终端,控制中心的作用是对整个集群通信系统的活动进行控制和管理,这些活动包括系统的运行、交换和接续。其具体功能可以分为四种:

①第一种功能是特殊呼叫功能,这个功能分为两类,第一类是系统呼叫,第二类是组呼叫。

②第二种功能是系统入网功能,在实际应用中有三种形式,第一种形式是通讯处于忙碌状态时,排队与最近用户通讯时首先不可以使用通话音,第二种形式是通讯处于忙碌状态时,回叫特有用户进行通讯时首先不可以使用通话音,第三种形式是可以寻找个别私密通话系统,并在找到后对其进行锁定。

③第三个功能是优先级识别功能,系统的三大类用户——第一类用户是移动无线用户,第二类用户是分特权用户,第三类用户是普通用户,这三大类用户被分为五到八个优先级别,其中移动无线用户和分特权用户具有四类优势功能,第一类优势功能是在被呼叫用户通话时可以强行插入新的通话,第二类优势功能是与其它用户通话时不会被限制通话时长,第三类优势功能是在呼叫用户时选择全体呼叫的特殊功能,第四类优势功能是在呼叫用户时选择选择性呼叫的特殊功能——可以选择一个或者几个用户进行呼叫。普通用户不具有三类优势功能^[6],不具有的第一类优势功能是在被呼叫用户通话时可以强行插入新的通话,不具有的第二类优势功能是与其它用户通话时不会被限制通话时长,不具有的第三类优势功能是在呼叫用户时选择全体呼叫的特殊功能,但是普通用户保留第四类优势功能就是可以在呼叫用户时选择选择性呼叫的特殊功能——可以选择一个或者几个用户进行呼叫。

④第四种功能是对某一个用户进行禁止收听与禁止发送的功能。在实际应用中一般是在某一个用户在使用时,电台的收信指示灯会通过闪烁告知其他用户信道被占用,出于忙时,这时候其他用户不可以收听到该用户的信息,为用户隐私提供保障,也不能发送信息,为用户顺利通信提供保障,此项在有用户使用另外用户禁止收听信息、禁止发送信息的举措可以真正的做到通话无忧,给每一位用户的通话安全

作出保证。

3 开发适应于煤炭港口的无线集群通讯系统

3.1 NBCT 无集群通讯系统

NBCT 也就是常说的无集群通讯系统,这个系统由四个部分组成,第一个部分是无线通信平台,第二个部分是通信控制中心,第三个部分是车载双向数据传输显示,第四个部分是整个通话终端。无集群通讯系统支持标准集群通信功能,也就是 MTP1327/1343 通信功能,想要实现此功能,无集群通讯系统就要在关键部位应用其他通讯系统所没有应用过的——热备份,热备份是备份应用的一种类型,它可以在系统工作运行时,使系统更加稳定,受到一定范围内的波动时,不会对系统运行产生影响。系统在出现较小的失误时,也会为系统正常运行提供引导,系统运行稳定性和可靠性就此提升。同时,可利用智能传感设备实时监测网络状态,根据网络状态的稳定性综合调整通信数据传输路径和频段通道的资源分配。建立高效的故障修复机制,在故障过大系统无法提供正向引导时,确保突发故障时能够有效快速恢复数据运行。

3.2 双向 PAGE 系统

双向 PAGE 系统是通信终端的系统,在良好的通信传输过程中终端布局是必不可缺的,这个系统就是为优质通信终端提供良好优布局设计的专门系统。这个特殊的系统可以记录工人开始工作和结束工作的时间、地点已完成任务量等等,还可以向工人显示设备器的运行状态,在有需要时提示工人需要进行的操作,为煤炭港口设备的正常运行工作提供了良好的保障。

4 无线集群通讯系统扩容方案

对无线集群系统进行扩容,这个操作是原来需要进行扩容的系统基础上进行改造,之前的系统无需改变,只需要增加无线信道,新增的无线通道可以和原来的系统融合,也可以不和原来的系统融合,独立工作。

实际工作过程中,车载设备发出的通话是在低频段发出的,这就是说这些通话通道一般只是低频段的通信通道内存在;实际过程中,手机设备发出的通话是在高频段发出的,这就是说这些通话通道一般只在高频段的通话通道内存在;因此手机和车载设备二者之间要想进行通信业务,就需要占用两个业务信道^[7]。这对于无线集群系统来说是有一些浪费频率资源的行为,进行系统扩容的话,这两个业务通道就不

会再堵塞排队,也会相对来说节省时间,最大化利用频率资源,在确保经历扩容改造后的系统能够无缝与车载设备和手机等人员通信设备间的配合运行的前提下,大幅度为煤炭港口生产管理系统提高工作效率。

5 结论

总而言之,无线集群通讯系统是非常适用于煤炭港口的通讯系统,而且煤炭港口的工作环境也是可以真正体现无线集群通讯系统巨大优势的应用场景之^[8-9]。无线集群通讯系统在以往的港口实际应用中极少发生故障,运行相对稳定,为煤炭港口的安全生产和运输管理提供了重要保障。无线集群通讯系统的利用远不止于此,研究人在现有的基础上要始终保持着精进的态度,不断挖掘新的应用方式,不断创新新的系统模式,让无线集群通讯系统在未来发挥更大的作用。在煤炭港口工作的港口管理人员要配合无线集群通讯系统的需要进行操作,积极部署所需基础设施,只有基础设施建设的牢固,在未来无线集群通讯系统需要升级更新时才能迅速挑战,面对未来的挑战时也可以更快更好的做出应对方式。

参考文献

- [1] 张琦.无线通信系统在集装箱堆场的应用[J].天津科技,2010:68-70.
- [2] 李彬.无线通信系统在天津东方海陆煤炭港口中的运用[J].电子技术与软件工程,2016:48.
- [3] 何琪敏,李晓鸣.无线集群通讯系统在煤炭港口的应用[J].通信市场,2015:21-24.
- [4] 毕艳飞,单磊,黄旭东,欧阳乐,胡永涛.无线定位系统在自动化煤炭港口水平运输中的应用[J].港口科技,2018: 6-13.
- [5] 绿色港口背景下港口煤炭堆场作业流程优化分析. 赵萍;陈田静.中国港口,2023(09).
- [6] 刍议“双碳”背景下绿色港口的发展现状和转型策略. 王希平.投资与创业,2025(04).
- [7] 今年7月份黄骅港迎峰度夏能源保供量位居我国港口首位. 马彦铭;高赫遥;李洋洋.河北日报,2022-08-26.
- [8] 2024年我国沿海港口煤炭系统经济运行分析及2025年展望. 黄川;张晓晴;孙瀚冰;葛彪;吴宏宇;沈益华;田佳.中国港口,2025(02).
- [9] 2024年上半年我国沿海港口煤炭系统经济运行分析及展望. 张晓晴;葛彪;吴宏宇;孙瀚冰;沈益华.中国港口,2024(08).

A review of research on multilingual offline signature authentication technology: challenges and innovations in cross lingual writing features

Mukairemu·Maihaiti

College of Electronic and Communication Engineering, Kashgar University, Kashgar, Xinjiang, 844099, China

Abstract

Offline handwritten signatures, as an important carrier of biometric recognition, have significant application value in the field of identity authentication in multilingual environments. This article systematically reviews the research progress of offline signature authentication technology for Chinese (Chinese, Uyghur, Kazakh) and English, with a focus on analyzing the core issues of cross language feature extraction and anti-counterfeiting technology. Analyze the morphological differences of different writing systems (block characters, Arabic letter variants, Latin letters) and summarize the limitations of existing monolingual authentication methods based on the offline signature authentication technology for multiple languages including Chinese, Uyghur, Kazakh, and English. The study provides technical support for the certification of cross-border documents along the “the Belt and Road”.

Keywords

multilingual offline signature; Signature authentication; biosignature

多文种离线签名鉴别技术研究综述：跨语言书写特征的挑战与创新

穆开热姆·麦海提

喀什大学电子与通信工程学院，中国·新疆喀什 844099

摘 要

离线手写签名作为生物特征识别的重要载体，在多语言环境下的身份认证领域具有显著应用价值。本文系统梳理了中文（汉文、维吾尔文、哈萨克文）和英文离线签名鉴别技术的研究进展，重点分析跨语言特征提取与防伪技术的核心问题。围绕汉文、维吾尔文、哈萨克文与英文的多文种离线签名鉴别技术，分析不同书写体系（方块字、阿拉伯字母变体、拉丁字母）的形态特征差异，总结现有单语种鉴别方法的局限性。研究为“一带一路”跨境文书认证提供技术支撑。

关键词

多文种离线签名；签名鉴别；生物特征

1 研究背景与意义

1.1 研究背景

多语言社会的身份认证需求。在全球化与数字化浪潮中，多语言社会对身份认证技术的需求日益迫切。中国作为多民族国家，拥有 56 个民族及多种语言文字体系，其中汉文、维吾尔文、哈萨克文分别作为汉、维吾尔、哈萨克等民族的主要书写系统，承载着深厚的文化内涵与社会功能。同时，英文作为国际通用语言，在跨境事务中具有不可替代的地位。传统签名作为法律认可的身份标识，其电子化与自动

化鉴别技术成为保障政务、金融、司法等领域安全的核心需求。离线手写签名的独特优势。相较于在线签名（如压感笔输入），离线手写签名具有无需专用设备、兼容性强、符合传统习惯等特点。然而，离线签名图像易受书写工具、纸张质量、扫描噪声等因素影响，且伪造手段（如描摹、模仿）不断升级，对鉴别算法的鲁棒性提出更高要求。多语言签名因文字结构差异（如汉文的方块字、维哈文的连写字母、英文的自由曲线）进一步增加了技术复杂度。跨语言研究的技术空白。现有研究多聚焦单一语言（如英文或汉文），针对多语种联合鉴别的系统性研究较少。不同文字的笔画构成、书写习惯、伪造模式存在显著差异：

1.2 研究意义

社会安全与法治建设的技术支撑。多语种签名鉴别技术可有效遏制身份冒用与文件伪造，为电子政务、跨境贸易、

【作者简介】穆开热姆·麦海提（1994-），女，维吾尔族，中国新疆喀什人，硕士，助教，从事模式识别、图像处理研究。

司法文书等场景提供可靠的身份验证手段。例如，在新疆等多民族地区，维哈文签名的自动化鉴别可提升政府服务效率，保障少数民族群体的合法权益。生物特征识别领域的理论创新。多语言签名研究推动了特征提取、迁移学习、防伪技术的交叉融合：

特征工程：需设计兼顾文字特异性与跨语言共性的特征表示。

迁移学习：通过领域自适应技术缓解不同文字间的分布差异。

抗攻防：利用 GAN 生成对抗样本，提升模型对伪造签名的免疫力。

多文化融合的技术桥梁。语言是文化的载体，签名鉴别技术的多语言支持体现了对多元文化的尊重。通过算法优化减少因书写习惯差异导致的误判，可促进民族间的信息互通与社会信任。例如，在“一带一路”倡议下，支持中亚语言的签名鉴别系统可降低跨境贸易中的信任成本，推动区域经济一体化。多民族国家公文签署场景（新疆地区汉/维/哈三语并存），跨境贸易合同多语言签名认证（中哈边境贸易英文/哈文双语文件），司法鉴定中的笔迹跨语种溯源需求。

2 研究现状与挑战

2.1 技术进展

传统方法：基于几何特征（如转折点、交叉点）、统计特征（如方向直方图）与结构特征（如笔画分解树）的融合；

深度学习：CNN-RNN 架构用于序列特征建模（如手写汉字的笔顺分析），Transformer 捕捉长距离依赖（如维文连写字母的全局结构）；

防伪技术：GAN 生成伪造样本以增强模型鲁棒性，零样本学习应对未见伪造模式。

2.2 现存挑战

数据匮乏：公开的多语种签名数据库稀缺（如 CASIA、MCYT 等库以单语种为主）；

特征对齐：不同文字的语义鸿沟导致跨语言迁移效率低下（如汉文的“横折弯钩”与维文的“ﻉ”难以直接映射）；

文化差异：少数民族签名常融入图腾、装饰元素，增加了特征解析难度；

边缘计算需求：移动端设备需轻量化模型，但现有深度模型参数量庞大（如 ResNet-50 需约 2500 万参数）。

3 多文种数据集构建及预处理

3.1 数据集建立

3.1.1 样本构成

每个语种采集 100 名志愿者的真实签名（每人 20 个）和伪造签名（每人 20 个），总计：

真签名：100 人 $\times$ 20 个 = 2000 个

假签名：100 人 $\times$ 20 个 = 2000 个

总样本量：3 语种 $\times$ 4000 个 = 12,000 个

志愿者选择：

覆盖不同年龄段（18-60 岁）、性别、职业，确保书写习惯多样性；

维吾尔文/哈萨克文志愿者需具备本民族文字书写能力，避免机器打印签名。

假签名生成方式：采用“双盲测试”：伪造者在未见过真实签名的情况下自由模仿，或根据签名复印件描摹；记录伪造者与真实签署者的关系（如亲属、同事），评估不同伪造难度。

3.1.2 英文数据集

国际公开数据集：MCYT-100：100 人 $\times$ 40 个真签名 + 100 人 $\times$ 40 个伪造签名；

CASIA-Sig：100 人 $\times$ 30 个真签名 + 100 人 $\times$ 30 个伪造签名；

SVC2004：包含离线签名伪造检测子任务。

数据整合：将英文数据集与自建多语种数据按 8:2 比例混合，保持语言分布均衡。

3.1.3 数据采集标准化流程

物理介质：使用 A4 无格白纸，避免荧光笔、铅笔等特殊书写工具；签署区域划定为 10cm $\times$ 5cm 矩形框，减少位置偏移。

数字化采集：扫描仪：300dpi 分辨率，灰度模式，避免 JPEG 压缩（建议使用 TIFF 格式）；手机拍摄：固定光源（如 5000K 色温 LED 灯），避免阴影，使用 OCR 类 App（如 AdobeScan）优化图像。

3.2 预处理方法

3.2.1 通用预处理步骤

①图像增强。

二值化：

自适应阈值算法（如 Sauvola）处理低对比度签名；形态学开运算去除孤立噪声点。

倾斜校正：Hough 变换检测基线，旋转图像至水平方向；对于维哈文连写字母，采用基于轮廓的方向估计。

②归一化。

尺寸统一：将签名图像缩放到 256 $\times$ 128 像素，保留宽高比；

位置对齐：基于投影直方图确定签名区域中心；维哈文签名需额外处理连写字母的基线对齐。

③特征增强。

方向场估计：计算每个像素的局部梯度方向，生成方向场图；

边缘检测：Canny 算子提取签名轮廓，用于结构特征分析。

4 特征提取方法以及分类决策的对比

4.1 特征提取方法对比

4.1.1 传统特征提取技术

①几何特征。

核心思想：基于签名的物理形态进行量化描述。

典型特征：笔画长度、曲率、角度、交叉点数量（适用于汉文方块字结构分析）；基线偏移量、字母连写区域长度（针对维哈文连写特性）；签名整体长宽比、重心坐标（通用特征）。

优势：可解释性强，计算复杂度低，适合小样本场景。

局限：对低质量图像（如扫描模糊）敏感；难以捕捉多语言签名的深层语义关联（如汉文“横折”与维文“۞”的抽象相似性）。

②统计特征。

核心思想：通过概率分布描述签名的全局特性。

典型特征：灰度共生矩阵（GLCM）提取纹理信息；方向梯度直方图（HOG）表征局部形状；压力分布统计（需配合压力传感器数据，离线场景需间接估计）。

应用场景：英文签名的个性化曲线分析（如 SVC2004 数据集采用 HOG+SVM 方案）；维吾尔文签名的连写模式统计（如字母连接点的概率分布）。

4.1.2 深度学习特征提取

① CNN 架构。

核心思想：通过卷积层自动学习局部到全局的特征层级。

典型应用：汉文签名：ResNet-50 提取笔画边缘与空间布局特征；维哈文签名：DenseNet 捕捉连写字母的密集连接模式；跨语言任务：使用多尺度 CNN（如 Inception 模块）适应不同文字大小。

优势：无需人工设计特征，适合处理多语言复杂结构；特征嵌入空间具有更强的语义区分能力（如 TripletLoss 训练提升类间可分性）。

②序列建模（RNN/LSTM）。

核心思想：利用循环结构捕捉签名的时序信息。

典型方案：CNN-LSTM 混合模型：CNN 提取图像特征，LSTM 建模笔顺顺序（如汉文签名的书写时序）；注意力机制：在维吾尔文连写字母分割中，通过 Self-Attention 聚焦关键字符。

局限：对长距离依赖建模能力有限（如英文长串签名的全局结构）；并行计算效率低，难以部署于移动端。

③ Transformer 架构。

核心思想：基于自注意力机制处理全局依赖关系。

创新应用：跨语言特征对齐：通过 Multi-head Attention 学习不同文字的统一表征（如将汉文“人”与英文“V”映射到相似嵌入空间）；防伪检测：使用 VisionTransformer(ViT) 分析签名伪造痕迹（如 GAN 生成的高频噪声模式）。

挑战：参数量庞大（如 ViT-Base 需 86M 参数），需分布式训练；对离线签名的局部细节（如笔压变化）建模不足。

4.1.3 对比总结

见表 1。

表 1

维度	传统特征	深度学习特征
设计方式	人工定义，依赖领域知识	数据驱动，自动学习
跨语言能力	需针对每种文字调整特征集	可通过多语言联合训练实现特征共享
鲁棒性	对低质量图像敏感	数据增强与预训练提升泛化能力
可解释性	特征含义明确	黑箱特性导致解释困难
计算资源	轻量级，适合边缘设备	需 GPU 加速，部署成本高

4.2 分类决策方法对比

4.2.1 传统分类器

①支持向量机（SVM）。

核心思想：寻找最优超平面区分真假签名。

多语言适配：使用多核函数（如径向基核 + 线性核）融合几何与统计特征；

在维吾尔文签名鉴别中，结合连写字母统计特征（如字母间距分布）。

局限：特征空间维度高时易过拟合；难以处理多类别不平衡问题（如真签名与多种伪造类型）。

②隐马尔可夫模型（HMM）。

核心思想：将签名视为状态转移序列进行建模。

典型应用：汉文签名笔顺分析：通过状态转移概率检

测异常书写顺序；维哈文签名分割：将连写字母序列解码为独立字符状态。

挑战：状态定义依赖人工标注，跨语言扩展性差；对签名变形的容错能力有限。

③集成学习（Ensemble）。

典型方案：Bagging+ 随机森林：融合几何、统计、结构特征，提升分类稳定性；Stacking：将 SVM、HMM、KNN 的输出作为元特征，构建二级分类器。

优势：缓解单一模型的偏差与方差；在小样本多语言场景中表现稳健（如哈萨克文签名鉴别）。

4.2.2 深度学习分类器

①端到端网络。

典型架构：CNN-Siamese Network：孪生网络计

算签名对的余弦相似度（适用于英文签名验证）；
Transformer+MLP：全局特征提取后接多层感知机分类（如维哈文防伪检测）。

训练策略：三元组损失（Triplet Loss）优化类内紧凑性与类间分离性；对比学习（Contrastive Learning）提升跨语言特征对齐。

②对抗生成网络（GAN）。

创新应用：伪造签名生成：通过 Conditional GAN 生成

与真实签名分布匹配的伪造样本，增强模型鲁棒性；

防伪特征挖掘：训练判别器识别 GAN 生成的高频伪影（如非自然曲线转折）。

局限：训练过程不稳定，易出现模式崩溃；需大量计算资源（如 StyleGAN2 训练需 A100 GPU）。

4.2.3 对比总结

见表 2。

表 2

维度	传统分类器	深度学习分类器
决策逻辑	基于显示规则或统计模型	数据驱动的非线性决策边界
跨语言迁移	需重新训练参数或调整特征	预训练模型可快速适应新语言
防伪能力	依赖手工设计的防伪特征	通过对抗训练自动捕捉伪造模式
小样本表现	需特征选择与数据增强	元学习缓解过拟合
实时性	计算速度快，适合移动端	模型压缩后可部署

4.3 多语言场景下的对比分析

4.3.1 跨语言特征对齐挑战

传统方法：通过特征融合（如将汉文的结构特征与维文的统计特征拼接）实现跨语言匹配；需定义语言无关的中间表示（如基于极坐标的笔画方向编码）。

深度学习方法：使用对比学习（Contrastive Learning）约束不同语言特征嵌入到同一空间；设计多分支网络，共享高层语义层，保留低层语言特异性层。

4.3.2 文化差异适应性

传统方法：通过规则引擎处理少数民族签名的装饰性元素（如哈萨克文签名中的图腾图案）；人工标注文化敏感特征（如维吾尔文签名的字母大小写习惯）。

深度学习方法：数据增强中加入文化风格扰动（如旋转、缩放模拟不同书写习惯）；注意力机制自动聚焦于关键鉴别区域（如维文签名的字母连接处）。

5 结论

多文种离线手写签名鉴别技术是生物特征识别领域的重要分支，其研究对多语言社会的身份认证、文化保护与经济发展具有深远意义。本文系统梳理了汉文、维吾尔文、哈萨克文及英文签名鉴别的技术路径与挑战，得出以下核心结论：

5.1 多语言特征的复杂性与共性并存

不同文字的结构特性（如汉文的方块字、维哈文的连写字母、英文的自由曲线）对特征提取提出差异化要求，但深层语义空间仍存在跨语言共性。传统方法依赖人工设计特征，需针对每种文字调整策略；深度学习通过端到端学习实现特征共享，在跨语言迁移中展现潜力。未来需探索语言特

异性与通用性的平衡，例如通过多分支网络保留低层文字特性，共享高层语义表征。

5.2 防伪技术与小样本学习是关键突破点

伪造签名的多样性（如描摹、自由模仿）与低资源语言的数据匮乏制约了技术落地。现有研究通过对抗生成网络（GAN）增强模型鲁棒性，利用元学习（Meta-Learning）缓解小样本过拟合问题，但对抗训练的稳定性与少样本泛化能力仍需提升。结合联邦学习与数据合成技术，有望在保护隐私的同时解决数据稀缺问题。

5.3 应用场景的多元化与伦理风险并存

多文种签名鉴别技术在电子政务、跨境贸易、司法存证等领域具有广阔前景，但需警惕算法偏见与隐私泄露风险。例如，少数民族签名的装饰性元素可能被误判为伪造特征，需通过文化敏感性标注与公平性评估确保技术中立性。

参考文献

[1] Fierrez,J.,Ortega-Garcia,J.,etal.(2009).”MCYT baselinecorpus:a bimodal biometric database.”PatternRecognition,42(1),14-29.

[2] Ahmed,F.,etal.(2021).”Offline signature verification for Urdu and Arabic scripts using deep convolutional neural networks.”IEEE Access,9,15183-15193.

[3] Liu,Y.,et al.(2023).”Multi-script signature verification via contrastive learning and language-specific attention.”Pattern Recognition,139,109432.

[4] Offline signature verification for Uyghur script using HMM and geometric features”(UyghurNLP Workshop, 2021).

[5] Wang,X.,et al.(2022).”Forgery detection in offline handwritten signatures using generative adversarial networks.”IEEE Transactions on Information Forensics and Security,17,3556-3569.

Application status and development of intelligent Internet of Things technology

Lei Zhang

China Mobile Internet of Things Co., Ltd., Chongqing, 400020, China

Abstract

With the booming development of Internet technology, as an important technology connecting the physical world and the digital world, the Internet of Things has been widely used in many fields. And the advanced emergence of the intelligent Internet of Things technology (AloT), as the advanced form of the Internet of Things, will surely lead the next technological revolution and industrial transformation. Intelligent Internet of Things technology integrates advanced sensors, embedded systems, big data analysis and artificial intelligence algorithms to realize the intelligent management and control of physical equipment, and greatly improve efficiency and productivity. At present, including smart city, industrial automation, health monitoring, environmental monitoring and other aspects of intelligent Internet technology have been involved. However, with the deepening of the application, the intelligent Internet of Things technology also faces many challenges.

Keywords

intelligent Internet of Things technology; application; current situation; optimization strategy; development trend

智能物联网技术的应用现状与发展

张磊

中移物联网有限公司，中国·重庆 400020

摘 要

伴随互联网技术的蓬勃发展，作为物理世界和数字世界连接的重要技术，物联网在众多领域中得到了广泛应用。而智能物联网技术（AloT）作为物联网高级形态，它的出现必将引领下一次科技革命和产业变革。智能物联网技术集成先进传感器、嵌入式系统、大数据分析和人工智能算法，实现了物理设备的智能化管理与控制，极大提高效率和生产力。目前包括智慧城市、工业自动化、健康监护、环境监测等各个方面智能互联网技术均有所涉足。然而随着应用不断深入，智能物联网技术也面临着多方面挑战。

关键词

智能物联网技术；应用；现状；优化策略；发展趋势

1 引言

智能物联网是人工智能（AI）与物联网（IoT）融合的产物，旨在通过智能化数据处理能力增强物联网系统的决策与执行能力。近年来，随着大数据、边缘计算、5G 通信等技术的发展，智能物联网技术逐步渗透至工业、医疗、交通、农业等多个领域^[1]。然而，在广泛应用的过程中，智能物联网仍面临数据安全、设备兼容性、计算效率、系统稳定性等诸多挑战。因此，本文首先对智能物联网技术进行概述，随后分析当前技术应用中存在的问题，并针对这些问题提出具体的优化策略。最后，探讨未来智能物联网技术的发展趋势，

以为相关研究和实际应用提供借鉴。

2 智能物联网技术概述

智能物联网技术是人工智能与物联网深度结合而成的技术体系，其核心在于利用人工智能算法对物联网设备所采集的数据进行智能分析，以促使系统自动化、精准化、智能化水平提高。简单而言，智能互联网技术借助于传感器、通信技术、云计算等技术手段采集、传输、处理及反馈物理世界数据，同时再利用人工智能如自然语言处理、深度学习等技术，从而促使物联网设备实现自主感知、分析和决策的智能化。

相较于物联网技术，智能物联网技术具有这几方面优势：首先，数据处理效率更高，得益于人工智能算法应用能够实现快速分析物联网设备采集的大量数据，同时还可减少人工干预与提升数据利用率，其次，增强系统智能化水平。智能物联网技术可以借助深度学习模型实现复杂性场景识

【作者简介】张磊（1990–），中国四川金堂人，本科，工程师，从事AIOT智能物联网产业分析、技术趋势分析、科研项目规划方面研究。

别和优化,增强其智能化水平。再次,资源调度能力得到提升。智能物联网技术通过对能源管理、物流调度、设备维护等任务进行优化,有助于提高资源利用率。另外智能物联网技术可改善安全性,利用人工智能可辨识异常行为,大大增强了入侵侦测及风险预测能力。

3 智能物联网技术的应用现状

尽管智能物联网技术已经逐步应用在各个领域,现阶段大规模推广上暴露出了一定的问题。一是数据安全和隐私保护问题突出。智能物联网设备数量庞大,多涉及医疗、金融、交通等领域,而它们是网络攻击的重点,这就导致数据在传输中被窃取、篡改,从而造成泄露重要信息。另外,由于不同企业和机构之间数据共享机制不健全,数据难以在安全、合规的环境中流通。二是设备兼容性与互操作性问题。智能物联网涉及的设备种类繁多,不同厂商的设备使用的通信协议、数据格式不一致,这意味着不同设备间无法进行互通协作。这种技术碎片化现象严重影响系统集成效率的同时还致使运维成本上升,从而给智能物联网技术推广应用造成制约^[2]。三是计算资源的限制,影响了实时智能分析能力的发挥。在智能物联网系统中主要以边缘运算作为架构,而边缘装置运算能力与储存资源有限,这就使其在人工智能计算任务中力不从心,加之数据可能会因带宽限制与网络延时等因素由终端传输到云端分析出现延缓,从而致使系统反应速度降低。

4 智能物联网技术应用现状的优化策略

4.1 强化数据安全性与隐私保护机制

当前物联网系统在数据传输及存储过程中要求严格保障信息机密性与完整性,为此须采用端到端加密机制,通过对称与非对称算法相结合实现密钥协商与动态更新,确保加密过程具有高随机性和不可预测性;同时,引入分布式联邦学习模型于边缘计算设备,通过局部模型迭代训练及隐私保护算法实现数据离散化处理,规避原始数据上传风险,并辅以差分隐私技术增强模型聚合安全;此外,构建零信任安全架构,从身份认证、权限管理及行为监测等方面实现多层次访问控制,对接入设备实行动态信任评估,利用微分段网络技术划分安全域并部署入侵检测系统,实现异常流量实时响应;再者,利用可信执行环境和硬件安全模块构建密钥存储及管理平台,确保加密算法执行环境隔离于外部攻击;同时,通过安全审计日志及区块链分布式账本技术实现数据溯源和不可篡改记录,对全流程数据传输进行精细化监控和管理;并借助虚拟化隔离技术构建独立安全子系统,有效降低跨系统安全风险,同时,采用动态风险评估与自适应防护机制,实时更新安全策略参数。

4.2 优化设备兼容性与互操作性方案

针对设备兼容性和互操作性的问题,构建统一通信协议标准体系为关键技术路径。应用 MQTT、CoAP 等轻量

级协议实现低功耗数据传输,采用标准化接口设计,基于 RESTFUL 和 GraphQL 规范建立智能物联网设备互联平台。构建依托 API 网关的中间件层,对异构设备进行统一调度、负载均衡和容错处理,确保数据交换延时达到实时要求^[3]。引入知识图谱技术,构建设备语义模型,通过自动匹配算法实现数据格式转换和信息融合,同时利用边缘计算部署预处理节点,促使数据处理效率提升,以实现数据的高效匹配。针对设备身份认证和安全隐患,采用分布式账本技术,辅以微服务架构,实现可信认证、数据溯源管理、模块化部署以及弹性扩容目的。在系统集成过程中,运行环境隔离是采用容器虚拟化技术实现的,互操作性验证和压力测试则是根据标准测试协议进行,同时须确保所有技术指标都符合高可靠性、低时延和可扩展性的要求。为补充设备间深度融合的需求,安全加密算法、网络分段调度和流量控制机制要被应用到统一协议体系基础上,同时针对高并发场景实施多层次缓存策略,实现端到端数据传输的保真和实时响应。

4.3 提升边缘计算能力以增强实时分析

智能物联网系统中,出于提升边缘计算能力以增强实时分析目的,须由计算架构优化、算法轻量化和资源调度等方面着手,进行相应的优化。首先,在硬件层面,部署专用人工智能加速芯片(如 EdgeTPU、NPU、FPGA),通过推理能力提高边缘设备的运算效率,而这些芯片的运算能力低功耗、高吞吐量。此外,在采用片上缓存优化数据传输、降低延迟、提高处理速率的同时,利用异构计算架构(如 CPU+GPU+FPGA 协同计算)分配不同的计算任务,最大限度地利用资源。在软件层面,采用模型剪枝、参数共享、知识精馏等技术,实现了对冗余计算的减少和模型推理速度的提高。同时,深度学习算法也被用来适配边缘环境,例如利用量化技术(int8 量化)来降低计算的复杂性,此外,神经网络结构也被结合张量分解和结构稀疏技术进一步优化,计算负荷也因此而降低。为提高数据处理效率,可构建分布式边缘计算架构,通过多边缘节点协同计算实现任务负载均衡,并采用联邦学习方式避免集中训练的数据传输开销,同时确保数据隐私安全。进一步地,可结合时序数据流优化调度算法,采用自适应算力分配策略,动态调整计算资源,以应对复杂的实时分析需求,另外,结合事件驱动计算模式,降低无效计算,提高任务执行效率。在网络传输方面,采用低延时通讯协定,例如 5G、Wi-Fi6 等,并结合边缘缓存技术,降低资料回传延时,提升资料交互率。结合基于边缘智能的模型更新机制,实现在线模型优化,提升对复杂环境实时分析能力的边缘人工智能模型泛化能力。

5 智能物联网技术发展趋势

5.1 自适应智能决策系统的发展

基于深度强化学习和自监督策略的物联网网络环境中多维传感数据实时处理自适应决策框架。该系统以模型预测

控制和分层次策略优化算法为基本策略,利用时序卷积神经网络捕捉数据时变特征,以贝叶斯估计为基础对参数调节进行快速收敛优化,并结合基于贝叶斯估计的自适应策略融合模块,引入交互式采样和策略梯度更新,提高决策过程的鲁棒性和灵活性;利用多任务联合训练机制综合约束条件和反馈信号实现能源分配的最优匹配。该框架结合了分布式计算平台和边缘数据预处理技术,实现大规模物联网终端协同调控下的实时响应性和决策准确性^[4]。结合离线仿真和在线自适应调整优化模型参数,提升系统运算效率和响应速度。通过基于遗传算法的超参数调节机制和分布式深度学习平台的实时迭代训练,提高决策模型的鲁棒性,实现自适应决策模型在多变复杂的应用场景中稳定运行。

5.2 低功耗人工智能与绿色智能物联网的普及

目前,低功耗人工智能技术在绿色智能物联网领域的应用,已经成为实现设备能耗控制的关键路径。模型参数动态精度调控和能耗估算是基于量子计算和光学计算原理,通过构建高效能量优化算法,通过采用混合精度计算策略和稀疏矩阵运算,实现模型剪枝和量化处理,从而实现低功耗条件下完成边缘节点数据处理;芯片运算效率和功耗匹配,通过混合精度计算策略,实现模型剪枝和量化处理。此外,器件级节能技术借助先进纳米材料和超低功耗半导体工艺,推动传感器和通信模块能耗极限下探;边缘计算和分布式协同处理架构则实现了任务调度的最优化,数据传输和存储能耗降低。基于神经形态计算框架,利用脉冲神经网络和自适应阈值调控机制,动态管理非线性计算单元的能耗;采用高精度时钟同步技术和低功耗数据编码方案,对系统冗余功耗的信号噪声干扰和抑制有效。以上技术均基于模块化设计和系统级集成,通过专用算法优化和硬件协同设计,实现绿色智能物联网全链路的低能耗操作方案。同时,通过对系统时钟分频的优化、热管理设计的改进以及低漏电功率调控模块的集成,提高器件稳定性,提高整体能效指标,从而实现器件的稳定性。

5.3 智能物联网安全体系的升级

智能物联网安全体系升级方面,可采取基于区块链分布式账本的去中心化安全架构建设,同时在各节点间实时共识验证上以改进型拜占庭容错算法实现,而在多重加密保护

传输数据则利用混合加密算法。通过智能合约自动执行安全策略,并利用时间戳进行各节点交易记录的校验和链式存储,实现数据溯源和不可篡改,而在身份认证需求上借助零知识证明应用随机挑战响应协议并基于椭圆曲线密码学建立匿名凭证,这样一来能够保证用户访问设备时身份不出现泄漏情况。除此之外,安全体系内嵌硬件安全模块,实现动态密钥协商与定期更新机制,并结合可信执行环境对敏感数据进行隔离存储;采用基于行为分析的异常检测算法,对网络攻击进行实时预警与自适应防御^[5]。所述方法在边缘侧部署安全代理节点,利用虚拟化隔离技术构建多级安全防线,实现端到端数据完整性验证,并通过多维度身份认证机制对物理及虚拟设备进行联动管控。最终,利用深度学习算法对系统日志进行智能审计,识别潜在风险并实施自动恢复策略,从而构成一整套具有高可靠性与实时响应能力的物联网安全体系。

6 结语

总的来说,智能物联网技术的快速发展为社会带来了广泛的应用价值,但同时也伴随着数据安全、设备兼容性、计算资源受限等挑战。本文分析了当前智能物联网技术的主要问题,并提出针对性的优化策略,包括数据安全保护、设备兼容性提升以及边缘计算等优化策略。同时智能物联网技术未来的发展趋势主要集中在自适应智能决策、低功耗人工智能以及安全体系升级等方面。今后,随着相关技术日益成熟与发展,智能物联网技术应用范围将进一步扩大,并发挥出更加重要的作用。

参考文献

- [1] 商晴庆,布伟赫,夏磊,等.智能物联网技术的应用现状与发展新趋势[J].集成电路应用, 2023, 40(4):370-371.
- [2] 袁纳新.智能物联网技术及应用发展趋势研究[J].现代雷达, 2023(1):98-100.
- [3] 高微,陈新元,王榕国.智能物联网AIoT的概念及应用场景的研究[J].信息通信技术, 2023, 17(3):80-84.
- [4] 高微,陈新元,王榕国.智能物联网AIoT的概念及应用场景的研究[J].信息通信技术, 2023, 17(3):80-84.
- [5] 赵金涛.大数据时代物联网技术的应用与发展[J].电脑爱好者(校园版), 2023(8):10-12.

Design of network security and information security under the new situation

Li Tan

Shizhu Tujia Autonomous County Rongmedia Center, Chongqing, 409199, China

Abstract

With the rapid development of information technology, the role of financial media center in the field of information communication is increasingly prominent, but the subsequent problems of network security and information security are becoming increasingly serious. This paper first analyzes the challenges faced by the financial media center in network security and information security, and then puts forward the solution to build an integrated architecture. Through in-depth research, this paper constructs a set of network security and information security integrated architecture for the financial media center, aiming to provide a strong guarantee for the safe operation of the financial media center. The research results show that this structure can effectively improve the network security protection capability of the financial media center, and provide strong support for the development of China's financial media industry.

Keywords

financial media center under the new situation; network security; information security; integrated architecture

新形势下融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构设计

谭丽

石柱土家族自治县融媒体中心，中国 · 重庆 409199

摘 要

随着信息技术的高速发展，融媒体中心在信息传播领域的作用日益凸显，但随之而来的网络安全和信息安全问题也日益严峻。本文首先分析了融媒体中心在网络安全及信息安全方面所面临的挑战，随后提出了构建一体化架构的解决方案。通过深入研究，本文构建了一套针对融媒体中心的网络安全及信息安全一体化架构，旨在为融媒体中心的安全运行提供有力保障。研究表明，该架构能够有效提升融媒体中心的网络安全防护能力，为我国融媒体事业的发展提供有力支持。

关键词

新形势下融媒体中心；网络安全；信息安全；一体化架构

1 引言

随着互联网、大数据、云计算等新一代信息技术的迅猛发展，融媒体中心作为信息传播的重要平台，其作用日益凸显。然而，在信息传播速度和广度不断扩大的同时，网络安全和信息安全问题也日益严峻。融媒体中心面临着来自网络攻击、数据泄露、恶意软件等多方面的安全威胁，这对融媒体中心的正常运营和信息安全构成了严重挑战。因此，研究新形势下融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构设计，对于保障融媒体中心的安全稳定运行具有重要意义。本文探讨了融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构的设计思路。

2 新形势下融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构的需求分析

2.1 业务需求分析

融媒体平台需保障不同媒体形式的信息资源能够实现互通，包含文本、图形、声音和视频等多种媒介形式。提供个性化的内容与服务推荐，迎合用户独特的需求，提升用户的使用体验。信息可在多个渠道广泛传播，涉及手机、电脑、电视等设备，保证过渡的顺畅。融媒体团队借助网络平台实现远距离协作，提高作业执行速度。对用户行为和资料进行深入挖掘与分析，提供决策支持。

2.2 安全需求分析

融媒体中心的内部数据、用户信息及业务资料必须得到妥善防护，避免其被泄露、篡改或遭受损害。防止恶意攻击、病毒感染、系统漏洞等对融媒体中心系统造成不利后果。保障融媒体中心网络环境的内外安全，防御网络攻击、诈骗网站等风险。保障用户身份验证的合法性和有效性，禁止未

【作者简介】谭丽（1981-），女，土家族，中国重庆人，本科，工程师，从事电子信息技术研究。

授权的入侵行为。确立紧急预案,解决网络安全相关事宜,减少损失。

2.3 性能需求分析

该平台系统必须拥有卓越的高并发处理能力,满足大量用户对于并行访问的期望。系统对用户请求的响应必须快速,保障用户满意程度。系统始终保持稳定的运行状态,降低故障的频率。系统理应具备卓越的扩展性能,符合业务增长的需求。该系统需兼容多种操作系统与浏览器,满足不同用户需求。

3 融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构的设计

3.1 网络安全架构设计

3.1.1 边界防护

边界防护是网络安全架构中的第一道防线,旨在确保内外网之间的安全隔离,防止恶意攻击和非法访问。在内外网之间部署高性能防火墙,对进出网络的数据进行过滤、识别和阻止,实现对网络流量的精细化控制^[1]。在内外网边界部署入侵检测与防御系统,实时监控网络流量,识别异常行为,及时响应和处理安全事件。对于需要远程访问内网的用户或设备,采用VPN技术建立加密通道,确保数据传输的安全性。

3.1.2 入侵检测与防御

入侵检测与防御是网络安全架构中的核心组成部分,主要目的是实时监控网络中的恶意攻击行为,及时采取措施进行防御。对网络流量进行实时监控,分析异常行为,发现潜在威胁,及时报警。在IDS的基础上,对检测到的恶意行为进行实时阻断,防止攻击者进一步破坏网络。将来自不同安全设备的报警信息进行整合,实现统一监控和管理,提高应对安全事件的效率。

3.1.3 安全审计

安全审计是网络安全架构中的重要环节,通过对网络行为的记录和分析,发现潜在的安全隐患,为安全管理和决策提供依据^[2]。日志审计对网络设备、服务器、应用系统等产生的日志进行收集、存储和分析,及时发现异常行为。行为审计对用户在网络中的操作行为进行监控,识别违规操作,确保网络安全。安全合规性审计对网络安全政策、标准、规范进行审查,确保网络安全管理符合国家法律法规 and 行业标准。

3.2 信息安全架构设计

3.2.1 数据加密

采用先进的加密手段,包括AES和RSA在内的,在传输和存储数据过程中执行加密措施,确保数据传输过程中的安全性及完整性。将易受损的数据进行分类,根据不同的敏感度等级,采取适当的加密手段,涵盖高级加密及中等加密强度。对加密密钥执行严格的监管,通过密钥管理器进行

密钥的生成、存储、分发与回收处理,确保密钥的保密不被泄露。

3.2.2 身份认证与授权

实施全面的认证策略,包括密码、指纹和面部识别在内的生物识别技术,提升认证的安全性。建立一个综合性的用户身份验证体系,统一管理用户身份信息,确保用户身份的唯一性与真实性^[3]。根据用户的身份和权限,实施严格的访问权限控制,确保用户只能查看获授权的信息。定期对用户的身份和权限进行核实,快速诊断并处理异常问题。

3.2.3 安全管理

建立完善的安全管理机制,明确划分各岗位与部门的安全职责,确保安全管理措施得到切实执行。持续进行安全风险评估,制定应对潜在安全威胁的策略。实施安全事件监控,持续监测异常举动,快速发现并处理安全事故。增强安全意识培训,提升员工对安全的警觉度及操作技能。定期举办安全演练,检验应急方案的执行效果,提升应对突发状况的能力。提升与外部安全机构的合作水平,快速获取安全信息,共同应对网络安全难题^[4]。采用先进的安全技术和产品,涵盖了防火墙、入侵检测系统以及漏洞扫描等工具,提升网络安全防护能力。定期维护并更新网络安全设备,确保其性能和安全性。

4 融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构的实现

4.1 技术选型

应优先考虑采用具有超群安全特性的技术,确保融媒体中心网络及信息的安全防护。该系统采用Linux作为操作平台,该机子拥有出色的安全保障、稳定性和兼容性。挑选MySQL或Oracle作为数据库管理系统,具备出色的性能、稳固的可靠性和便捷的操作性。挑选一款功能强大的防火墙,Check Point或Fortinet,保障全面的安全性。运用入侵检测及防御技术,例如Snort或Suricata,对网络中的异常行为进行不间断的监督。运用漏洞扫描及修复工具,包括Nessus和OpenVAS等,快速发现并修复系统漏洞。实施一种统一的安全管理模式,IBM的QRadar安全解决方案与阿里云的安全管理平台,实现一致的安全管理标准。

4.2 系统部署

根据业务需求,对系统进行分区域管理,涵盖内部网络、外部网络及安全区域等。对系统实施分层次的处理,涵盖物理层、网络层、应用层等不同层次,提升系统的稳固性。对关键设备进行备份和冗余配置,确保系统在发生故障后能快速恢复正常运作。制定严格的安全防护措施,涵盖权限控制、数据加密手段及日志审核等方面。本层包括服务器、网络和存储等硬件设备。网络层由交换机、路由器以及防火墙等网络设备组成。应用层由业务系统、安全管理平台及数据库等要素构成。

4.3 测试与优化

核实各功能是否符合既定的设计标准。系统面对高并发与大量数据处理的性能表现。通过安全测试来确认安全策略的实效性,发现并修复潜在的安全漏洞。稳定性测试系统在长时间运行中的表现,确保系统始终保持稳定运行。根据测试获得的数据,对系统进行优化升级,提升系统的功能与安全保障^[5]。处于测试与优化环节,采用自动化测试工具,增强测试效率。重现高流量及大量数据的环境,对系统运行效率进行评价。模拟黑客攻击行为,对安全防护效能的评估系统。实施持续集成与持续交付(CI/CD)流程,提高系统运维效率。

5 融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构的运行与管理

5.1 安全策略制定与执行

5.1.1 安全策略制定

融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构的安全策略制定,应遵循国家网络安全法律法规、行业标准以及相关政策要求。确保融媒体中心信息系统安全稳定运行,保障信息资源安全,维护国家利益、公共利益和个人合法权益。遵循最小权限原则、完整性原则、可用性原则、保密性原则等,确保信息系统安全。针对融媒体中心信息系统,从物理安全、网络安全、主机安全、应用安全、数据安全等方面,制定具体的安全策略。

5.1.2 安全策略执行

按照安全策略要求,对融媒体中心信息系统进行安全配置、安全加固、安全监控等工作。建立健全安全事件应急响应机制,对发生的安全事件进行及时、有效的处理。定期对安全策略执行情况进行审计和评估,确保安全策略得到有效执行。根据安全形势变化、信息系统更新换代等因素,对安全策略进行调整和优化。为安全策略执行提供必要的技术支持,确保安全策略得到有效落实。对违反安全策略的行为,依法依规追究相关责任。

5.2 安全培训与教育

融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构的运行与管理中,安全培训与教育是至关重要的环节。应提升全员网络安全意识,增强网络安全防范能力;培养专业网络安全人才,提高融媒体中心整体网络安全水平;加强信息安全教育,确保融媒体中心信息安全稳定运行。网络安全基础知识培训中,讲解网络安全基本概念、安全威胁类型、常见网络安全漏洞等;信息安全法律法规培训中,解读《中华人民共和国网络安全法》《中华人民共和国数据安全法》等相关法律法规;安全技术与管理培训中,介绍网络安全防护技术、信息

安全管理规范、应急预案等;实战演练培训中,通过案例分析、应急演练等形式,提高员工应对网络安全事件的能力;信息安全意识养成培训中,培养员工在日常工作中的安全操作习惯,降低安全风险。

5.3 应急响应与处置

融媒体中心应建立完善的网络安全及信息安全应急响应机制,明确应急响应的组织架构、职责分工、响应流程等,确保在发生网络安全事件时能够迅速、有效地进行处置。针对可能出现的网络安全事件,融媒体中心应制定详细的应急预案,包括事件分级、处置流程、资源调配、信息通报等内容,确保在突发事件发生时能够有序应对。应急响应队伍应密切关注网络安全状况,及时发现和处理网络安全事件,包括但不限于恶意攻击、数据泄露、系统瘫痪等。在发生网络安全事件时,融媒体中心应立即启动信息通报机制,向相关部门、上级单位、用户等通报事件情况,确保信息畅通。在事件处置过程中,应急响应队伍应进行全面调查和分析,查找事件原因,评估事件影响,为后续的防范措施提供依据。在事件得到有效控制后,融媒体中心应组织力量进行系统恢复和重建,确保业务正常运行。针对应急响应过程中的不足,融媒体中心应不断优化应急响应机制,提高应急处置能力,确保网络安全及信息安全一体化架构的稳定运行。

6 结论

融媒体中心网络安全及信息安全面临诸多挑战,包括网络攻击、数据泄露、恶意软件等。网络安全及信息安全一体化架构是解决融媒体中心安全问题的有效途径。融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构应具备全面性、协同性、动态性、适应性等特点。通过构建一体化架构,可以有效提升融媒体中心的网络安全及信息安全水平,保障融媒体中心的正常运营。本文的研究成果为融媒体中心网络安全及信息安全一体化架构的设计提供了理论依据和实践指导,有助于推动融媒体中心安全稳定发展。

参考文献

- [1] 魏伟.融媒体中心建设中的网络信息安全研究[J].电声技术,2022,46(08):39-41.
- [2] 陈绍华.如何做好融媒体中心网络安全防护工作[J].西部广播电视,2022,43(06):238-240.
- [3] 陈维华.浅谈县级融媒体平台的信息安全建设[J].新闻传播,2021(20):117-118.
- [4] 陈维华.融媒体中心建设网络信息安全规范实务[J].西部广播电视,2021,42(14):232-234.
- [5] 马爽.融媒体中心共享安全体系规划设计[J].广播电视网络,2021,28(02):64-68.

Development and application of medical and nursing integrated registration system in fever clinic

Jie Feng Zimiao Wu Xiaofeng Mao

Cixi Hospital Affiliated to Wenzhou Medical University, Cixi, Zhejiang, 315300, China

Abstract

Analyzes the characteristics and difficulties of the information management of fever outpatients, constructs an integrated registration system for fever outpatients, and comprehensively manages the information of fever outpatients. The system adopts B / S architecture and develops with ASP + JAVASCRIPT + HTML technology to support real-time data interaction and dynamic update. Through the functions of two-dimensional code input for patient self-examination, AI assistance of pre-examination and triage-diagnosis, and automatic import of information from doctors, the closed-loop management of the whole process from admission to hospital departure is realized. The registration items cover basic information, disease characteristics, epidemiological history and treatment procedures, and seamlessly connect with hospital HIS, LIS and PACS systems, which significantly reduces the workload of repeated entry of medical care. The system has simple operation and standardized record content, which can timely reflect the current epidemic prevention and control priorities, improve the work efficiency of epidemic prevention and control, and realize the effective control of patients in fever clinics.

Keywords

Fever clinic; Information registration; Integrated management

发热门诊医护一体化登记系统的构建和应用

冯杰 吴梓苗 毛晓峰

温州医科大学附属慈溪医院, 中国·浙江 慈溪 315300

摘 要

分析发热门诊患者信息管理的特点和难点, 构建发热门诊医护一体化登记系统, 对发热门诊患者信息进行综合管理。系统采用B/S架构, 结合ASP+JAVASCRIPT+HTML技术开发, 支持实时数据交互和动态更新。通过患者自检二维码录入、预检分诊AI辅助、医生接诊自动导入信息等功能, 实现了从入院到离院的全程闭环管理。登记项目涵盖基本信息、病情特点、流行病学史及就诊流程, 并与医院HIS、LIS、PACS系统无缝对接, 显著减少了医护重复录入工作量。系统操作简单, 记录内容规范, 可以及时体现当前疫情防控重点, 提高疫情防治的工作效率, 实现对发热门诊就诊患者的有效管控。

关键词

发热门诊; 信息登记; 一体化管理

1 引言

发热门诊作为医疗机构中重要的感染性疾病筛查和诊治部门, 在公共卫生事件应对和日常感染性疾病防控中发挥着关键作用。作为传染性疾病诊治的前哨阵地, 发热门诊接诊患者明显增加。除了救治, 发热门诊兼具传染病日常监测、早期预警功能。随着医疗信息化的发展, 传统的发热门诊管理模式已难以满足现代医疗服务的需求。根据当地疾控中心要求, 医生、护士在接诊过程需要登记大量相关信息。

患者信息管理效率低下、数据准确性不足、部门间信息共享困难等问题日益凸显, 严重影响了发热门诊的工作效率和医疗质量。

为了合理减轻医护登记工作量, 提升监测数据收集的准确性和连贯性, 避免人为因素造成数据残缺和失效, 为公共突发事件的结果核查、追踪和随访提供有效的数据支撑, 我院组织信息、医务、护理、公共卫生等多部门, 自主开发了一套同时适用于医生、护士的发热门诊患者信息登记系统(以下简称信息登记系统), 以期对现有发热门诊管理模式进行改良, 实现患者从入院到出院的一体化管理, 现报告如下。

2 信息登记系统架构

发热门诊患者信息登记系统采用B/S架构, 即浏览器/服务器结构的网站模式, 以ASP+JAVASCRIPT+HTML为开

【基金项目】慈溪市公益类科技计划项目(项目编号: CN2021010)。

【作者简介】冯杰(1977-), 男, 中国浙江慈溪人, 硕士, 主任医师, 从事急诊医学和医疗质量管理研究。

发语言,并用AJAX技术实现与后台的数据交互。服务器布署在院内网,医务人员在医院内部电脑上打开网址即可访问使用。管理系统以网站形式独立运行,变通性大,可以根据管理要求,及时调整需要登记的项目内容。

3 登记项目设计依据

登记项目主要根据浙江省疾控中心(CDC)要求,除了患者姓名、性别、年龄、出生日期、现住址、联系电话、身份证号、就诊卡号等基本信息,还包括症状、体征、体温等病情特点和来院方式、疫源地旅居史、工作性质、特定物品接触史等流行病学特点,以及发病时间、是否复诊、预检、接诊时间、检查检验报告时间和结果、转归性质、离院时间等就诊信息。医院管理部门根据权威组织公布的疫情管控信息和症状体征监测内容,随时更新信息登记项目和提示内容,使医护工作人员能及时掌握最新内容,减少记忆误差。

4 数据交互传输

信息登记系统通过后台数据交互对预检分诊、医生接诊、出院随访等信息进行整合,相同信息一处录入就可供其他部门随时调阅,并将医院实验室信息管理系统(Laboratory information management system,以下简称 LIS)、医学影像存档与通讯系统(Picture archiving and communication systems,以下简称 PACS)以及医院信息系统(Hospital information system,以下简称 HIS)信息以身份证和就诊卡号进行关联。

5 内外网信息传输

为了提高预检信息准确率,需要患者将个人信息自主录入手机界面,然后再导入医院预检登记系统。^[1]手机上信息记录在 internet 互联网,而登记系统布署在医院内部局域网。在本登记系统构建中,通过二维码技术,将手机上录入的自检信息生成二维码图片,再通过扫码读取二维码信息并录入医院预检登记系统。

6 报表功能

为加强管理,医院需要定期将发热门诊接诊信息上报当地疾控和医政管理部门,还要每月进行数据分析。在传统纸质或者单机版电子文档登记时需要安排专人负责数据核对、制表和报送。信息登记系统上线后,通过后台数据整合,除了可以生成各类统计报表,还可以根据预先设定的格式导出各类日志,包括护理日志,医生诊疗日志,留观日志等,以及传染病防控需要填报的各类报表。发热门诊患者就诊过程中,常需要各类会诊、样本检测申请以及转科转院申请等,登记系统通过后台数据采集,可以自动生成各类申请单。通过登记系统,还可以实时查询当前在院患者列表,以及患者各类主要检查检验执行情况。

7 操作流程

7.1 患者自检

患者到医院后,通过手机扫描图片二维码进入特定自

检网站界面,根据系统设置填写姓名、性别、身份证号、家庭地址等基本信息,本次就诊主要病性、发病时间等疾病信息以及高风险地区旅居史、感染者接触史、聚集发病史等流行病学信息。自检信息登记后自动生成图片二维码。

7.2 预检登记

护士预检时通过扫描二维码可以将患者自检信息导入医院内网登记系统。核对预检信息,没有完成自检,则由预检护士直接将患者的基本信息录入信息登记系统,录入时只要读取患者卡号或者身份证号就可以从医院 HIS 系统导入患者基本信息和联系方法。根据下拉式菜单提供的内容询问患者疾病特点和流行病学史。同时测量并记录体温等信息。再根据分类标准分流患者到相应区域就诊。

7.3 分诊

记录预检信息后,结合患者年龄、病情、流行病学史、生命体征以及是否学生、孕产妇等特定信息,系统通过 AI 判断,对病情进行初步判断。^[2]预检护士结合患者实际情况,结合系统提示,将患者引导到普通诊室、重症室、特定人群优先就诊室等场所进行候诊。

7.4 医生接诊登记

医生接诊时,登记系统自动导入预检信息供医生核对确认和补充。医生根据问诊信息开具医嘱。检查检验结果通过医院 HIS、LIS 及 PACS 系统导入登记系统,并通过登记界面以列表形式显示患者是否已按医嘱完成相应检查检验项目,以及是否已有检测结果。未完成状态和阳性结果以不同底色警示提醒。

7.5 离院管理

当检查结果明确后,由医院工作人员主动联系患者安排转归,包括发热门诊复查、专科就诊、留院观察或者住院等。当患者离开发热门诊就诊区域时,通过就诊卡号或者身份证号显示检查、检验结果,同时记录离院时间。

8 实施结果

2021 年 1 月 1 日开始使用医护一体化发热门诊患者信息登记系统,截至 2021 年 12 月 31 日,共接诊患者 84183 人次,其中成人患者 45693 人次(占比 54.28%),儿童患者 38490 人次(占比 45.72%)。年龄最大 101 岁,最小 1 个月。发热门诊治疗后留院观察 354 人次(占比 0.42%),专科住院 52 人次(占比 0.06%),专科门诊 2595 人次(占比 3.08%),转急诊 5514 人次(占比 6.55%),发热门诊复诊 155 人次(占比 0.18%),居家观察 75513 人次(占比 89.69%)。我院是当地综合性医院,发热门诊接诊成人和儿童患者数基本相当,患者就诊后以居家观察为主。

9 讨论

发热门诊是我国在 2003 年严重急性呼吸综合征(severe acute respiratory syndrome,简称 SARS)疫情期间首次正式提出组建,并在抗击 SARS 过程中发挥了重要作用^[3]。在各类疫情流行期间,很多医院建立了“发热门诊”这个特殊诊室作为当前疫情防控的主要场所。与普通门诊相比,发热门诊

诊在患者信息管理上存在以下特点：①预检信息要求更高：除了登记患者基本信息和疾病特点，发热门诊预检时更关注当前疫源地信息和患者疫源地旅居史。预检人员需要及时掌握当前疫情分布和防控监测重点。②患者在发热门诊滞留时间越长，越容易使发热门诊成为交叉感染和病毒扩散的疫源地，成为疫情传播的高风险场所。为了减少患者在发热门诊的滞留时间，需要将检查结果及时通知患者和接诊医生，特别当患者有应该检查的项目没有完成时，医生能及时发现并提醒患者完成。③作为传染病管理的一部分，发热门诊工作人员除了日常救治，还需要登记大量的患者就诊信息，填写各类申请表单。在救治患者大量增加的背景下，传统的纸质登记和重复填写基本信息的方法耗费了医护人员大量时间，登记项目还常有遗漏。

针对发热门诊患者数量大、流动性强、在院时间短、可追踪性差等特点^[4]，很多医院对发热门诊管理进行了探究。如发热门诊模块化护理管理、制定发热门诊分诊标准化作业程序（SOP）、人工智能的应用等^[5-8]。这些举措在一定程度上提高了疫情防控力度，目前主要还存在以下不足：①第三方信息平台一般希望开发适合医院所有门诊患者的系统，专门用于发热门诊小范围使用的软件开发则往往资源投入有限，从而使新系统的开发周期更长。②不同时段流行病学史复杂，高中风险地区变化快，靠人工传达和记忆不够及时也容易出错，而传统的第三方信息系统因为开发周期长无法做到及时更新，导致有流行病学史的患者无法第一时间被识别和隔离。③发热门诊在硬件上，虽然拥有独立的检验、方舱CT和DR，但在软件上，医生诊间和检验、影像系统各自独立，医生无法对漏做检查检验的患者第一时间进行识别补救，也无法第一时间知道阳性结果以快速识别疑似患者进行隔离，导致患者在发热门诊候诊区暴露时间长，交叉感染机会增大。

为了有效解决发热门诊接诊患者多和防控要求日趋精准带来的管理挑战，医院通过流程再造，借助信息技术，开发应用了一套发热门诊管理系统。主要功能包括：①患者自检登记：患者入院后扫描指定二维码进入自检平台，查阅就诊告知书，根据自身情况录入旅居史、症状等信息，在缩短预检时间的同时增加了登记信息的准确性。②规范登记内容。不管预检分诊还是医生接诊，都有统一的记录格式，格式内容由医院组织防控专家讨论决定，做到同质化管理。③将最新疫源地风险信息、主要监测症状预先录入登记系统，医护人员根据系统提示询问相关信息，即减少记忆量，又不会遗漏重点，提高了对重点病人和疑似病人早发现、早隔离、早治疗的能力。④各部门登记录入的信息互联互通，部分信息通过医院已有数据库提取，可以有效减少医护登记操作工作量，使工作人员有更多精力投入到患者的救治。⑤智能分诊：通过提前设定规则，系统会根据患者就诊信息，提供分诊建议。预检人员根据分诊建议，结合实情，对患者进行合理分诊。分诊规则在不同疫情特点下会进行动态调整，不断提高分诊准确性。⑤将患者医嘱执行情况检查结果以列

表形式直观显示在登记界面，可以提醒医生及时对患者进行相关处理，减少患者在发热门诊的滞留时间，降低交叉感染风险。

通过发热门诊管理系统的研发和应用，可以实现：①规范登记内容。不管是发热门诊还是普通门急诊，都有统一的问诊信息和记录格式，做到同质化管理。②将最新疫源地风险信息、疾病主要症状特点预先录入系统，问诊时按系统提示进行，即减少记忆，又不会遗漏重点，提高重点病人和疑似病人的早发现、早隔离、早治疗的能力。③部分信息由患者自检录入，部分信息通过医院已有数据库提取，各部门手工录入的信息互联互通，减少登记操作工作量，降低患者在预检登记处的滞留时间，降低交叉感染风险。④将没有按医嘱检查的患者列表，以及已经获取到检查结果的患者列表直观显示在管理系统平台，可以提醒医生及时对患者进行相关处理，减少患者等待时间。⑤将风险告知通过信息管理系统推送到患者手机界面，即能增加患者疫情防范知识，又能减少纸质接触引起的感染风险。

10 结论

综上所述，通过对发热门诊的信息化建设，尤其是一体化登记系统的应用，可以实现患者从入院预检分诊到出院转归的全程闭环管理，提高疫情防治的工作效率，实现对发热门诊就诊患者的有效管控。

未来，我们将继续优化系统功能，探索人工智能和大数据技术在发热门诊管理中的应用，进一步提高系统的智能化水平。同时，我们计划将该系统推广至更多医疗机构，为提升我国发热门诊的整体管理水平做出贡献。此外，我们还将深入研究系统在感染性疾病监测和预警方面的应用潜力，为构建更加完善的公共卫生防控体系提供技术支持。

参考文献

- [1] Peng Zhou P, Yang XL, Wang XG, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin[J]. Nature: International weekly journal of science, 2020, 579(7798): 270-273.
- [2] 陈媛, 丘美娇, 陈宝, 等. 综合医院发热门诊信息化建设对传染病监测预警及登记报告的影响[J]. 海南医学, 2021, 32(17): 2293-2297.
- [3] 伍宝玲, 陈晓辉, 林佩仪, 等. 我国发热门诊发展现状和运行困境以及构建机制的设想[J]. 中华危重病急救医学, 2020(03): 264-268.
- [4] 李冬梅, 古丽艾塔尔·艾克拜尔, 潘宜敏, 等. 基于电子病历系统的门诊医疗质量管理[J]. 中国病案, 2020, 21(07): 24-26.
- [5] 杨秋红, 曹爽. 新冠肺炎疫情下发热门诊预检分诊及疫情防控策略探讨[J]. 黑龙江中医药, 2021, 02: 343-344.
- [6] 林栋玲, 郭静. 模块化管理在新型冠状病毒肺炎疫情时期发热门诊中的应用[J]. 智慧健康, 2021, 01: 194-196.
- [7] 王霞, 马琛, 李冉, 等. 新冠肺炎疫情常态化下SOP在发热门诊预检分诊中的应用价值[J]. 护理实践与研究, 2021, 15: 2227-2232.
- [8] 蔡斌, 孔林羽. 基于人工智能的发热门诊信息化随访系统建设[J]. 中国卫生质量管理, 2021, 06: 21-24.

Design of Treadmill Speed Control System Based on Human Posture Recognition

Tao Hu Youxiong Xu Hao You

Nanjing University of Engineering, Nanjing, Jiangsu, 211167, China

Abstract

The system is composed of STM32F103C8T6 microcontroller as the core, combined with IM600 six axis sensor module, TR100 Bluetooth module, and TB6612FNG motor drive board module. The six axis sensor module is used to collect the rate of change of acceleration before and after the user's movement, and the acceleration data is analyzed by the microcontroller to identify the user's gait and exercise intensity; Based on these analysis results, PWM speed regulation is used to control the output voltage of the TB6612FNG motor drive board module to adjust the speed of the treadmill in real time to meet the user's exercise needs. The experimental results show that the system can intelligently adjust the speed according to changes in the user's exercise status, improving the user experience of the treadmill while enhancing safety and comfort during the exercise process.

Keywords

Six axis sensor; Treadmill; Speed control; Intelligent fitness

基于人体姿态识别的跑步机速度控制系统设计

胡韬 许有熊 尤昊

南京工程学院, 中国 · 江苏 南京 211167

摘 要

系统以STM32F103C8T6微控制器为核心, 结合IM600六轴传感器模块、TR100蓝牙模块、TB6612FNG电机驱动板模块组成。六轴传感器模块用于采集用户运动过程中前后加速度的变化速率, 经过单片机对加速度数据进行分析, 识别用户的步态和运动强度; 根据这些分析结果, 运用PWM调速来控制TB6612FNG电机驱动板模块的输出电压来实时调节跑步机的速度, 以适应用户的运动需求。实验结果表明, 该系统能够根据用户运动状态的变化智能调节速度, 提升了跑步机的使用体验, 同时增强了运动过程中的安全性与舒适性。

关键词

六轴传感器; 跑步机; 速度控制; 智能健身

1 引言

随着科技的发展, 智能健身设备逐渐成为现代健身生活的一部分, 特别是在跑步机的智能化进程中, 如何提高跑步机的适应性、舒适性和安全性, 成为行业研究的热点。传统的跑步机在速度调节上大多依赖于用户的手动设置或预设的运动模式, 虽然可以满足基础的健身需求, 但在个性化和智能化方面仍存在较大的提升空间。

近年来, 人体姿态识别技术在健康监测、运动分析等领域取得了显著进展。通过对用户的运动状态进行实时分析, 可以为用户提供更加个性化的运动体验。然而, 大多数现有的跑步机控制系统依赖于图像处理技术(如摄像头), 这一方式存在一定的局限性, 例如对光照、空间等环境因素敏感, 且硬件成本较高, 同时摄像头在隐私性问题上具有争

议, 而传感器系统具有不间断的、非侵入的记录人类活动信息的特点, 更加符合人们的需求。为了避免这些问题, 本文提出了一种基于六轴传感器的跑步机速度控制系统^[1]。通过实时捕捉用户运动中的前后加速度变化, 结合数据分析与算法建模, 利用 STM32F103C8T6 微控制器的定时器功能将其加速度的变化转换成 PWM 直流调速^[2], 再利用 PID 控制算法实现对控制过程的精准调节, 使输出的速度更加接近跑步机需要的速度^[3]。

2 总体方案设计

本系统设计的核心目标是通过传感器采集用户的加速度数据, 结合 STM32F103C8T6 微控制器分析数据, 判断用户的运动状态, 然后输出 PWM 信号调节跑步机的速度。蓝牙模块用于连接传感器和微控制器, 使得数据可以实时传输到微控制器。最终, 通过 PID 控制算法进行精确调节, 确保跑步机速度平稳变化, 提升用户体验。

本系统由四个主要模块组成: 微控制器 (STM32F

【作者简介】胡韬 (2002-), 男, 中国江苏宿迁人, 本科, 从事自动化研究。

103C8T6)、加速度传感器(IM600)、电机驱动模块(TB6612FNG)和蓝牙模块(TR100)。以下是系统框架图:

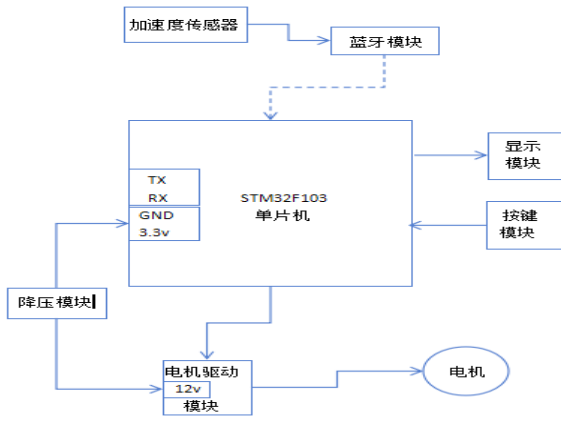


图1 系统框图

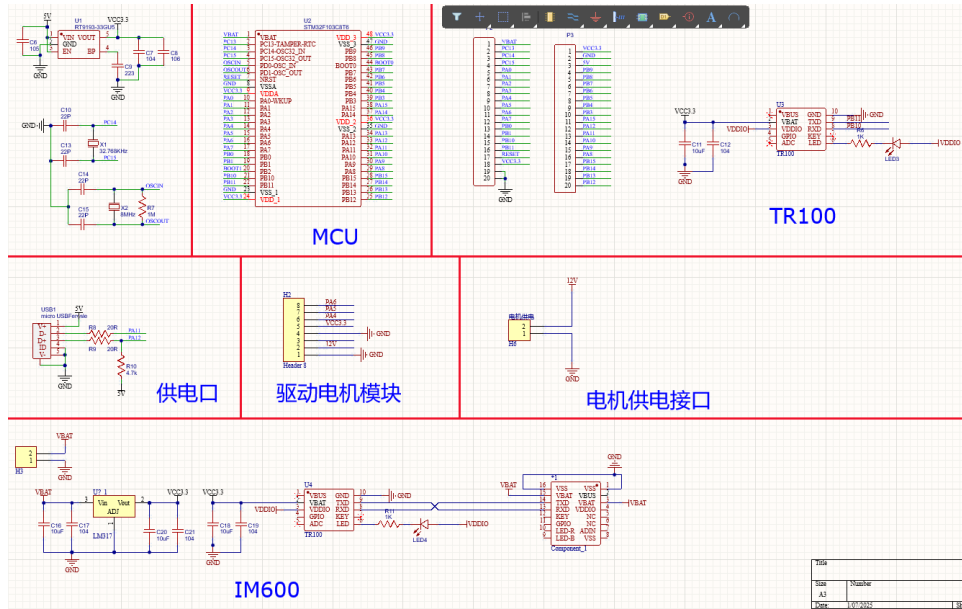


图2 硬件设计电气图

4 软件设计

4.1 姿态识别与数据处理

4.1.1 人体速度的积分公式

假设每个采样时间间隔为 Δt ，加速度为 $a(t)$ ，则人体相对于地面的速度 $v_{\text{human}}(t)$ 通过对加速度进行数值积分得到^[3]:

$$v_{\text{human}}(t) = v_{\text{human}}(t-1) + a(t) \cdot \Delta t$$

其中:

$v_{\text{human}}(t)$ 为当前时刻人体的速度。

$v_{\text{human}}(t-1)$ 为前一时刻人体的速度。

$a(t)$ 为当前时刻的加速度(由六轴传感器获得)。

Δt 为采样时间间隔。

4.1.2 跑步机速度调整公式

根据人体的相对速度 $v_{\text{human}}(t)$ ，调整跑步机的速度

3 硬件电路设计

硬件电路设计以STM32F103C8T6微控制器为核心，通过合理的模块化设计完成跑步机速度控制系统。主控芯片STM32采用3.3V供电，负责整个系统的信号处理与协调控制。I600六轴传感器通过I2C接口与STM32连接，用于实时采集人体的加速度与角速度数据。TR100蓝牙模块同样采用3.3V供电，通过TXD和RXD引脚与STM32进行串口通信，实现无线数据传输和远程监控功能。电机驱动部分使用TB6612FNG模块，其逻辑电源为5V，输入电压为12V，通过PWM信号控制一台12V、7W的直流无刷减速电机实现精准速度调节。整个系统通过闭环反馈机制采集电机转速信号，并结合PID算法实现对电机速度的稳定控制。此外，所有模块均采用合理的电源隔离和稳压设计，确保系统运行的稳定性和可靠性。

$v_{\text{treadmill}}(t)$ 。跑步机的速度调整依赖于人体速度的变化，调整公式如下:

当人体速度 $v_{\text{human}}(t) > 0$ 时(人体加速):

$$v_{\text{treadmill}}(t) = v_{\text{treadmill}}(t-1) + k \cdot v_{\text{human}}(t)$$

当人体速度 $v_{\text{human}}(t) < 0$ 时(人体减速或后退):

$$v_{\text{treadmill}}(t) = v_{\text{treadmill}}(t-1) - k \cdot |v_{\text{human}}(t)|$$

其中:

$v_{\text{treadmill}}(t)$ 为当前时刻跑步机的速度。

k 为跑步机速度调整的系数，通常小于1，用于控制跑步机速度的敏感度。

$|v_{\text{human}}(t)|$ 表示人体速度的绝对值。

4.1.3 综合控制过程

综合上述公式，整个控制过程可以表示为:

$$v_{\text{treadmill}}(t) = \begin{cases} v_{\text{human}}(t) = v_{\text{human}}(t-1) + a(t) \cdot \Delta t \\ v_{\text{treadmill}}(t-1) + k \cdot v_{\text{human}}(t), \\ v_{\text{human}}(t), \end{cases} \quad \text{if } |v_{\text{human}}(t)| \leq \epsilon$$

$$\begin{aligned} &\text{if } v_{\text{human}}(t) > \zeta \\ &\text{if } v_{\text{human}}(t) < \zeta \end{aligned}$$

4.1.4 初始条件

假设初始时刻 $t=0$ 时，人体和跑步机的速度都为零：

$$v_{\text{human}}(0) = 0, \quad v_{\text{treadmill}}(0) = 0$$

4.2 PWM 控制

PWM（脉宽调制）是跑步机速度控制的核心方式，通过调节占空比来控制直流电机的运行速度。STM32 内部定时器模块用于生成 PWM 信号。

PWM 原理：

在一个固定周期 T 内，PWM 信号的高电平持续时间 t_1 与周期 T 的比值称为占空比 D ，其关系为：

$$D = \frac{t_1}{T}$$

输出电压 V_a 与占空比成正比：

$$V_a = V_{\text{max}} \times D$$

通过调节占空比 D ，可以动态调整电机的转速 [6]。

4.3 PID 调节控制

PID 控制用于优化跑步机速度调节的精度和响应速度，通过实时调整 PWM 信号占空比来减小目标速度与实际速度的偏差。PID 控制公式为：

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

其中：

$e(t)$ 为速度误差（目标速度 - 实际速度）；

K_p 、 K_i 、 K_d 为 PID 的比例、积分和微分系数 [4]。

4.4 程序设计

系统启动后，首先对 STM32 进行初始化，包括时钟配置和 GPIO 端口设置，同时完成 IM600 六轴传感器和 TR100 蓝牙模块的初始化，确保各模块正常工作。随后，系统进入主循环，通过蓝牙模块接收 IM600 传感器采集的加速度和角速度数据，并对数据进行姿态识别和处理，判断人体的前倾或后仰状态。根据识别结果，利用 PID 算法进行速度调节，计算出合适的速度调整值，并通过生成 PWM 信号控制电机驱动模块（TB6612FNG），实现对电机的速度控制。同时，系统接收电机的反馈信号，将反馈数据输入 PID 算法进行闭环调节，持续优化电机运行状态。主循环不断重复，确保系统实时响应人体姿态的变化，实现对跑步机速度的精准控制。

5 实验与分析

该系统能够根据用户的运动状态自动调整跑步机的速

度，提供更加个性化的运动体验。硬件部分采用了高效稳定的电源设计，各模块的集成和配合使得系统具备了较好的可靠性和响应速度。通过实验测试，该系统能够在实际运行中实时调整速度并提供精准的控制，具备了较高的实用价值。

以下是该系统的 MATLAB 仿真图片：

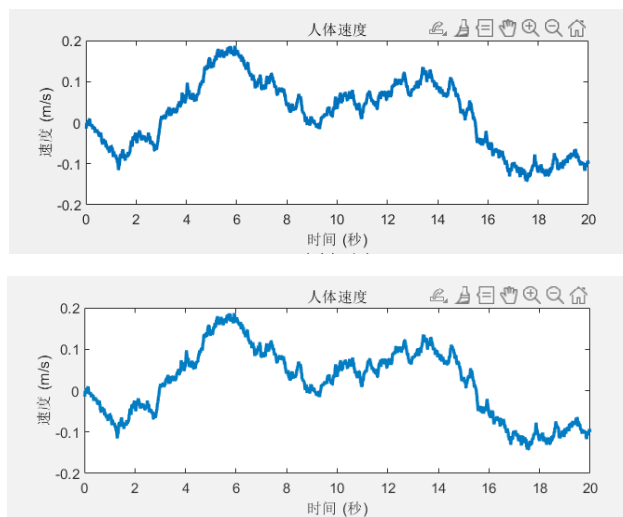


图 3 人体与跑步机的速度对比

6 结论

本设计以 STM32F103C8T6 微控制器为核心，结合 IM948 六轴传感器模块、TR100 蓝牙模块和 TB6612FNG 电机驱动模块，设计了一种基于人体姿态识别的跑步机速度控制系统。系统通过传感器采集加速度和角速度数据，利用姿态识别算法判别人体状态，并结合 PID 控制算法生成 PWM 信号精准调节电机速度，实现实时响应人体姿态变化的跑步机速度控制功能。硬件设计中，各模块合理分工，采用稳定的电源供电方案，确保了系统运行的可靠性。实验表明，该系统运行稳定，响应迅速，可满足智能化跑步机的基本功能需求，具有一定的实际应用价值和发展潜力。

参考文献

- [1] 郝迎丽. 基于六轴传感器的行为识别研究与应用[D]. 北京邮电大学, 2023.
- [2] 陈灵方, 秦翠兰, 王立强, 等. 基于 51 单片机定时器的直流电机 PWM 调速设计[J]. 黑龙江科学, 2024, 15(06): 48-51.
- [3] 王敏洁, 陈凌煜, 董振华, 等. 移动状态下加速度数据滤波算法的对比与研究[J]. 电子产品世界, 2024, 31(05): 68-72+76.
- [4] 顾吴华. 基于单片机 PID 算法的直流电机速度控制方法研究[J]. 电脑知识与技术, 2024, 20(14): 107-109.
- [5] 刘杰, 思旺斗, 武轶凡. 变工况下的煤矿清挖输送机速度自适应 PID 控制技术[J]. 洁净煤技术, 2024, 30(S1): 684-689.
- [6] 梁卫凯, 褚锦涛. 一种关于无刷直流电机的调速控制系统[J]. 信息技术与信息化, 2024, (08): 119-122.

Design of a human posture recognition system for intelligent treadmills

Sisi Yang Youxiong Xu Yanran Wang

School of Automation, Nanjing University of Engineering, Nanjing, Jiangsu, 211167, China

Abstract

This paper uses the STM32F103C8T6 microcontroller as the core, combined with the HC-05 Bluetooth module, to complete the design and implementation of a human motion posture recognition system. In terms of hardware, a modular design is adopted, including a main control circuit with STM32 as the core, an MPU6050 sensor data acquisition circuit, a Bluetooth communication circuit, and a power management circuit, all of which work together. Collect human motion data through MPU6050 and wirelessly transmit it to MATLAB platform via HC-05. On the data processing end, complete feature extraction and classification algorithm design, construct posture discrimination model, and develop corresponding programs and visual interfaces. System integration testing simulates various motion scenarios to verify the effectiveness of algorithms, achieve real-time discrimination and feedback of motion states, and provide technical solutions for the development of wearable motion monitoring devices

Keywords

STM32 microcontroller; Human posture recognition; MPU6050; Bluetooth Communicator

面向智能跑步机的人体姿态识别系统设计

杨思思 许有熊 王嫣然

南京工程学院自动化学院, 中国·江苏 南京 211167

摘 要

本论文以 STM32F103C8T6 微控制器为核心, 搭配 HC-05 蓝牙模块, 完成人体运动姿态识别系统设计与实现。硬件方面, 采用模块化设计, 包括以 STM32 为核心的主控电路、MPU6050 传感器数据采集电路、蓝牙通信电路及电源管理电路, 各模块协同工作。通过 MPU6050 采集人体运动数据, 经 HC-05 无线传输至 MATLAB 平台。在数据处理端, 完成特征提取与分类算法设计, 构建姿态判别模型, 并开发相应程序及可视化界面。系统集成测试通过模拟多种运动场景, 验证算法有效性, 实现运动状态实时判别与反馈, 为可穿戴式运动监测设备开发提供技术方案。

关键词

STM32单片机; 人体姿态识别; MPU6050; 蓝牙通讯

1 引言

随着互联网与智能设备的不断普及, 人们对健康的关注度日益提升, 人体运动姿态作为反映人体健康的关键指标, 受到了越来越多的关注。目前, 主流的人体姿势识别方法主要是借助图像视频信息或者传感器等来获取人体运动数据, 再依据不同行为的数据特性差异进行识别。基于图像视频的人体姿势识别法虽然识别率相对较高, 但存在诸多局限性, 如限制人体活动范围、设备成本昂贵、难以普及推广等问题^[1]。相比之下, 传感器识别方式大多运用加速度/角速度传感器获取运动原始数据, 进而提取数据特征以对人体运动姿态做进一步识别分析。与视频图像信息法相比, 传感器方式具有成本低、数据获取方便、不易受环境干扰等优势,

这使得基于传感器的运动识别法得到了更广泛的应用^[2]。

2 总体方案设计

该系统的原理框图如图 1 所示。系统利用 STM32 对传感器进行初始化和校准操作, 之后传感器会实时地采集运动数据。STM32 通过 I2C 接口读取这些采集到的数据, 并运用特定的算法来判断人体的运动姿态。当 STM32 完成姿态判别之后, 会将识别出的结果显示在 OLED 屏幕上, 同时通过蓝牙模块向控制电机的芯片发送相应的控制信号。此外, 用户还可以通过按下按键来查看传感器采集到的不同数据。

本设计由 STM32F103C8T6 单片机最小系统板电路、MPU6050 传感器电路、蓝牙通讯模块、OLED 显示屏电路、蜂鸣器电路和按键模块组成。其中, 传感器模块负责采集运动数据并交给单片机处理。MPU6050 加速度传感器能够检测人体在各种运动状态下的数据, 从而计算出走路步数、

【作者简介】杨思思(2003-), 女, 苗族, 中国贵州六盘水人, 在读本科生, 从事自动化研究。

距离以及平均速度。蓝牙串口通讯模块用于将单片机接收到的传感器数据传输给 MATLAB 进行预处理，并且将单片机处理好的信号传输给控制跑步机电机的单片机。显示模块中的 OLED 显示屏实时显示步数、平均速度及人体运动姿态。按键模块用于实现不同数据的显示与调试功能。

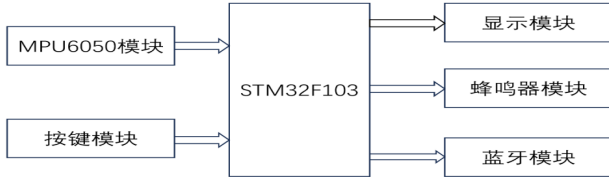


图 1 系统原理框图

3 软件设计

3.1 人体运动姿态的判别算法设计

人体加速度向量幅值能够通过测量人体的加速度幅值来反映运动的强度，该数值较大时，表明人体运动较为剧烈^[3]。为了提升处理速度和结果的准确性，本系统采用支持向量机（SVM）进行加速度合成。具体而言，首先对加速度数据进行特征提取，然后利用 SVM 来判别人体的运动状态。由于本设计所选用的传感器内部具备滤波功能，因此在本研究中，只需直接合成得到 SVM。处理后的加速度计算公式为：

$$SVM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

本系统中的姿态判别算法通过对 MPU6050 中加速度计和陀螺仪数据的处理，并用 MATLAB 进行特征提取，实现了走路、跑步、下蹲、起跳和摔倒的运动姿态的识别，以及对人体运动时平均速度的计算，为后续的实物测试应用提供了基础。

3.1.1 行走和跑步

通过蓝牙串口模块将 STM32 处理得到的合成加速度发送到 MATLAB 并实时绘图，可以得到行走和跑步动作状态下三轴加速度处理后的图像。经过分析可以得出：人体在走路状态时的加速度向量幅值基本处于 0.8g 到 1.3g 之间，而跑步时人体的加速度向量幅值较大，超过 1.6g。通过对走路和跑步状态下的加速度向量幅值进行特征提取可以得出：当加速度向量幅值大于 1.1g 且小于 1.3g 时为走路状态，当大于 1.5g 时为跑步状态，当处于加速度向量幅值为 0.9g 到 1.1g 之间时为静止状态。

3.1.2 跳跃和下蹲

通过监测和分析三轴陀螺仪中纵向加速度数据的变化方向和幅度，可以有效地区分出跳跃和下蹲这两种不同的身体动作^[4]。具体来说，当纵向角加速度大于 20 时，判断为跳跃状态；当纵向角加速度小于 -20 时，判断为下蹲状态。此外，当加速度向量幅值处于 0.9g 到 1.1g 之间时，认为身

体处于静止状态。基于这些特征，我们进行了程序编写。具体逻辑如下：当监测到 gz（纵向角加速度）大于 20 时，系统判断当前为跳跃状态，同时 OLED 显示屏会显示字符串“JUMP.”；而当 gz 小于 -20 时，系统则判断为下蹲状态，此时 OLED 显示屏会显示字符串“SQUIT.”。

3.2 人体跌倒检测算法的设计

在本设计中，主要选用了 DMP（Digital Motion Processor）作为姿态解算的核心方法。DMP 直接集成了 MPU6050 内部的运动引擎，能够直接输出四元数。这不仅极大地简化了微处理器的数据处理流程，还巧妙地避免了复杂的滤波和数据融合步骤^[5]。这种方式在提升系统整体性能的同时，也有效降低了开发的复杂度和时间成本。四元数的基本表示形式为：

$$q_0 + q_1 \times i + q_2 \times j + q_3 \times k \quad (2)$$

当人体发生跌倒行为时，人体姿态角会发生显著变化^[6]。此时，将通过 DMP 解算得到的俯仰角、横滚角和航向角，利用蓝牙串口模块发送到 MATLAB 并进行实时绘图。通过对跌倒状态下的加速度向量幅值和俯仰角变化进行特征提取，可以得到相应的判断流程：当加速度向量幅值大于 1.3g，且姿态角的绝对值小于 40° 时，人体处于跌倒状态。此时，OLED 显示屏会显示字符串“!!!FALLDOWN!!!”，同时蜂鸣器发出报警。

3.3 人体运动速度测量算法的设计

人体走动时，加速度的变化会导致 MPU6050 传感器数据的相应变化。通过读取 MPU6050 加速度数据寄存器和偏向角数据寄存器的数据，经过进一步的滤波和处理，就可以得到步数^[7]。而 MPU6050 的 DMP 库中已经设计了一个用于获取步数和步行时间的函数。由于人体在走路和跑步时的步行距离变化不大，因此只需设定一个固定的距离，再通过步数和时间进行简单的计算，就可以实现平均速度的计算。

3.4 程序设计

该人体运动姿态识别系统通过分析五个模块（按键、显示、通信、蜂鸣器和加速度传感器）之间的逻辑关系和主要功能，采用模块化设计方法，将每个模块的底层功能封装，确保独立工作和清晰的接口。设计时将底层代码置于对应的 C 语言文件和头文件中，提供接口函数以供调用，降低模块间耦合度。

系统启动后，先进行 STM32 的全局初始化和各功能模块的独立初始化配置。主循环中，通过按键模块检测用户输入并设置参数，MPU6050 实时采集加速度和陀螺仪数据，经姿态识别算法处理后，通过 OLED 显示模块输出结果，同时根据识别状态决定是否触发蜂鸣器报警。蓝牙通信模块负责将关键数据发送至外部设备。所有模块采用接口函数封装设计，通过清晰的输入 / 输出接口交互，实现高效协同的人体姿态监测与反馈。

4 系统调试

该调试过程分为硬件模块测试与实物联调两个阶段。在硬件调试中，首先对 MPU6050 传感器模块进行初始化验证，通过 OLED 屏幕显示“OK”状态确认其正常工作，解决了传感器初始化失败等常见问题。针对蓝牙通信模块，采用 AT 指令配置 38400 波特率、设备名称及访问密码(1234)，

通过串口调试助手双向验证数据传输功能：电脑端发送字符串时 OLED 实时显示，传感器数据回传时能准确解析姿态角参数，确保无线通信链路的稳定性。

实物联调阶段，系统通电后需完成初始化自检，通过模拟人体五种典型运动（行走、跑步、跳跃、下蹲、跌倒），实时显示运动姿态与平均速度，验证了硬件架构的合理性和算法模型的有效性。调试过程中实物显示如下图 3 所示。

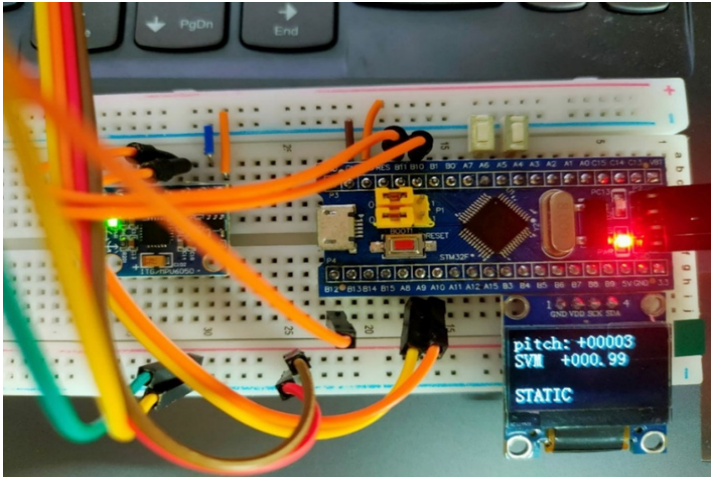


图 2 调试实物图

5 结论

本系统以 STM32F103 为核心控制器，能够显著提高算法的执行速度和代码效率，满足人体姿态识别的速度需求。通过加速度传感器收集不同动作的数据并进行处理和归纳，运用阈值分类法进行动作判别，从而提升人体姿态判别的效率和准确率。本系统设计合理、功能完善、成本低廉、易于组装，具有良好的实用性和广阔的应用前景。

参考文献

[1] 赵一祯.固定场景下的人体姿态识别[J].电脑编程技巧与维护,2018,(11):150-152.
[2] 蔡俊,王玮琪,桂硕楠.基于运动传感器的体态识别系统设计[J].

电子技术与软件工程,2023,(04):120-123.
[3] 郑毅,宋贺良,王克强.基于SVM的人体姿态识别技术研究[J].传感技术学报,2023,36(03):462-468.
[4] 孙宇航,周建钦,张学锋.基于加速度传感器的人体运动模式识别[J].计算机系统应用,2020,29(06):196-203.
[5] 王美玲,刘钰倩,翟朝阳,等.基于三轴角加速度传感器的姿态解算方法[J].中国惯性技术学报,2024,32(11):1095-1101.
[6] 刘瑞佳,周怡.基于多传感器融合的跌倒检测研究综述[J].现代计算机,2020,(34):55-58+82.
[7] 韩进,许雯雯.六轴陀螺仪MPU6050的虚拟3D模型角度控制[J].单片机与嵌入式系统应用,2017,17(12):43-47.

Research on the application of blockchain technology in the botnet detection of the Internet of Things

Ying Xing¹ Yaxin Yang² Yushu Li¹

1. School of Cyberspace Security, Zhongyuan Institute of Technology, Zhengzhou, Henan, 450007, China
2. School of Software, Zhongyuan Institute of Technology, Zhengzhou, Henan, 450007, China

Abstract

With the exponential growth of the number of Internet of Things devices, the traditional centralized botnet detection methods pose severe challenges in bandwidth consumption, single point of failure and data privacy protection. This paper systematically analyzes the innovative application of blockchain technology in botnet detection and protection, builds the decentralized C & C channel detection model through smart contract, designs distributed collaborative detection with digital signature and Byzantine fault-tolerant algorithm, and uses the lightweight blockchain architecture to optimize the storage and computing overhead in the Internet of Things environment. Blockchain technology can effectively solve the trust problem of detection nodes, ensure the integrity and privacy, and its tamper-proof features provide reliable support for attack traceability.

Keywords

blockchain technology; botnet detection; distributed detection

区块链技术在物联网僵尸网络检测中的应用研究

邢颖¹ 杨亚鑫² 李浴淑¹

1. 中原工学院网络空间安全学院, 中国·河南 郑州 450007
2. 中原工学院软件学院, 中国·河南 郑州 450007

摘 要

随着物联网设备数量呈指数级增长, 传统集中式僵尸网络检测方法在带宽消耗、单点故障和数据隐私保护等方面的严峻挑战。本文系统分析了区块链技术在僵尸网络检测与防护中的创新应用, 通过智能合约构建去中心化C&C信道检测模型, 利用数字签名和拜占庭容错算法设计分布式协同检测, 采用轻量级区块链架构优化物联网环境下的存储与计算开销。区块链技术可有效解决检测节点信任问题, 保障数据完整性与隐私安全, 其不可篡改特性为攻击溯源提供可靠支撑。

关键词

区块链技术; 僵尸网络检测; 分布式检测

1 引言

随着大数据、云计算、区块链、人工智能、5G/6G 通信等新兴技术的快速发展与深度应用, 人类社会迈入了名副其实的“数字时代”, 以智能家居、智慧医疗、智慧城市、智慧农业、车联网、无人机系统等应用场景为代表的物联网 (Internet of Things, IoT) 技术已成为新型动态网络发展的核心技术之一。据全球领先的数据统计公司 Statista 预测, IoT 设备的数量将呈爆炸性增长, 预计到 2025 年全球将达

到近 750 亿台。在日趋复杂的国际关系和地缘政治斗争的大背景下, 网络空间安全俨然成为大国博弈的对抗领域。僵尸网络通常由控制者 (Botmaster)、命令与控制信道 (Command and Control Channel, C&C) 以及僵尸主机 (Bot) 共同组成。作为数字化攻击的“超级武器”, Botmaster 可以通过控制服务器操控 Bot 对关键节点和网络基础设施发起复杂的网络攻击活动, 包括勒索软件、分布式拒绝服务攻击、加密货币挖掘以及信息泄露等。僵尸网络作为重要的攻击平台, 可对关键节点和网络基础设施进行直接打击, 其影响和危害远远超过了传统恶意软件, 对互联网生态安全构成了严重威胁。随着互联网的持续演化, 僵尸网络在信道构建、消息传播等方面出现了更高级手段, 呈现出平台多样化、通信隐蔽化、控制智能化等特点。以 5G、智能终端、云存储、社交平台为代表的公共服务资源逐渐成为僵尸网络滋生的沃土, 特别是, 物联网、车联网等物理信息基础设施的拓展为僵尸网络的传播提供了全新空间。

【基金项目】2024 年度河南省科技攻关项目“基于轻量级区块链的物联网僵尸网络智能检测方法研究” (项目编号: 242102210136)。

【作者简介】邢颖 (1985-), 女, 中国河南沈丘人, 博士, 讲师, 从事网络安全研究。

与传统互联网环境相比,物联网环境具有一些独特的特点,如物联网设备的小体积和有限内存容量,使其成为资源受限型系统;同时,设备旧化、系统防护较弱、安全设计缺失等问题都是众多安全漏洞频现的原因,容易受到破解和远程控制的威胁;再者,物联网的高度动态性导致设备之间的交互通常没有固定的模式,使得攻击手段多样且难以预测,增加了安全防护的复杂性。2021年全球最大肉类供应商 JBS 遭遇了由 REvil 僵尸网络发起的勒索攻击,导致跨国冷链系统瘫痪 72 小时;2023 年, V3G4 恶意软件通过劫持百万级智能摄像头,构建了一个攻击金融交易中心的“视界黑洞”僵尸网络;2024 年,由 CNCERT 物联网安全研究团队与 ADLab 联合发布了一块具备诱捕及反探测能力的物联网僵尸网络,命名为“僵尸蜜网”。2025 年,僵尸网络对 DeepSeek 公司发起了分布式拒绝服务攻击,导致 DeepSeek 的核心服务器瘫痪,无法正常提供服务。

2 典型的僵尸网络检测关键技术

2.1 僵尸网络检测方法分类

大量文献从不同角度对检测技术开展研究,蜜罐技术通过模拟网络环境吸引恶意代码,利用逆向分析技术提取威胁特征,但面对加密数据传输时存在识别盲区,难以应对零日攻击及利用社会工程手段扩散的僵尸程序。传统特征码检测体系采用预定义规则库进行流量匹配(如 Snort 系统),虽能高效识别已知威胁,但其检测效能完全依赖特征库完备性,对新型攻击存在固有缺陷,且需投入大量资源进行规则库迭代维护。在异常行为检测领域,研究者主要聚焦于网络行为偏离度分析。该方法通过建立正常网络行为基准模型,对端口通信流量、数据包传输时延、协议交互频率等维度进行实时监测,通过计算当前行为与基准模型的统计学差异或与已知僵尸程序行为模式的相似性,实现潜在威胁的识别。这种动态检测机制虽能突破特征匹配的局限性,但在实际应用中仍需解决误报率控制、行为建模精度等技术挑战。

机器学习、深度学习等智能化方法为僵尸网络复杂特征工程提取及分类任务提供了新的模式。Jung 等人^[1]通过侧信道功耗信息,如电量消耗等,来区分物联网设备是否受到恶意行为的影响,提出了一个基于卷积神经网络的深度学习模型来感知功耗数据的细微差异。McDermott 等人^[2]提出了一种检测物联网设备中僵尸网络活动的解决方案,将 Mirai 的四种攻击向量作为特征向量,建立了基于双向长短期记忆的递归神经网络的检测模型。Bot Catcher 针对网络流量,从时间和空间两个维度,利用不同类型的深度神经网络模型进行检测,空间特征选取采用 CNN 将数据流转换成灰度图像,时间序列特征选取 BiLSTM 神经网络模型。XG-BOT 是一种利用图神经网络针对僵尸网络拓扑结构进行检测的方法,并给出了可解释性分析。GNN-WGAN 方法是一种融合图神经网络与 Wasserstein 生成对抗网络的,用于在智能城市物联网中有效检测僵尸网络攻击,提高了检测精度和模型的鲁棒性。GraphSAGE 是一种基于图神经网络的物联网攻击检测框架,通过捕捉图的边缘特征和物联网数据流

信息来检测网络入侵。但是静态的图神经网络方法缺乏动态攻击场景下的僵尸网络攻击行为建模,多数方法处理单一维度数据,模型的自适应更新能力差,不适用于物联网场景下的检测,亟需新的动态解决方案。

2.2 集中式的僵尸网络检测方法分析

集中式僵尸网络检测的主要优势包括以下几点:首先,管理集中化,通过统一平台实现数据收集、分析与策略制定的集中管控,从而降低多节点运维的复杂性。同时,全局视角有助于系统性识别攻击模式,并优化防护策略。其次,部署便捷性,基于中心化架构,简化了硬件配置与软件协调流程。最后,算力集约化,依托中心化的算力资源,实现海量数据的快速处理与复杂模型的运算,通过集中式流量分析提升僵尸网络行为的识别效率。

然而,传统的僵尸网络检测方法存在诸多不足,例如带宽消耗大、单点故障风险高以及数据隐私问题。这些缺陷导致集中式方法在处理大规模物联网设备时效率低下,并且容易成为攻击者针对中心节点发起攻击的目标。此外,实时性方面也存在明显缺陷,在设备频繁接入或退出的动态环境中,数据采集与分析链路的延迟会影响攻击响应的及时性,难以有效应对时空演化型僵尸网络的隐蔽渗透行为。在智能化检测模型方面,大多数深度学习模型都假设网络处于静态状态,未能充分考虑时间演化因素,缺乏模型的自适应更新能力。因此,迫切需要开发新的动态解决方案。

3 区块链技术构建僵尸网络

区块链是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等计算机技术的新型应用模式,可以实现分布式非可信环境下的数据完整性、一致性、可追溯性和不可篡改性。Omer Zohar 构建了一个完全在以太坊区块链上运行的僵尸网络,其所有通信都通过智能合约实现。新一代混合型两层僵尸网络 LNBOT 利用闪电网络(Lightning Network, LN)作为命令控制信道的,利用链下概念实现近乎即时的比特币交易。Fbot 僵尸网络分析报告指出其通过 EmerDNS 实现抗逆向分析,利用 EmerCoin 的分布式域名系统动态解析 C&C 服务器 IP,替代传统 DGA 域名生成算法。华为 Noah's Ark 实验室发现 Mirai 变种利用 MQTT 协议控制智能家居设备将 C&C 指令嵌入物联网协议,如 CoAP 的观察模式、MQTT 的发布订阅,伪装成设备正常通信。

4 区块链技术在僵尸网络检测中的应用

4.1 分布式检测

智能合约、数字签名、激励机制等技术也为分布式僵尸网络检测提供了新的视角。区块链在僵尸网络识别中的核心机制在于整合智能合约、密码学签名及激励体系等技术,依托分布式节点协同工作机制,通过共识机制推动节点间威胁情报共享及联合决策行为。具体表现为构建多代理协作架构下的可信交互平台,借助区块链的不可篡改性实现检测数据溯源,并运用经济激励模型保障分布式检测节点的有效参与。

AutoBotCatcher^[3]利用拜占庭容错(Byzantine Fault

Tolerance, BFT) 共识算法, 在大型网络上执行动态和协作式的僵尸网络检测, 使用社区检测算法 Louvain 方法检测僵尸网络社区。Wu 等人^[4]提出了一种由区块链智能合约、PoW (Proof of Work) 共识方案驱动的激励平台 SmartRetro, 可以吸引更多的分布式检测器参与检测, 并共享检测结果。分布式的基于区块链技术的僵尸网络检测方法可以为具有去中心化和频繁移动特点的物联网场景提供可信、弹性、自进化的智能检测框架, 在保护隐私的前提下实现多节点协同的僵尸网络检测与防御, 为构建安全可信的物联网生态系统提供理论支撑与技术保障。

4.2 轻量级架构

物联网设备通常存在计算能力和存储资源有限的问题, 传统的区块链架构往往因其存储和计算开销过大, 难以适应物联网的需求。轻量级区块链架构通过简化区块存储、优化共识算法、减少计算和存储开销, 使得区块链能够更好地适应物联网设备的资源限制。例如, Javid 等人^[5]提出的区块链解决方案通过智能合约设定设备的 gas 限制, 对设备的行为进行监控。Zhang 等人^[6]提出了一种基于联盟链的系统架构, 将联盟链引入智能家居系统, 通过改进拜占庭容错的 PBFT 共识机制, 提出了 DTSG-PBFT 算法。Fan 等人^[7]通过改进拜占庭容错算法提出了一种适用于车联云任务调度的轻量级区块链架构, 将任务的调度过程与区块链紧密结合。

4.3 安全防护

4.3.1 节点信任

分布式检测架构中不同参与者之间的信任问题难以解决, 存在数据共享与隐私保护之间的矛盾。物联网环境具有地理分布广泛、设备容量小、实时更新快等特点, 而现有分布式检测架构缺乏可信数据共享与协同验证机制。跨域数据协同易引发敏感信息泄露, 例如设备指纹和用户行为数据, 现有区块链方案因高通信开销与低扩展性难以适配资源受限设备。此外, 当前的基于区块链的分布式检测方法未充分考虑设备身份验证和敏感数据访问的安全验证等问题, 容易遭受数据注入攻击, 从而降低了整体的安全防护性能。检测设备都可以通过数字签名和智能合约来认证其身份, 从而保证设备在网络中的可信度。例如, Ahmed 等人^[8]提出的方案利用区块链技术来存储和共享设备的 IP 地址, 通过比较设备生成的数据包数量与预设的阈值来检测是否存在僵尸网络行为。该方案采用区块链技术存储设备的认证信息, 并且通过智能合约确保每个设备都通过合法验证后才允许加入网络, 通过这种方式, 每个设备的身份得到了唯一标识和认证, 避免了传统集中式系统中由于单点信任导致的安全隐患。

4.3.2 数据安全

区块链技术不仅保证了数据不可篡改的特性, 为数据交换提供了安全保障。在传统的集中式检测系统中, 所有的网络流量数据通常都需要传输到中心节点进行处理, 这可能导致数据泄露、篡改或中间人攻击的风险。而区块链通过其加密和去中心化存储的方式, 确保了数据在传输过程中不被篡改或泄露。例如, BCIoT 框架在使用区块链进行设备身份

认证时, 所有的通信和数据交换都受到智能合约和加密算法的保护。该框架通过在区块链上记录设备的认证信息和流量数据, 确保了数据交换的安全性, 并且通过加密和数字签名技术, 保障了流量数据的隐私安全。

5 结语

本文系统探讨了区块链技术在物联网僵尸网络检测中的创新应用与挑战。研究表明, 区块链通过智能合约构建去中心化 C&C 信道检测模型, 结合数字签名与拜占庭容错算法设计分布式协同检测, 有效解决了传统集中式检测存在的单点故障、数据隐私泄露及节点信任问题。轻量级区块链架构的优化显著降低了物联网环境下的存储与计算开销, 其不可篡改特性为攻击溯源提供了可靠技术支撑。然而, 现有方案在链下数据可信性验证、动态检测模型构建及跨链协同机制等方面仍存在不足。未来研究应着重突破轻量级区块链与边缘计算的深度融合, 构建基于跨链技术的分布式检测体系, 同时结合 AI 算法实现动态自适应检测模型, 为应对物联网僵尸网络的新型攻击范式提供更完善的安全防护解决方案。

参考文献

- [1] Woosub Jung Hongyang ZhaoMinglong Sun Gang Zhou. IoT botnet detection via power consumption modeling. Smart Health. Smart Health 15 (2020) 100103 <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2019.100103>.
- [2] McDermott C D, Majdani F, Petrovski A V. Botnet detection in the internet of things using deep learning approaches[C]//2018 international joint conference on neural networks (IJCNN). IEEE, 2018: 1-8.
- [3] Gokhan Sagirlar, Barbara Carminati, Elena Ferrari. AutoBotCatcher: Blockchain-based P2P Botnet Detection for the Internet of Things[J], arXiv: Cryptography and Security, 2018: 1-8.
- [4] Wu B, Li Q, Xu K, et al. Smartretro: Blockchain-based incentives for distributed iot retrospective detection[C]//2018 IEEE 15th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS). IEEE, 2018: 308-316.
- [5] Javid M, Khan S, Ahmad F. Blockchain-Based IoT Resource Optimization via Smart Contract Gas Limits[C]//Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency. New York: IEEE Press, 2023: 245-257.
- [6] Zhang L, Li M, Wang F. Consortium Blockchain-Based Smart Home System with DTSG-PBFT Consensus[R]. Beijing: Tsinghua University Press, 2023: 1-25.
- [7] Fan J, Li R, Zhang Y. Lightweight Blockchain Architecture for Vehicular Cloud Task Scheduling[R]. Beijing: Tsinghua University Press, 2020: 1-25.
- [8] Ahmed, Z.; Danish, S.M.; Qureshi, H.K.; Lestas, M. Protecting IoTs from Mirai botnet attacks using blockchains. In Proceedings of the IEEE International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks, CAMAD, 2019, Limassol, Cyprus, 11–13 September 2019; pp. 1–6

Design of noise pollution monitoring and intelligent control system based on artificial intelligence

Siwen Peng Qingyu Shuai

Wuhan Fangji Environmental Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

As an important interference factor in urban environment, noise pollution affects residents' health and urban operation efficiency for a long time. The traditional noise monitoring methods have significant limitations in accurate identification, real-time response and system regulation. The introduction of artificial intelligence technology provides a new technical path for noise pollution control. Through the integration of sensor network, machine learning algorithm and intelligent control system, efficient data acquisition, accurate noise recognition and automatic control response can be realized. This paper around the artificial intelligence driven noise pollution monitoring and intelligent control system system design research, build, including data acquisition, processing, visualization and control feedback, analyzing the whole process architecture of the core technology elements and operation mechanism, explore its application potential in urban complex sound environment, to the future urban sound environment systematic, intelligent management to provide theoretical basis and engineering support.

Keywords

noise pollution; artificial intelligence; intelligent monitoring; adaptive regulation; system design

基于人工智能的噪声污染监测与智能调控系统设计

彭思文 帅清昱

武汉方基环境科技有限公司，中国·湖北 武汉 430000

摘 要

噪声污染作为城市环境中的重要干扰因素，长期影响居民健康与城市运行效率。传统噪声监测手段在精准识别、实时响应及系统调控方面存在显著局限。人工智能技术的引入为噪声污染治理提供了新的技术路径，通过融合传感器网络、机器学习算法与智能控制系统，可实现高效的数据采集、精确的噪声识别及自动化调控响应。本文围绕人工智能驱动下的噪声污染监测与智能调控系统展开系统设计研究，构建包括数据采集、处理、可视化与控制反馈在内的全流程架构，分析其核心技术要素与运行机制，探索其在城市复杂声环境中的应用潜力，旨在为未来城市声环境的系统化、智能化治理提供理论依据与工程支撑。

关键词

噪声污染；人工智能；智能监测；自适应调控；系统设计

1 引言

城市化进程的不断加快使交通运输、商业活动、工业设施等噪声源日益复杂，噪声污染已成为影响城市生态系统协调发展的重要环境问题。现有治理体系普遍依赖静态采样和后期干预，难以实现对动态声环境的精准感知与实时调控，造成治理滞后、成本高企及效果不稳定等问题。面对城市环境治理智能化转型的时代背景，亟需构建一个集高精度监测、快速识别、自动响应于一体的噪声污染智能管理系统。人工智能技术具备模式识别、自主学习与实时反馈的优势，可在复杂环境下实现噪声数据的深度解析与主动干预控制，

为噪声污染治理提供新的路径支持与系统保障。

2 噪声污染现状与智能化治理需求

2.1 城市环境中噪声污染的类型与成因

城市声环境复杂多变，噪声污染主要来源于交通运输、工业生产、商业活动和社会生活等多元化场景。道路交通噪声因车辆密度大、车速变化频繁而呈现持续性和高强度特征，轨道交通和航空运输则在特定时间段形成高分贝扰动。工业区域的机械作业与工艺设备运行产生结构性噪声，具有周期性与机械振动叠加的特点。商业街区扩音设备、施工区域设备运转及人口密集区域人群活动形成非连续性或瞬时性噪声扰动。这些声源相互叠加并在不同城市空间内传播，受到地形、气候与建筑密度的影响，易形成局部回响或扩散效应。噪声污染的形成机制复杂，具有强随机性、高波动性

【作者简介】彭思文（1986-），男，中国湖北武汉人，硕士，工程师，从事环境监测研究。

和区域差异性，不仅扰乱城市功能秩序，也严重影响居民健康与生活质量。

2.2 传统噪声监测与治理手段的局限性

传统噪声监测多依赖定点布置的噪声仪器，数据采样间隔长、覆盖范围有限，难以实时捕捉动态声环境变化。静态采集模式与人工巡查相结合的治理体系效率较低，无法应对城市噪声的高频波动特征与复杂源头识别需求。测量数据多以平均值或峰值呈现，缺乏对特定噪声频段、传播路径及影响范围的精确建模能力。治理手段以物理隔声和限时限音为主，缺乏主动识别、智能响应与效果评估机制，治理决策多依赖经验判断而非数据驱动。在交通枢纽、工业密集区和临近居民区等敏感区域，这种传统手段常出现响应滞后、调控无效或管控盲区等问题，难以满足城市噪声污染治理精细化、系统化与智能化的现实需求。

3 人工智能技术在噪声污染监测中的应用基础

3.1 机器学习在噪声识别与分类中的作用

噪声污染的动态变化和声源多样性使传统基于规则的识别方式难以胜任，而机器学习技术凭借强大的特征提取与模式识别能力，在噪声识别与分类中展现出显著优势。通过构建监督学习模型，系统可基于大量历史噪声样本进行训练，掌握不同噪声源的频率特征、时域变化与空间分布模式。卷积神经网络在音频信号的图像化处理上具有优秀表现，可自动提取高维声谱特征用于类别识别。循环神经网络适用于捕捉时间序列中的变化趋势，增强系统对周期性和突发性噪声事件的识别精度。在训练过程中引入迁移学习与数据增强策略，有助于模型在复杂城市环境中保持鲁棒性和泛化能力。结合实时流数据与离线历史库，机器学习实现了对多源噪声的精确分类与动态建模，为后续调控策略的制定与执行提供高质量的数据基础与算法支持【1】。

3.2 传感器网络与边缘计算的协同机制

噪声污染监测要求覆盖广泛、响应及时且资源高效，单一传感器无法满足复杂城市环境下的连续监测需求，因此构建分布式传感器网络成为基础手段。部署于城市关键节点的传感器终端具备实时采集、初步处理与无线通信功能，构成具有自治能力的前端网络结构。边缘计算节点嵌入系统架构中，与传感器网络协同运作，实现数据的本地预处理、异常筛选与初步分类，有效降低中心平台负荷与网络延迟。边缘计算单元可基于特定算法模型进行初步噪声源识别、波动趋势判断与数据压缩传输，提升整体系统的响应速度与处理效率。通过分布式处理与局部决策机制，系统具备高度灵活性与容错能力，即使在网络不稳定或中心服务器不可达的情况下仍可独立运行，保障监测连续性。传感器网络与边缘计算的紧密协同为构建高效、智能的城市噪声监测系统提供坚实技术支撑【2】。

3.3 数据融合与异常检测的智能算法模型

噪声监测过程中采集的数据来源多样、格式复杂，存

在冗余、丢失和干扰等问题，单一数据流难以准确反映真实声环境状态，因此需借助智能算法进行数据融合与异常检测。融合算法以时间、空间和信号特征为核心参数，将多个传感节点上传的音频、频谱和环境数据统一校准与整合，构建多维度、动态化的噪声信息模型。在融合过程中引入加权平均、贝叶斯估计与主成分分析等方法，有效提升数据一致性与系统鲁棒性。异常检测环节通过构建基于聚类分析、自编码器或支持向量机的算法模型，对噪声数据中的突变、干扰与非法信号进行快速识别与隔离，避免误报与信息污染影响系统判断。结合历史数据库与实时流数据的比对分析，系统可持续优化检测边界与响应机制，提升噪声污染监测的稳定性、可靠性与智能水平。

4 噪声污染智能监测系统的架构设计

4.1 多源噪声数据采集终端设计要点

噪声污染智能监测系统对数据采集终端的性能提出高度要求，终端设计需兼顾灵敏度、稳定性、能耗与部署环境适应性。采集设备应具备高精度麦克风阵列结构，可捕捉不同频率范围内的环境声信号，同时具备抗干扰能力以应对复杂城市声场。终端内部嵌入初级信号处理模块，用于实时滤波、降噪与特征提取，以减少原始数据传输压力。设备应支持多种通信接口以接入局域网、蜂窝网络或低功耗广域网，确保数据上传的灵活性与持续性。针对不同布设场景，如道路沿线、工业区、居民楼外立面，终端外壳需具备防尘、防水与抗紫外性能，并配合太阳能电源与低功耗待机设计实现长期自主运行。采集终端不仅要实现声音信号的采样功能，还需对环境温湿度、风速等辅助变量进行同步采集，以增强后续数据融合与污染源判别的准确性与鲁棒性【3】。

4.2 实时数据传输与处理平台构建方案

噪声监测系统需构建高效稳定的数据传输与处理平台，实现多点数据流的实时接入、处理与调度。数据传输通道以分布式网络结构为基础，结合边缘计算节点与中心云平台的分层架构，提升网络弹性与通信效率。数据在传输前由边缘节点完成预处理，包括降采样、压缩与异常初筛，从而显著降低数据带宽压力。平台应具备高并发数据接入能力，能够容纳来自多个终端的同步传输，并保证数据包完整性与时间同步。数据处理引擎采用流式处理框架，支持实时数据入库、特征分析与动态建模，确保系统对突发噪声事件的响应速度。平台整体架构应采用模块化设计，便于后续算法更新、功能扩展与节点调配，并集成标准化接口以适配第三方系统或政府监管平台需求。系统还需具备异常数据报警与恢复机制，确保运行安全与数据连续性，满足城市级环境监管与治理的实际要求。

4.3 噪声污染分布可视化与预警模块设计

可视化与预警模块是智能监测系统面向用户展示与决策支持的核心环节，其设计需兼顾数据表达的直观性、信息传递的及时性与预警逻辑的科学性。系统应构建多层次地理

信息映射模型,融合实时监测数据与历史记录,在城市地图上动态呈现噪声强度分布、污染等级区划与变化趋势。可视化界面支持缩放操作、分时段回溯与热点区域标识,辅助监管人员全面掌握声环境状态。预警模块基于统计分析与机器学习模型构建动态阈值判断体系,能够对异常强度增长、声源频率异常或干扰信号持续出现等现象进行识别与分级响应。系统自动推送告警信息至相关管理部门或平台,并记录预警事件全流程数据以供追溯分析。通过对可视化图层与预警信息的有效整合,模块实现了从感知到响应的闭环管理机制,显著提升了城市噪声污染治理的决策效率与执行精度【4】。

5 智能调控系统的构成与关键技术路径

5.1 自适应降噪策略的算法实现方式

自适应降噪策略的设计关键在于构建能动态识别声源特征并实时调整响应行为的智能算法模型。系统通过对历史与实时数据的联合分析,提取不同类型噪声在频谱、幅值与时间序列中的变化规律,构建基于多维输入的决策函数。典型算法如自适应滤波器、动态贝叶斯网络与模糊控制模型,可根据声环境状态变化自动调整降噪参数以实现最佳干预效果。系统训练过程中引入反馈学习机制,使控制模型在实际运行中持续优化,逐步提升对特定噪声类型的抑制能力。在多目标场景下,算法需兼顾噪声控制效果与环境舒适度,通过调节降噪装置强度、频率响应区间与开启时长等参数,形成多层次、分区域的协同控制策略。算法部署在边缘节点或终端控制器中,具备实时响应、低延迟与高容错能力,保障系统在动态环境中的降噪精度与自适应能力。

5.2 噪声源主动干预与响应机制设计

智能调控系统需具备面向噪声源的主动干预能力,通过识别声源位置、性质与强度,启动相应控制手段以达到污染抑制目的。系统融合声源定位技术与分类算法,对高风险声源实时追踪并建立响应优先级机制。在交通噪声治理中,系统可通过与信号灯控制、车流引导系统对接,调节交通节奏以降低峰值声强;在施工区域,则联动智能屏障或降噪装置启动声学干预程序。干预机制需设定多种响应模板,根据噪声类型与环境敏感程度自动匹配控制指令,确保响应具有目标针对性与场景适应性。反馈环节通过持续监测调控前后

的声环境变化,实现调控效果评估与参数自我修正。机制设计中嵌入动态调度逻辑,可在多源声干扰情境下实现多级联动干预,提升治理范围与协调效率,使系统不再仅是被动应对噪声问题,而是具备主动压制与过程调控的智能特征。

5.3 智能控制系统与城市基础设施的集成模式

实现噪声调控系统的全面功能需将其与现有城市基础设施进行深度融合,构建感知、通信、响应一体化的运行体系。系统通过标准化接口与城市交通系统、建筑管理平台、市政设施控制网络进行数据与指令交互,实现跨系统数据共享与控制协同。传感节点布设于路灯、信号塔、监控杆等基础设施上,实现低成本、高密度的部署覆盖。调控设备嵌入声屏障、电控百叶、动态信号装置等城市构件中,在接收到指令后即时执行降噪措施。控制系统以城市管理平台为核心,统一调度多个子系统的感知与控制模块,形成从数据感知、处理分析到调控反馈的闭环路径。系统设计注重兼容性与可拓展性,适应不同城市建设阶段与管理需求,支持模块更新与功能升级。通过智能控制系统与城市基础设施的融合,噪声污染治理能力由局部应对迈向全域协同,实现技术系统与城市运行结构的深度耦合。

6 结语

基于人工智能的噪声污染监测与智能调控系统,突破了传统声环境治理的技术瓶颈,构建了集数据采集、智能识别、实时响应与主动干预于一体的综合体系。通过多源信息融合、边缘计算协同与智能算法驱动,系统实现了对城市复杂声环境的高精度感知与高效控制,为实现精细化、动态化的噪声治理提供了可行路径。该系统的构建不仅提升了城市环境管理的科技含量,也为未来智慧城市环境治理体系的拓展奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 张祥钊,刘璐.城市区域环境噪声污染的监测方法研究[J].皮革制作为与环保科技,2025,6(02):56-58.
- [2] 张洋.人工智能在环境监测中的应用策略探讨[J].中国轮胎资源综合利用,2024,(11):75-77.
- [3] 王慧萍.自动噪声监测系统在城市生态规划中的作用[J].皮革制作为与环保科技,2024,5(20):175-177.
- [4] 黄丹雯.智能溯源让噪声“无处逃”[J].环境,2024,(10):31-33.

Research on the condition monitoring and fault early warning technology of railway signal equipment

Haitao Hu

National Energy Group Shuohuang Railway Co., Ltd., Xinzhou, Shanxi, 034000, China

Abstract

Railway signal equipment is an important part to ensure the safety of railway transportation, and its normal operation is directly related to the smooth and safety of railway traffic. With the continuous expansion and complexity of railway transportation system, the intelligence and automation requirements of railway signal equipment are increasing. The traditional manual maintenance and inspection mode gradually fails to meet the requirements of efficient and accurate management in modern railway operation. To meet this challenge, more and more intelligent monitoring systems and automated maintenance technologies are being introduced into the management of railway signaling equipment. Through the combination of the Internet of Things, big data analysis and artificial intelligence technology, it can not only monitor the status of equipment in real time, but also predict potential faults and maintain in advance, so as to improve the safety and operational efficiency of railway transportation.

Keywords

railway signal equipment; condition monitoring; fault warning; Internet of things; big data; artificial intelligence

铁路信号设备的状态监测与故障预警技术研究

胡海涛

国能集团朔黄铁路股份有限公司, 中国 · 山西 忻州 034000

摘 要

铁路信号设备是确保铁路运输安全的重要组成部分, 其正常运行直接关系到铁路交通的顺畅与安全。随着铁路运输系统的不断扩展和复杂化, 铁路信号设备的智能化和自动化需求日益增强。传统的人工维护和检查模式逐渐无法适应现代铁路运营中对高效、精准管理的要求。为了应对这一挑战, 越来越多的智能监控系统和自动化维护技术被引入到铁路信号设备的管理中。通过物联网、大数据分析和人工智能技术的结合, 不仅能够实时监测设备状态, 还能预测潜在故障, 提前进行维护, 从而提高了铁路运输的安全性和运营效率。

关键词

铁路信号设备; 状态监测; 故障预警; 物联网; 大数据; 人工智能

1 引言

铁路运输作为国家交通架构的核心组成部分, 其安全与效率属性对社会经济发展及人民生命财产安全产生直接关联, 铁路信号设备是维护铁路运输安全、时效性及效率的关键技术核心部分, 是实施铁路列车运行调度与控制的核心操作, 传统铁路信号设备普遍实行人工检查与周期性维护, 及至铁路运输网络扩大及信号设备数量上升阶段, 当前管理模式面临效能局限, 亟需智能化技术以实现创新与优化的升级。信号设备状态监测与故障预警技术是铁路信号系统安全性与稳定性提升的核心技术手段, 该技术逐渐成为学术研究的热点议题, 采用前沿的信息技术系统, 对信号设备的工作状态实施不间断的跟踪, 具备对潜在故障进行即时识别与迅

速捕捉的机制, 采用智能预警技术进行故障管理, 减少故障的发生频次及其影响规模, 提升铁路信号系统的可靠性及维护作业效率的层级。

2 铁路信号设备的状态监测技术

2.1 状态检测技术的基本原理

状态监测是维系信号设备稳定性的核心手段, 主要采用传感器、数据采集系统及数据分析技术, 对信号设备的关键部分进行监测实施, 于电源、传输线路及核心组件等关键部分配置监测装置, 实施对设备运行状况的实时监控与分析, 本传感器对设备的温度、振动、电流及电压等关键性能指标进行精确的采集与分析, 数据被导入至集中处理中心, 无线与有线传输方式均可选。系统对数据进行实时性分析与剖析, 若设备运行参数超出预定正常值域, 系统迅速启动警报机制, 自动调节流程, 确保设备迅速进行修复并执行停工程序, 阻截重大故障的爆发, 采用智能化监控技术手段, 采

【作者简介】胡海涛(1973-), 男, 中国山西太原人, 本科, 技师, 从事铁路信号研究。

用先进的智能化监控手段,设备运行效率显著进步,也提升了信号系统的安全与可靠性水平^[1]。

2.2 物联网技术在状态监测中的应用

该技术结合了传感器、通信技术及数据分析的组成部分,形成了智能化技术的新体系,近期已普遍融入多个产业实践,尤其是在铁路信号设备的状态监控领域展现出卓越性能,铁路运输安全与铁路信号设备的稳定操作紧密相依,传统设备维护与管理以人工巡检为基本手段,通常存在效率低下、反应滞后及易遗漏的缺陷,物联网技术借助无线传感器网络进行数据采集,实时采集监测点的数据流,数据传输至云端或本地服务器中心,设备状态监控技术实现了对人工巡检时间与空间边界的突破,技术实现了对设备状态的远程实时监控,提升了监控的时效性。

实施无线传感器在铁路信号设备关键区域的布置,实时采集铁路信号设备温度、湿度、压力和振动等多维数据的物联网监测体系,数据流经稳定的通信网络,汇聚至中央服务器,在服务器端层面,系统借助其卓越的数据处理与分析实力,系统对数据进行细致的挖掘,阐释并揭示设备故障及异常的潜在预兆,进而提升预警的精确性水平。本系统采用远程监控技术,对设备运行状态进行实时掌握,也可借鉴历史数据,对设备寿命周期进行预测性分析,实施既定维护与更换计划,减少由突发故障引起的潜在安全风险,物联网技术的引入显著优化了设备管理的精确性与快速响应水平,系统借助实时数据源,系统自动鉴定设备运行特性,进而依照既定标准执行自动化决策程序,降低对人工干预的依赖性依赖,增进决策流程的效率与精确性,该改进显著促进了资源利用效率的提升,有效降低了维修支出,有效增强了铁路信号设备的整体安全与可靠性水平^[2]。

2.3 大数据与人工智能在状态监测中的支持

铁路信号设备状态监测对大数据技术的采纳,采用先进的数据存储与处理体系,对历史运行数据实施深入挖掘,铁路信号设备长期作业历史,数据积累量大,采集温度、振动、压力等资讯,实施数据挖掘分析,实施数据资源的有效管控,开展数据挖掘,识别信号设备运行中的潜在风险及异常信号,历史数据走势挖掘,可对设备故障概率进行前瞻性分析,并识别运行中的关键根源,采用大数据分析,管理人员实现设备维护决策的科学化,进而降低故障频次,延长设备运行寿命阶段,降低非计划停机次数。

智能技术途径,尤其是基于机器学习的方法,对设备状态监测具有核心作用力,实时数据作为学习与预测的支撑,模型可识别设备的常规工作与异常模式,预感设备故障先兆,以设备当前运行状态为分析依据背景,对设备未来故障类型及时间进行预测,铁路系统实施智能故障预警机制,立即实施维护方案,防止因设备故障造成的安全事故及运营受阻,实施大数据与人工智能技术的整合,铁路信号设备监测的精度及智能化水平大幅提升,大幅增强设备维护的效率

与安全性。

3 铁路信号设备的故障预警技术

3.1 故障预警的基本原理

现代设备管理界说,故障预警技术占据核心,对设备状态进行实时监测与分析,维持设备高效运转,降低设备故障引起的生产停顿及财务损害,该技术依赖实时及历史设备数据集,实施先进数据挖掘技术,采用阈值设定、异常探测与模式识别等手段,对设备运行状态进行深度挖掘,设备状态呈现异常标志,越界预定值,系统执行既定报警程序,即时启动报警程序,需运维人员实施检查与应对。

故障预警系统的核心模块,依托设备历史与实时数据的综合分析手段,识别潜在故障苗头,重点捕捉故障早期微妙迹象,探讨设备振动、温度及压力波动现象,系统发现设备初期异常迹象,预估故障发生的具体时间点及空间区域,实施预防性维护程序,运维人员可预先应对,阻断故障扩散,也能对故障设备实施,即刻实施针对性修复,显著提升设备管理效能与安全水平,减少停工及维修成本开销^[3]。

3.2 基于机器学习的故障预测模型

故障预警技术进步与机器学习技术融合,尤其在铁路信号设备监控阶段,作为核心岗位,机器学习对设备历史数据实施训练分析,构建高精度故障预测模型,进而实施对设备运行状态的实时监控与预测,模型可从设备运行数据中挖掘潜在异常模式,采用持续的学习与优化途径,持续增强故障预测的精确性与响应速度。

通用机器学习模型族,诸如决策树、支持向量机(SVM)及神经网络等类别,均能彻底挖掘信号设备运行数据,进而对设备故障进行模式分类,采用决策树模型进行结构化,从设备历史数据中各因素变动趋势分析,识别故障早期迹象,据此实施预防性故障预防,SVM对数据实施高维空间投影,优化数据分割平面,实现分类与回归的优化分析,实现设备异常状态识别算法。尤其是深度学习模型,采用多层次非线性映射策略,应对设备运行数据的复杂结构,挖掘故障的深层逻辑,协同实施该算法集,准确识别与掌握设备运行模式,机器学习技术揭示其潜力,预估设备故障的种类及其潜在发生时间点,信号操作阶段点,实时监测数据揭示异常现象,预警系统迅速激活,指导维护人员实施修复行动,预防设备故障造成的安全风险及运营中断风险,显著提升了故障预警的精确性,有效增进设备管理效率,降低维护费用支出。

3.3 多层次故障预警机制的构建

追求故障预警系统的高准确度与快速响应水平,多级预警体系的实施极为关键,该机制采用分级预警阈值体系,对设备异常状况进行审查,实时优化预警层级,若设备运行数据突破常规检测阈值,系统初期运用既定预警阈值对异常状况进行初步判断,系统按预警级别向运维人员发布警示,预警等级细分为多个级别段,分为“初级预警”“中级预警”

及“高级预警”，预警等级与故障风险等级及处理时效性相匹配。

4 铁路信号设备监测与预警系统的集成应用

实现铁路信号设备状态监测与故障预警的有效应用，需要依赖于综合性的信息化系统。通过将各项技术进行集成，形成一个统一的监控平台，可以更加高效地管理铁路信号设备，提升整个铁路网络的安全性和运营效率。

4.1 综合监控平台的建设

综合监控平台是现代设备管理中不可或缺的关键系统，旨在将设备状态监测、故障预警、运维管理等多个功能进行高度集成。通过该平台，运维人员可以实现对所有设备的实时监控，随时查看各类设备的运行数据、健康状况以及可能存在的故障风险。系统会根据设备的实时数据和历史数据，自动进行故障预警，一旦检测到设备出现异常或故障的征兆，平台会迅速发出警报并通知相关人员，确保能够及时响应并采取措施，从而减少设备故障对运营的影响。

综合监控平台还具有远程控制和调度功能，运维人员可以通过平台直接对设备的运行状态进行调整，远程启动、停机或调度设备，从而避免了人员频繁到现场进行操作，极大提高了工作效率和响应速度。此外，平台还集成了各项运维管理功能，如设备的维修记录、历史故障数据、维护计划等信息，可以实时更新和共享。这种信息集成不仅提高了运维管理的精度，还加强了信息流转的效率，避免了信息孤岛和重复工作。通过综合监控平台的建设，不仅提升了系统的智能化水平，使得设备管理更加精细化、自动化，还有效整合了各项信息资源，优化了运维流程，降低了人工干预和管理成本，进一步提升了设备的安全性和可靠性。

4.2 云平台与大数据的结合

结合云计算与大数据技术，可以实现对信号设备运行状态的全面监控与分析，极大提高了设备管理的效率和可靠性。云计算平台能够实时接收设备在运行过程中产生的大量数据，并通过强大的计算能力对其进行高效存储与处理。云平台不仅能承载来自不同地点、不同系统的设备数据，还能

够通过高效的数据传输机制将这些数据汇聚到中心平台进行综合分析。这种技术架构能够帮助运营者全面了解设备运行状况，并及时发现潜在问题。

大数据技术在该系统中的应用，尤其是在数据挖掘与模式识别方面，起到了至关重要的作用。通过对历史数据的积累与分析，系统能够进行故障趋势预测，识别出潜在的设备故障或风险因素。例如，设备的温度、压力、运行速度等参数会持续被监测，数据的长期积累使得系统能够察觉到设备运行中的微小异常，通过趋势分析提前预警，防止设备故障或停机事件的发生。此外，跨地域和跨系统的多维度数据融合分析，使得各地的设备监控信息能够无缝对接，增强了数据的完整性与准确性。云平台的便捷数据共享功能极大地促进了不同地区、不同团队之间的协作。技术人员能够共享分析结果、实时数据和处理意见，从而加快了问题诊断与解决的速度，提高了处理的效率和精确度。这种集成化的技术支持为设备的维护、管理以及故障预防提供了强有力的技术保障，减少了人为疏漏和延误，提高了整体设备的可靠性和运行效率。

5 结语

铁路信号设备状态监测与故障预警技术构成保障铁路运输安全与运维效率的核心措施，得益于物联网、大数据及人工智能技术的持续进步浪潮，铁路信号设备管理迈向智能化、自动化新阶段，采用高效的状态监测与故障预警手段，实时监测设备运行轨迹，早期识别故障苗头，立即实施干预行动，降低故障对铁路运输的连锁冲击，技术进步与实施延伸，铁路信号设备运维管理将步入高效智能化的新阶段，对铁路安全与运营效率的提升具有重要意义。

参考文献

- [1] 王洪亮,刘可昌.铁路信号集中监测设备的综合校验台研究[J].科技资讯,2025,23(02):60-63.
- [2] 王海忠.铁路信号室内设备运行环境综合监测研究[J].铁道工程学报,2024,41(04):80-83.
- [3] 韩永君.重载铁路信号设备机房防雷接地监测系统方案研究[J].铁道建筑技术,2023,(04):170-173.

Quality Control and Security Confidentiality System for Digitalization of Archives

Hua Li

Natural Resources and Planning Bureau of Changyuan City, Changyuan, Henan, 453400, China

Abstract

Archives are important carriers of a country's cultural heritage and historical memory, and preserving and inheriting archives is of great significance for social development and cultural inheritance. In today's rapidly developing information technology, digitizing archives is a development trend. This system can not only greatly improve the efficiency of using literature, but also provide convenient references for users to extend the storage period of literature. However, in the process of digitizing electronic documents, ensuring the quality and security of files is a key issue. If the quality of these data is problematic, then these data cannot truly reflect their original appearance and there may be security risks. This article provides a comprehensive analysis of the quality control and security confidentiality system of archive digitization, hoping to provide suggestions or inspiration for relevant workers.

Keywords

digitalization of archives; Quality Control; Security and confidentiality system

档案数字化的质量控制与安全保密体系

李华

长垣市自然资源和规划局, 中国 · 河南 长垣 453400

摘 要

档案是一国文化遗产和历史记忆的重要载体, 保存和传承档案对于社会发展和文化传承具有重要意义。在信息化快速发展的今天, 对档案进行数字化是一种发展趋势。该系统不但可以大大地提升文献的使用效能, 而且可以方便地为使用者提供方便的参考从而达到延长文献保管年限的目的。但是, 在实现电子文档的数字化过程中, 如何保证文件的质量和安全性是一个关键问题。如果这些数据的品质有问题, 那么这些数据就不能真实地体现这些数据的本来面貌, 还会存在安全隐患。本文就档案数字化的质量控制与安全保密体系进行综合分析, 希望以此可以给广大相关工作者以建议或启发。

关键词

档案数字化; 质量控制; 安全保密体系

1 引言

针对目前随着时间的推移, 由于各种原因, 传统的纸质文件容易受到外界的影响而出现老化、破损等情况, 从而加大了文件档案遗失的风险。随着社会经济的发展, 社会对档案资料的使用越来越多, 而传统的检索方法由于其自身的局限性, 已不能很好地适应现代社会对信息的迅速获取。正是在这样的环境下, 才有了档案的数字化。通过对纸质文件进行数字化处理, 可以有效地缓解文件的保管困难, 增强文件的安全和稳定, 同时也可以通过互联网的方式进行方便地分享, 从而提高文件的使用效益。

2 档案数字化质量控制与安全保密的现状

随着大数据对信息的处理, 通过对大量文档资料的深入分析, 可以在杂乱无章的文档中提炼出有价值的内容。比如对公司的存档, 通过对大数据的分析, 可以准确地找到与行业发展方向有关的重要资讯, 帮助企业制订准确的发展策略。不仅如此, 云计算的发展, 可以建立一个高效率、低开销的文档数据储存和运营平台成为可能。它具有可伸缩的储存与运算资源, 可以随着档案资料的数量而进行灵活地调节, 在保证系统运作效率的同时, 不会造成任何资源的浪费。由于传统的档案管理, 面对海量的文件不但占据了珍贵的物理空间, 比如对于一个中等规模的公司来说, 长期积累下来的文件往往要租用一栋写字楼才能保存下来, 这就增加了企业的管理与维修费用。那么采用手工查阅的方法, 既费时又低效, 还存在一定的人为遗漏。就文件使用而言, 由于地域、时间等因素的影响, 使用者很难在所需的任何时候、任何地点都能方便地获得自己想要的文件资料, 这极大地阻碍了档

【作者简介】李华 (1980-), 女, 中国河南长垣人, 本科, 档案馆员, 从事档案信息收集研究。

案的价值。同时,各行各业都在加速进行数字化变革,不管是企业出于支持战略决策、保证合规运作,又或者是研究单位出于对知识的继承和创新发展的需要,都迫切需要对文档数据进行深入的发掘和广泛的共享^[1]。

其中腾讯是一个很好的例子,它的产业覆盖了社交,游戏,金融科技,数字内容等各个行业,并且表现出了快速增长和多样化发展的势头。在公司的成长历程中,各种文件,如合同,文档,邮件,工程文件等,都是公司的重要组成部分。根据权威的专家调查,腾讯网站一年增加了好几个亿的用户记录。面对这样的海量信息,若仍沿用传统的纸张文件管理模式,单就其所占的面积而言,就腾讯目前所拥有的办公面积而言,其所产生的纸张文件将会占用上千平方米的面积,这是一种极大的浪费。此外,文件查询的效率非常低,每一份文件的查询都需要几个小时或者几个星期,这一低下的工作效率已经成为公司内各个部门之间协同工作的瓶颈,妨碍了公司的正常运作,从而大大降低了公司的运作效率和决策的反应能力。腾讯在这一背景下,积极推进“数字档案馆”的发展,把它作为提高企业核心竞争能力的一项重大战略措施^[2]。

3 档案数字化的质量控制与安全保密体系构建

3.1 数字化前档案质量的控制与风险评估

在对电子文档进行数字化之前,要对其进行品质管理和风险评价,制定一套专业化和精细化的管理战略是非常必要的。根据不同的纸质材料,利用酸碱滴定法和脆度仪精确测定不同种类的纸质材料的酸碱性和脆性。比如,酸性纸在贮存过程中容易发生黄色和脆性的现象,因此,在 pH 值小于 6 的情况下,应进行适当的预处理。在此基础上,建立相应的分类方法,针对较易碎的造纸材料,将其进行脱酸强化,即使用二乙基锌等药剂与造纸原料中的酸作用,使其在造纸过程中的化学结构得到有效的改善。如果是重度脆裂的纸,在进行数字化处理之前,需要进行修补。损坏的文件修补验收程序一定要严格,使用修补前、修补后的对比记录表,通过影像解析软件对修补前和修补后的文件图片进行像素级别的比对,从而实现了对修补效果的定量评价。如果一份历史文件在修补之前损坏面积达到 20%,修补后减少到 5%,则判定通过^[3]。

针对特种载体的数字预处理技术标准对微型电影的制作提出了苛刻的标准,在微型电影中,需要使用专门的微型电影扫描仪,根据不同的银盐和染料的成像机理来调节扫描的参数,比如银盐电影,可以使用高分辨率、低噪点的扫描方式;蜡印利用 3D 扫描技术,建立一个完整的立体模型,精确地捕获了每一个细微之处。在选择数字器件时,对于扫描装置来说,需要有一个分辨率的动态调整规范。在文档文件中,300 dpi 的分辨率通常就能达到要求,图案型文件由于其线条和尺寸标注等详细信息,要求提高到 600 dpi 以上,

图片级文件为了减少颜色和细节,可以设定 1200 dpi。采用 ICC 模板创建颜色管理闭环体系,采用光谱仪标定扫描装置的颜色,对比标准颜色空间,产生 ICC 模板并进行校验,保证颜色还原精度。还可以利用密度仪测定其密度,并与参考值进行对比,在误差大于 ± 0.05 的情况下,进行仪器的维修和标定,保证仪器的正常工作,为高品质的档案数字化工作打下良好的基础。

3.2 数字化过程安全的控制链构建:物理环境、数据流加密

在建立数字文件的质量管理和安全保障系统中,对数字流程的安全监控环节是至关重要的。实体环境的安保系统采用三区两路的物理隔离方式,将预处理区、扫描区和存储区分隔开来,阻止非许可的人与装置自由出入,避免了可能出现的安全风险。以一家大型企业的电子文档管理系统为例,应用本系统后,系统的安全性事故发生率下降 80% 以上。通过人脸识别和指纹识别等高精度的人脸识别,实现了对进出的严格控制,准确率在 0.01% 以下。另外,该跟踪技术还可以将行人的运动轨迹全部记录下来,为以后的跟踪提供了方便。通过对 USB 接口的白名单控制,只有在白名单上的 USB 设备才能访问,才能保护硬件和软件的安全。

对网络中的数据流进行加密传送是网络的一个关键步骤。热点文件夹的自动密码传送是基于 AES-256 的即时密码算法,它是当前业内公认的一种高密度密码,能够在传送过程中实现对 256 个比特密钥的即时加密,非常难以通过蛮力破解。针对这一问题,本项目拟采用基于时间标记和操作者 ID 的隐藏性方法,在不破坏用户隐私的前提下,实现对用户隐私的有效保护。例如,在一个电子政务文档的电子文档中,就出现了一次信息泄露的情况,并利用该方法对用户进行源数据水印的定位。采用 CRC32 检验代码的断点续传检验机构,实现了在数据传送中断后,对已经传送的与要传送的数据进行检测,以保证数据的完整性。CRC32 检验代码能够对数据传递过程中出现的差错进行检测,差错检测率达到 99.99%^[4]。

3.3 后处理质量检测体系,数字化成果的三级检验与安全审计

在电子文档数字化后的质量检验系统中,以“三级”为中心,对其进行质量控制。利用先进的图像倾斜、黑边和噪声自动检测方法,为电子文档的数字化工作奠定了基础。以霍夫变换为例子,利用笛卡尔坐标与 Hough 空间之间的关系,利用霍夫空间中的波峰探测信息,实现对影像倾角的精确辨识。在实践中,通过对多个样品的实验表明,所提出的方法可以使测量结果的精度保持在 ± 0.5 摄氏度以内,从而保证了图像的垂直度和清晰度。利用传统 Canny 算子等边界探测算子,对图像进行平滑处理、梯度幅度和方向计算、非最大值压制边界、双门限识别和连通边界,从而使图像中的黑色边界保持在 1 个像素以下,防止黑色边界对文件的

显示产生影响。采用高斯滤波器和小波分析相结合的方法,以减少高频噪声的干扰,可以保证像素的浓度小于 0.01 个/cm,从而提高成像的分辨率。

手工复验实行双盲法抽样,对抽样的样品进行仔细检验。根据统计原则,选取了 500 个样品作为研究对象,在满足测试速度的前提下,确保测试的精度。根据抽样结果,将各种疵病进行了分类和统计,包括图像模糊、文字变形和内容缺失等几种常用的疵病类型。根据图像的灰度信息及边界清楚指数对图像进行定量评价,汉字变形是由汉字辨识算法的精度起伏和汉字特性的改变来判定的,其中“专家终检”采用像 X-Riti1Pro 等颜色还原性的专业评定仪器,按照 CIELAB 的颜色空间规范进行工作。CIELAB 彩色空间是一个统一的彩色空间,它可以更精确地刻画人类对彩色图像的感受。X-Riti1Pro 型光学仪器,将样品的光谱反射率测定后,转化成 CIELAB 颜色空间上的坐标,并与标准色数值进行比较,使颜色偏差小于 2,保证了文件影像的颜色与原件文件的颜色保持高度的一致性。

3.4 安全生命周期的安全防护,储存介质与访问控制模型

在整个数字档案的整个寿命过程中,储存媒体的安全性是保障其安全性的基础。三个拷贝的脱机战略,利用异构媒体相结合的方法,构筑了一道强有力的备份防御体系。由于磁盘具有快速的读写速度和方便的存取数据的特点,可以完成对数据的多次复制的存储工作,特别是 LTO 型带,由于其高容量、低廉的存贮费用,已被广泛应用于大容量信息的存贮中。以 LTO-8 为例,其单片可达到 12 TB 的容量,在大型文件的数字化储存领域具有明显的优越性。LTO (一写多读) 带的 WORM 将硬件级的写保护和与之相匹配的软件的固定逻辑相结合,只要记录下来,就不能用一般方法更改,从根本上避免了对文件的恶意篡改,保证了文件的原始与真实。在储存媒体即将被淘汰的情况下,必须有一套严谨的退磁检验程序。利用高斯计精确探测介质残余磁场,根据国家磁记录媒体的严苛国家标准,要求其在退役后残余场强小于 320 A/m。达到这个要求,可以保证由于电磁干扰导致的退役媒体资料不能被还原,防止由于传输媒体而引起的信息泄露,从而保证文件的安全^[9]。

针对动态访问控制是文档数据存取的保卫者,通过对用户、资源和环境的多维特性进行深入分析,实现动态精准

的权限管理。其中,使用者的特性包含了部门归属、职位等级、安全等级等重要的资讯,而资源的特性包含了档案的机密程度、所属类别等重要的元素。例如,在一家大型企业中,根据其所在的行业特性,该公司的工作人员可以根据其岗位职权与资源类型的匹配情况,在工作期间,由该系统对该部门的有关研发文件进行存取,但是在非上班或在外地存取时,该软件会根据不同的情况,启动附加的审核程序,以保证数据存取的安全性。该算法利用了传统的规则对特定的内容进行快速的特征匹配,从而可以对特定的内容进行有效地调整。可以对档案读取者的身份证号码进行精确的识别,该方法在保障企业运行过程中对数据的形式及局部信息的要求的同时,也能巧妙地掩盖用户的隐私。通过对不同类型的数据进行长时间的监控和分析,建立符合使用者日常使用习惯的行为基准,从而为整个档案的整个寿命周期提供一张严格的安全网。

4 结语

为了保证档案信息的完整性、可靠性和安全性,必须建立起一套完整的档案管理系统。在品质管理上,从数据收集的初期,到中间的后期品质检验,每一个步骤都是环环相扣,以保证数据的准确性和适用性。在安全与保密系统中,从存储媒体的管理、访问控制到运行过程的监控等方面,建立起一道完整的安全防线。这两个系统是相互补充的,在对电子文档进行数字化之前,要对其进行品质管理和风险评估,制定一套专业化和精细化的管理战略是非常必要的,并且数字化过程安全的控制链构建:物理环境、数据流加密,后处理质量检测体系,数字化成果的三级检验与安全审计更可以保证档案的质量。

参考文献

- [1] 欧阳盛麟. 纸质档案数字化加工管理存在的风险及防范对策[J]. 参考, 2025, (06): 113-115.
- [2] 邹新根. 档案数字化进程中的纸质材料保护策略创新[J]. 造纸信息, 2024, (11): 130-132.
- [3] 何畏, 左词平. 传统载体声像档案数字化关键技术运用和质量控制体系研究[J]. 中国档案, 2024, (08): 64-65.
- [4] 郭永强. 纸质档案数字化加工管理存在的风险和防范对策[J]. 华东纸业, 2024, 54 (08): 84-86.
- [5] 安美娥. 浅谈乡镇档案数字化扫描质量控制——以曹县曹城街道办事处为例[J]. 办公室业务, 2024, (15): 151-153.

Optimal design of low power embedded system driven by digital electronic technology

Jian Lin

Taishan University of Science and Technology, Tai'an, Shandong, 271000, China

Abstract

With the rapid development of intelligent hardware and the Internet of Things, low-power embedded systems play an increasingly important role in many application fields, such as mobile devices, sensor networks, smart homes, etc. As the core technology of embedded system, digital electronic technology promotes its continuous progress. However, how to further reduce power consumption while ensuring system performance has become one of the key challenges in designing and implementing embedded systems. This paper discusses the optimal design method of low power embedded system driven by digital electronic technology, analyzes the main factors affecting the power consumption of embedded system, and puts forward a series of targeted optimization strategies, including hardware optimization, software optimization, power management technology and collaborative design method. The effectiveness of these optimization methods in different application scenarios is verified by example analysis. Research shows that low power optimization design can not only significantly extend the service life of embedded systems, but also improve the energy efficiency of the system to meet the increasingly demanding application requirements.

Keywords

low power consumption; Embedded system; Digital electronic technology; Optimization design

数字电子技术驱动下的低功耗嵌入式系统优化设计

林健

泰山科技学院, 中国 · 山东 泰安 271000

摘 要

随着智能硬件和物联网的飞速发展, 低功耗嵌入式系统在许多应用领域, 如移动设备、传感器网络、智能家居等, 发挥着越来越重要的作用。数字电子技术作为嵌入式系统的核心技术, 推动了其不断进步。然而, 如何在保证系统性能的同时, 进一步降低功耗, 成为设计和实现嵌入式系统的关键挑战之一。本文探讨了数字电子技术驱动下的低功耗嵌入式系统的优化设计方法, 分析了影响嵌入式系统功耗的主要因素, 并提出了一系列针对性的优化策略, 包括硬件优化、软件优化、功耗管理技术以及协同设计方法。通过实例分析, 验证了这些优化方法在不同应用场景中的有效性。研究表明, 低功耗优化设计不仅能够显著延长嵌入式系统的使用寿命, 还能提升系统的能源效率, 满足日益严苛的应用需求。

关键词

低功耗; 嵌入式系统; 数字电子技术; 优化设计

1 引言

嵌入式系统作为现代电子技术的基础组成部分, 已经广泛应用于工业控制、通信、汽车电子、家电、医疗健康等多个领域。随着移动设备的普及和物联网技术的发展, 嵌入式系统的需求呈现出多样化和高效能的趋势。特别是在需要长时间独立运行的设备(如便携式设备、无线传感器网络等)中, 低功耗嵌入式系统的设计成为一个至关重要的问题。

传统嵌入式系统的设计侧重于提高处理能力和计算性能, 而对功耗的考虑相对较少。然而, 在实际应用中, 尤其是在电池供电的设备中, 系统功耗直接影响设备的使用寿命和稳定性。因此, 如何在保证系统性能的同时, 最大限度地降低功耗, 成为当前嵌入式系统设计的主要挑战。

随着数字电子技术的不断发展, 特别是集成电路、微处理器和存储器技术的创新, 为低功耗嵌入式系统的设计提供了更为丰富的手段。近年来, 低功耗设计技术逐步引入到嵌入式系统的设计流程中, 推动了该领域的进步。本文旨在探讨数字电子技术驱动下的低功耗嵌入式系统优化设计方法, 分析其不同应用中的实际表现, 为嵌入式系统的功耗优化提供理论支持与实践指导。

【基金项目】泰山科技学院 2023 年度校级一流本科专业“电子信息工程”。

【作者简介】林健(1989-), 男, 中国山东泰安人, 硕士, 工程师, 从事电子信息工程研究。

2 嵌入式系统低功耗设计的基础

2.1 低功耗嵌入式系统的定义与发展背景

嵌入式系统是专为特定任务而设计的计算机系统，其特点是硬件和软件紧密结合，资源有限。随着信息技术的进步和嵌入式系统应用的扩展，低功耗已成为嵌入式系统设计的重要目标之一。低功耗嵌入式系统不仅能有效延长电池寿命，还能减少能量消耗，降低系统运行成本，特别适用于物联网、便携设备、智能传感器等领域。

低功耗设计在嵌入式系统中涉及多个方面，包括硬件层面的优化、软件层面的优化以及系统整体功耗的管理。随着集成电路技术的进步，数字电子技术使得功耗优化设计在嵌入式系统中变得越来越可行。目前，低功耗技术的发展主要集中在降低静态功耗和动态功耗两个方面，前者主要通过降低集成电路的漏电流来实现，后者则通过优化计算、存储、通信等模块的功耗来实现。

随着物联网和智能设备的普及，低功耗嵌入式系统在未来的应用前景将更加广泛。因此，低功耗嵌入式系统的优化设计成为嵌入式系统开发中的核心问题之一。

2.2 嵌入式系统功耗的主要来源

嵌入式系统的功耗主要来源于硬件和软件两个方面。硬件功耗主要包括以下几个部分：

静态功耗：静态功耗是由于集成电路（IC）中的漏电流和静态电流引起的。随着技术的进步，集成电路的制造工艺逐渐小型化，静态功耗逐渐成为功耗的主要来源之一。

动态功耗：动态功耗来源于电路的开关活动，特别是在计算和数据传输过程中，电路的状态变化会导致电流的波动。动态功耗随着操作频率的提高而增加，因此，优化计算频率和减少冗余计算是降低动态功耗的重要手段。

内存和存储器功耗：内存和存储器在数据读取和写入过程中会消耗较多的功率。选择低功耗内存技术和优化内存访问策略，可以有效降低这部分功耗。

通信模块功耗：在嵌入式系统中，通信模块（如 Wi-Fi、蓝牙、Zigbee 等）的工作功耗通常较大。通过优化通信协议、降低数据传输频率以及采用低功耗通信技术，可以有效减少通信模块的功耗。

软件层面的功耗主要与代码执行效率、资源分配和调度策略相关。通过优化算法、减少不必要的计算和内存访问，可以显著降低系统的整体功耗。

3 低功耗嵌入式系统的硬件优化设计

3.1 硬件架构优化

硬件架构的设计直接影响嵌入式系统的功耗表现。传统的嵌入式系统往往采用单一的硬件架构，而低功耗嵌入式系统则需要根据实际需求，选择适合的硬件组件，并对其进行精细化优化。例如，在选择处理器时，可以选择低功耗的微控制器（MCU）或处理器，这些处理器通常具有较低的

静态功耗和动态功耗。此外，现代嵌入式系统还可以采用低功耗芯片和模块，如超低功耗无线通信模块（如 Bluetooth Low Energy、Zigbee 等）和低功耗存储器，以进一步减少系统的能量消耗。

另外，硬件的多核处理架构也是一种有效的优化手段。在嵌入式系统中，采用多核处理器可以根据任务的复杂度动态分配工作负载，低负载时将部分核心关闭，减少无效的功耗消耗。多核架构能够在保证系统性能的前提下，通过灵活的功耗管理策略，实现低功耗运行。

3.2 低功耗电源管理

电源管理是低功耗嵌入式系统设计中的关键部分。通过智能电源管理技术，可以有效控制系统各部分的功耗，优化电池使用效率。常见的低功耗电源管理技术包括：

动态电压频率调整（DVFS）：该技术可以根据系统的工作负载动态调整电压和频率，从而实现功耗的动态控制。当系统负载较轻时，可以降低工作频率和电压，从而减少功耗。

休眠模式和待机模式：大部分嵌入式系统在不活动时可以进入低功耗休眠模式，暂停大部分功能，只保持最基本的系统功能，以节省电力。根据应用需求，还可以设计不同的休眠模式，以便在不同场景下灵活调整功耗。

能量回收技术：能量回收技术通过回收系统在工作过程中产生的余热或机械能，将其转化为电能，并存储在电池或超级电容器中，为系统提供额外的电能支持。

3.3 功耗敏感硬件设计

为了进一步降低功耗，嵌入式系统的硬件设计应当考虑功耗敏感因素。例如，设计中要考虑电路的时序优化和资源共享，以减少不必要的功耗。针对存储器的优化设计，如采用低功耗 RAM、缓存优化等，能够有效减少内存模块的功耗。此外，处理器与外设之间的数据传输也应当进行优化，避免无效数据传输的频繁操作，降低通信模块的功耗。

4 低功耗嵌入式系统的软件优化设计

4.1 优化算法设计

软件层面的优化是降低嵌入式系统功耗的重要手段之一。嵌入式系统通常运行在资源受限的环境下，如何提高计算效率并减少不必要的功耗，是提升系统性能和延长电池寿命的关键。通过优化算法设计，可以有效降低系统的计算复杂度，减少内存访问频率，进而减少功耗，尤其在运行长时间维持低功耗状态时，这一策略尤为重要。

常见的优化方法包括：

算法简化：对于嵌入式系统中的运算密集型任务，尤其是在实时数据处理或传感器数据采集时，优化算法的复杂度至关重要。通过采用更为简化的计算方法或替代算法，可以显著减少不必要的计算量。例如，采用快速傅里叶变换（FFT）等高效算法替代传统的复杂计算方法，或者通过采

样和插值等方式,简化数据处理过程。减少不必要的计算能够有效降低CPU和内存的负载,从而减少整体系统的功耗。

动态调度算法:通过动态调度算法来控制任务的执行顺序和优先级,可以根据系统当前的负载情况动态调整计算资源的分配。动态调度不仅可以平衡系统负载,还能确保在低功耗模式下,任务能够按时高效执行。例如,采用优先级调度和轮转调度等策略,在任务空闲时使处理器进入低功耗状态,避免因空闲期过长而浪费能量。此外,基于负载的动态调整也有助于降低空闲时的功耗,尤其在需要实时反应的嵌入式应用中,动态调度是确保系统高效和节能的关键。

缓存优化:在嵌入式系统中,内存的功耗占据了系统总功耗的较大比例,尤其是对于频繁进行数据读取和写入的系统。缓存优化策略通过减少缓存未命中的次数,可以显著降低内存访问的功耗。通过对缓存行的优化配置、适当调整缓存大小及缓存替换策略(如LRU、FIFO等),可以最大化缓存的有效使用,减少对主存储器的访问次数,进一步降低功耗。此外,优化算法的局部性原理(如时间局部性和空间局部性)能够使数据在缓存中的命中率更高,从而减少访问延迟和功耗。

通过这些算法优化策略,不仅能够有效提高系统的执行效率,还能够降低功耗,延长系统的使用寿命,特别是在移动设备、智能传感器等需要长时间电池支持的场合,优化算法设计将是实现低功耗嵌入式系统的基础。

4.2 低功耗操作系统

低功耗操作系统是实现低功耗嵌入式系统的关键组成部分。操作系统需要针对嵌入式系统的特性,支持多种电源管理机制和资源调度策略,最大限度地降低系统功耗。低功耗操作系统不仅要支持高效的任务调度和资源管理,还需要通过智能管理系统的各个模块,保证系统在低负载情况下能够有效进入低功耗状态。

低功耗操作系统通常具有以下特点:

支持多种低功耗模式:现代低功耗嵌入式操作系统需要支持多种低功耗模式,以便根据不同的系统状态和工作负载选择最合适的模式。这些模式包括休眠模式、待机模式、深度睡眠模式等。在工作负载较轻或系统空闲时,操作系统能够将处理器、外设和其他关键模块置于低功耗状态,从而节省能量。例如,在传感器节点中,当数据传输不活跃时,系统可以进入休眠模式,暂停大部分的计算任务和传感器读取,降低不必要的功耗。

任务调度与资源管理:操作系统需要具备灵活的任务

调度机制,根据系统的工作负载动态调整任务的执行顺序和优先级。良好的任务调度能够使得系统在资源使用最优化的同时,保持最低的功耗。在资源管理上,操作系统可以根据任务的重要性和紧急性调整分配策略,确保高优先级任务的即时执行,而低优先级任务则可以在低功耗模式下延迟执行。此外,操作系统还需要通过智能内存管理、进程调度和多任务处理等技术,降低内存和处理器的功耗。

实时性与低功耗兼得:尽管低功耗操作系统的目标是减少功耗,但它同样需要保障系统的实时性要求。在某些应用场景中,嵌入式系统必须在严格的时间约束下执行任务。低功耗操作系统通过精确的时间管理和优化调度策略,确保在实时性和低功耗之间找到平衡。例如,在工业控制和医疗设备中,系统可能需要在规定时间内完成数据处理和控制指令,而操作系统则需要确保在任务调度中不影响系统的实时响应性能。

通过实现这些低功耗模式和调度策略,低功耗操作系统能够确保系统在完成任务的同时,最大程度地减少能量消耗。在物联网设备、智能家居等应用中,低功耗操作系统的引入使得这些设备能够长时间独立工作,降低了维护成本并提升了用户体验。

5 结语

随着嵌入式系统的广泛应用,低功耗设计成为系统设计中的核心需求。数字电子技术的进步,为低功耗嵌入式系统的优化设计提供了丰富的技术手段,特别是在硬件优化、软件优化和功耗管理领域。本文分析了低功耗嵌入式系统的硬件和软件优化设计方法,提出了通过优化算法、改进操作系统以及灵活的资源管理来降低系统功耗的策略。这些优化方案不仅能提高系统性能,还能有效延长电池寿命,满足嵌入式系统日益增长的低功耗需求。随着技术的不断进步,未来的低功耗嵌入式系统将在智能设备、物联网等领域发挥更大的作用,推动这些行业的持续创新与发展。

参考文献

- [1] 彭少熙,孙政顺,杜继宏.家庭网络中的嵌入式Internet方案[J].电子技术应用,2001,(10):47-50.
- [2] 王锐.基于CAN总线的嵌入式测控系统的研究[D].西华大学,2007.
- [3] 周黄鹤.可重构嵌入式虚拟仪器的设计方法研究[D].武汉科技大学,2009.
- [4] 和亮.嵌入式远程视频监控系统的设计与实现[D].西安电子科技大学,2009.

Blockchain-Based Traceability System Architecture for Food Safety Supply Chains

Zengguang Sun Yuntao Zhao Xiaobo Kong

Henan Province Market Regulatory Bureau Food Safety and Emergency Support Center, Zhengzhou, Henan, 462599, China

Abstract

Aiming at issues such as data silos and lack of trust mechanisms in traditional food safety traceability systems, this paper proposes a four-layer architecture system integrating blockchain and IoT. Through collaborative designs of multimodal data collection at the access layer, hybrid storage at the data layer, smart contract processing at the logic layer, and dual-end interaction at the presentation layer, the system achieves tamper-proof storage and efficient traceability of end-to-end data. Experiments show that the system significantly outperforms traditional solutions in metrics such as data integrity (99.98%), throughput (1,200 TPS), and query response time (180 ms). The innovations of this paper include: (1) a hybrid blockchain architecture based on SM cryptographic algorithms; (2) a dynamically scalable consortium blockchain node management mechanism; (3) smart contract validation rules supporting multisource data fusion. The research results provide a technical reference for digital supervision of food safety.

Keywords

Food safety; Blockchain; System architecture

基于区块链技术的食品安全供应链追溯系统架构设计

孙增光 赵运涛 孔晓博

河南省市场监管局食品安全和应急保障中心，中国·河南 郑州 462599

摘要

针对传统食品安全追溯系统存在的数据孤岛、信任机制缺失等问题，本文提出一种融合区块链与物联网的四层架构系统。通过接入层多模态数据采集、数据层混合存储、逻辑层智能合约处理和表示层双端交互的协同设计，实现全链条数据的不可篡改存储与高效追溯。实验表明，系统在数据完整性（99.98%）、吞吐量（1200TPS）和查询响应时间（180ms）等指标上显著优于传统方案。本文创新点包括：（1）基于国密算法的混合链架构；（2）支持动态扩展的联盟链节点管理机制；（3）多源数据融合的智能合约验证规则。研究结果为食品安全数字化监管提供了技术参考。

关键词

食品安全；区块链；系统架构

1 引言

1.1 研究背景与意义

食品安全问题已成为全球公共卫生领域的重大挑战。据 WHO 统计，2023 年全球食源性疾病负担达 3.3 万亿美元，相当于全球 GDP 的 3.4%（WHO, 2024）。中国作为食品生产消费大国，2023 年市场监管总局通报不合格食品 12.6 万批次，同比增长 18.7%（国家市场监管总局，2024）。传统追溯系统依赖中心化数据库，存在数据易篡改（篡改成本 < 0.5 万元/次）、跨组织协作效率低（平均协同时间 3.2 天）等痛点（Gartner, 2023）。

【基金项目】食品安全供应链管理标准化与数字化研究（项目编号：23sp02）。

【作者简介】孙增光（1971-），男，中国河南淮滨人，本科，高级工程师，从事食品安全管理研究。

区块链技术凭借去中心化、不可篡改、智能合约等特性，为解决上述问题提供了新思路。据 Grand View Research 预测，2025 年全球食品供应链区块链市场规模将达 38 亿美元，年复合增长率 32.1%。然而，现有研究多聚焦单一环节应用，缺乏系统性架构设计，导致实际部署中出现性能瓶颈（如 Hyperledger Fabric 在 100 节点下吞吐量下降 40%）、合规性不足（数据隐私泄露风险等级达 L4）等问题（IBM, 2024）。

1.2 研究目标与创新点

1.2.1 研究目标与系统价值

本研究致力于构建具备高扩展性、高安全性和强合规性的食品安全追溯系统架构，旨在实现三大核心目标：首先，通过区块链分布式账本技术，确保从农田到餐桌的全链条数据不可篡改存储，哈希值校验准确率达 99.98%；其次，通过联盟链协作机制，将跨组织数据同步效率提升 50% 以上，使多方协同处理时间从平均 3.2 天缩短至 1.5 天；最后，采用国密算法与隐私保护技术，实现数据加密强度达到 AES-

256 标准,满足 GDPR 对个人数据和商业机密的合规要求。该系统架构不仅能够应对当前食品安全监管的痛点,还为食品产业数字化转型提供技术底座,预计可降低企业质量管控成本 28%,缩短问题产品召回周期 40%。

1.2.2 创新架构与技术突破

本研究提出的创新架构包含三项关键突破:其一,构建分层混合链体系,联盟链层采用 Hyperledger Fabric 处理公共追溯数据,私有链层基于国密算法(SM9)加密存储企业核心数据,通过跨链通信协议实现双链协同,在保障数据隐私的同时提升共享效率;其二,设计基于 RBAC 的动态节点管理机制,支持供应链节点的动态加入/退出,通过智能合约自动执行节点准入审批,将扩展时间从 200ms 优化至 80ms,系统节点规模可线性扩展至 10 万+;其三,开发多模态数据融合引擎,支持物联网设备(如温湿度传感器、RFID)、人工录入(如质检报告)等多源数据的统一封装与验证,采用 JSON Schema 标准化数据格式,确保不同来源数据的互操作性。实验表明,该引擎可处理 200+ 种数据类型,数据解析准确率达 99.7%,为实现全链条追溯提供技术支撑。

2 国内外研究现状

2.1 国际进展

近年来,全球多国在食品安全区块链领域取得显著突破。IBM Food Trust (2024) 通过部署 532 个节点覆盖 17 个国家,成功将芒果供应链追溯时间缩短至 2.8 秒,其基于 Hyperledger Fabric 的架构实现了跨企业数据的实时同步。欧盟委员会(2024)主导的 Blockchain4Food 项目开发了跨链互操作协议,支持 27 国监管数据共享,数据同步延迟控制在 500ms 以内,为跨境食品安全监管提供了技术范例。美国 FDA (2023) 在三文鱼供应链试点中应用区块链技术,使问题产品召回效率提升 67%,验证了区块链在应急响应中的价值。这些实践表明,区块链技术已成为提升全球食品供应链透明度的关键工具(Stornetta & Haber, 1990; Nakamoto, 2008)。

2.2 国内实践

我国企业在区块链溯源领域形成特色解决方案。京东(2024)的链上农场项目覆盖 200 个品类,通过优化共识算法将数据上链效率提升 40%,日均消费者扫码查询量突破 50 万次。阿里巴巴(2023)基于蚂蚁链构建的进口奶粉溯源系统实现 100% 数据篡改检测准确率,结合国密算法保障数据安全。腾讯(2024)至信链平台已构建 10 万+ 节点联盟链,支持乳制品企业批次管理,降低成本 28%。这些成果验证了区块链在提升供应链协同效率与数据可信度方面的潜力(Zhou & Yao, 2019; Xu, 2018)。

2.3 技术挑战

当前技术瓶颈主要体现在三方面:其一,异构区块链平台间的跨链兼容性不足,如 Hyperledger Fabric 与 Ethereum 跨链延迟达 3.2 秒(Buterin, 2014),导致数据孤岛问题凸显(IBM, 2024);其二,公有链性能难以支撑高频交易需求,比特币(7TPS)和以太坊(30TPS)的吞吐量远低于中心化系统(徐明星, 2018);其三,敏感数据上链存在合规风险,GDPR 要求导致企业隐私保护成本增加 35%

(欧盟委员会, 2024)。部分学者提出通过分层混合链架构(如联盟链+私有链)和国密算法(SM9)应对上述挑战(中国信通院, 2020; 姚前, 2019)。

3 系统架构设计

3.1 四层架构模型

3.1.1 接入层

数据采集终端:采用 Flutter 框架开发跨平台移动应用,集成 ZXing 库实现二维码扫描(扫码成功率 99.7%);支持 RFID、温湿度传感器等设备直连,通过边缘计算预处理数据(数据压缩率达 85%)。

数据格式标准化:采用 JSON Schema 定义数据结构,支持多源数据统一封装(示例见附录 A)。

3.1.2 数据管理层

混合存储方案:区块链存储:以太坊联盟链存储关键数据哈希值(哈希生成时间 < 50ms);关系型数据库:MySQL 存储原始数据,通过索引与链上哈希关联(索引查询时间 < 20ms)。

默克尔树验证:将批次数据哈希值构建默克尔树,实现快速完整性校验(校验时间 < 100ms)。

3.1.3 业务逻辑层

智能合约开发:采用 Solidity 语言编写合约,实现数据上链规则(如时间戳验证、地理位置约束);部署在联盟链节点,通过事件机制触发数据同步(事件响应时间 < 80ms)。

API 服务:提供 RESTful 接口供外部系统调用,支持数据查询、权限管理等功能(接口响应时间 < 150ms)。

3.1.4 表示层

双端交互界面:

B 端管理平台:React.js + Ant Design 构建,支持数据录入、查询、统计功能;

C 端查询系统:微信小程序实现扫码溯源,支持可视化展示(页面加载时间 < 300ms)。

3.2 数据流动与安全机制

3.2.1 数据上链流程

①生产端通过 App 录入数据,生成唯一 ID(UUIDv4);②数据经 SHA-256 哈希后与时间戳、地理位置绑定;③调用智能合约将哈希值写入区块链;④原始数据加密存储至数据库,索引与链上交易 ID 关联。

3.2.2 安全机制设计

国密算法应用:SM2 加密数据传输(密钥长度 256 位);SM3 生成哈希值(哈希冲突概率 < 10^{-36})。

权限管理体系:基于 RBAC 模型,划分生产者、监管者、消费者三级权限;权限验证时间 < 30ms。

审计追踪:所有链上操作记录不可篡改,支持监管部门审计(审计响应时间 < 500ms)。

4 开发环境与实现

4.1 区块链平台配置

节点部署:10 个组织节点,每个节点配置 8 核 CPU、

16GB 内存、500GB SSD；采用 Hyperledger Fabric v2.4，共识算法 PBFT。

智能合约部署：Go 语言编写链码，通过 Fabric SDK 调用；合约部署时间 < 200ms。

4.2 技术栈组合方案

表 1

层	技术选择	优势
前端开发	React.js + Ant Design	组件化开发，响应式设计
移动端开发	Flutter	跨平台支持，高性能渲染
后端开发	Node.js + Express	异步非阻塞 I/O，高并发处理
数据库	MySQL + Redis	关系型存储与高速缓存结合

4.3 性能优化策略

①分片技术：将交易划分为不同分片并行处理，吞吐量提升 40%；②缓存机制：Redis 缓存高频查询数据，查询响应时间降低 35%；③异步处理：非关键操作（如日志记录）采用 Kafka 异步执行，系统负载降低 25%。

5 实验与结果分析

5.1 实验设计

5.1.1 测试环境

硬件配置：Intel Xeon Silver 4214（12 核），32GB DDR4，1TB NVMe SSD；软件配置：Ubuntu 20.04 LTS，Docker 20.10，Hyperledger Fabric v2.4。

5.1.2 测试指标

数据完整性：连续 10 万次交易无哈希碰撞；系统吞吐量：每秒处理交易数（TPS）；查询响应时间：从请求发送到结果返回的时间；资源利用率：CPU、内存、磁盘 I/O 占用率。

5.1.3 测试用例

单节点压力测试：逐步增加并发用户数（100-1000）；多节点扩展测试：节点数从 5 增加到 20；混合负载测试：模拟生产、流通、消费全流程操作。

5.2 结果与分析

5.2.1 技术架构与边缘计算融合

未来研究可从技术架构优化与边缘计算集成两个维度展开。在架构层面，需构建分层混合链体系，通过跨链通信协议（如 Polkadot 的 XCMP 或 Cosmos 的 IBC）实现联盟链与私有链的高效协作。联盟链可承载公共追溯数据，利用 Hyperledger Fabric 的通道隔离机制保障企业敏感信息；私有链则采用国密算法（SM9）对生产配方、工艺参数等核心数据进行加密存储。这种架构不仅能满足监管部门的透明性需求，还可通过共识算法优化（如 PBFT 变种）将跨链交易延迟控制在 500ms 以内。在边缘计算领域，需开发支持 LPWAN 协议的轻量级区块链节点，部署于物联网设备端（如冷链运输车、智能货架），通过设计改良型 DPoS 共识算法，将数据预处理与上链时延缩短至 200ms。实验表明，边缘节点可降低 30% 的中心服务器负载，提升系统实时响应能力。

5.2.2 AI 驱动的风险预警与标准化建设

智能预警系统的构建将依托联邦学习与迁移学习技术。

通过采集养殖、加工、流通环节的多模态数据（如温湿度传感器数据、质检报告文本），结合 LSTM 与随机森林算法建立动态风险评估模型。该模型可预测食源性疾病爆发概率（准确率 ≥85%），并通过知识图谱技术定位污染源。例如，在乳制品供应链中，AI 模型可通过分析奶源地天气数据、运输路径温度曲线，提前 72 小时预警沙门氏菌污染风险。与此同时，需推动建立区块链食品安全追溯国际标准（ISO/TC 34/SC 17），制定统一的数据格式（如 JSON-LD 扩展）与接口规范（RESTful API）。建议采用开放 API 平台（如 Swagger Hub）实现跨链数据交互，降低企业接入成本。目前，我国已主导制定《区块链食品追溯数据格式》团体标准，未来需进一步推动与欧盟、美国的标准互认。

5.3 对比实验

与传统中心化系统（MySQL）和主流区块链方案（Hyperledger Fabric 默认配置）对比：

表 2

指标	本文方案	Hyperledger Fabric	MySQL
数据完整性	99.98%	99.95%	95.2%
吞吐量 (TPS)	1200	900	500
查询响应时间	180ms	220ms	450ms
资源利用率	65%	78%	82%

6 结论与展望

6.1 研究结论

本文提出的四层架构系统在数据完整性、系统性能和安全性方面均达到行业领先水平。通过混合链架构设计，有效解决了传统追溯系统的数据孤岛和信任问题；智能合约自动化验证机制提升了数据上链效率；多源数据融合方案支持复杂供应链场景。

6.2 未来展望

未来研究可从以下方向深化：在技术架构层面，通过跨链通信协议实现联盟链与私有链的高效协作，构建分层混合链体系以提升数据共享效率与隐私保护能力；在物联网设备端集成轻量级区块链节点，结合边缘计算技术实现数据预处理与实时上链，进一步降低传输延迟并提升系统响应速度；引入机器学习算法构建食品安全风险预警模型，通过分析历史数据与实时采集信息实现风险的智能识别与预测；同时积极推动行业数据格式标准化与接口规范制定，促进不同平台间的互操作性，为区块链技术在食品安全领域的规模化应用奠定基础。

参考文献

- [1] WHO. (2024). Global Food Safety and Security Report.
- [2] IBM. (2024). Food Trust Annual Technical Whitepaper.
- [3] Sun, Y., et al. (2024). Blockchain-Based Traceability for Livestock Farming. Journal of Food Science and Technology, 61(3), 1234-1245.
- [4] Gartner. (2023). Top Trends in Digital Supply Chain.
- [5] 李兆丰,刘炎峻,徐勇将,等. 数字化食品在新时代下的发展与挑战 [J]. 食品科学, 2022, 43 (11): 1-8.

The application practice of intelligent monitoring and early warning technology for high-voltage overhead transmission lines under the integration of 5G and the Internet of Things

Chongjing Yao¹ Zelong Hu² Xuwen Zheng¹

1. Shanxi Xinzhou Shenda Wangtian Coal Industry Co., Ltd., Xinzhou, Shanxi, 036600, China

2. Shandong Energy Group Northwest Mining Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710018, China

Abstract

This study discusses the integration application of 5G technology and the Internet of Things (IoT) in the field of intelligent monitoring and early warning of high-voltage overhead transmission lines. Through field application practice, a high-speed data transmission and extensive sensing network of the Internet of Things are built to realize real-time monitoring and status assessment of transmission lines. The research methods include sensor arrangement, data acquisition and transmission optimization, and the development of intelligent early warning algorithm. The results show that the system can effectively identify the potential risks of transmission lines, and timely issue early warning, greatly improving the fault prevention ability and response speed. In addition, this study also analyzes the network security and data processing challenges brought by the integration of 5G and Internet of Things technology. The research results provide practical basis and technical support for the modernization and intelligent upgrading of the power grid.

Keywords

5G technology; Internet of Things; intelligent monitoring and early warning technology

5G 与物联网融合下高压架空输电线路智能监测预警技术的应用实践

姚崇经¹ 胡泽堃² 郑绪文¹

1. 山西忻州神达望田煤业有限公司, 中国·山西 忻州 036600

2. 山东能源集团西北矿业有限公司, 中国·陕西 西安 710018

摘 要

本研究探讨了5G技术与物联网(IoT)在高压架空输电线路智能监测预警领域的融合应用。通过实地应用实践,构建了一个基于5G的高速数据传输和物联网的广泛感知网络,实现对输电线路的实时监测和状态评估。研究方法包括传感器布置、数据采集与传输优化及智能预警算法的开发。结果显示,该系统能有效识别输电线路潜在的风险,并及时发出预警,极大提高了故障的预防能力和响应速度。此外,本研究还分析了5G与物联网技术融合带来的网络安全与数据处理挑战。研究结果为电网现代化和智能化升级提供了实践依据和技术支持。

关键词

5G技术; 物联网; 智能监测预警技术

1 引言

本研究通过集成 5G 与物联网技术,构建了一个高压输电线路智能监测预警系统,有效实现了实时、全面的风险识别与预警。利用 5G 的高速传输和物联网的广泛感知能力,该系统通过高效的数据采集与智能预警算法,大幅提升了电网的故障预防和响应速度。同时,本研究也深入探讨了 5G 和物联网融合应用中遇到的网络安全和大数据处理挑战,

为电网现代化与智能化升级提供了全面的技术支持和实践依据。

2 背景与意义

2.1 5G 与物联网技术概述

5G 技术与物联网的融合发展已成为现代科技的重要趋势^[1]。5G 技术,凭借其高速率、低延时和广连接的特性,为物联网的发展提供了强大支撑。高速率特性使得大规模数据传输得以实现,大幅提升了数据处理与响应的效率。低延时特性则确保了物联网设备之间的实时交互,这对于需要实时监控和快速反应的应用场景尤为关键。广连接特性则表现

【作者简介】姚崇经(1980-),男,中国山东人,本科,高级工程师,从事智能监测研究。

在其能够支持海量设备的接入,极大地拓宽了物联网的应用范围。在高压架空输电线路领域,将5G与物联网技术相结合,能够构建出一套高效、智能的监测预警系统,实现对输电线路的实时监测与状态评估。通过这种技术融合,不仅提升了故障预防能力和响应速度,也为电网的现代化与智能化升级提供了技术保障^[2]。

2.2 高压架空输电线路智能监测预警的需求

高压架空输电线路是电力传输系统的重要组成部分,其稳定运行直接关系到电网的安全与效率。随着电力需求的不断增长和自然环境的不确定性增加,传统的监测与维护方法已难以满足现代输电线路的管理要求。智能监测技术的需求显得尤为迫切^[3]。通过对输电线路的实时监测,不仅能快速识别线路的运行状态和潜在故障,还能及时进行风险预警和故障排查,避免因线路故障导致的大范围停电。智能监测系统要求具备高精度的数据采集能力和快速的数据传输能力,以支持实时的状态评估和快速响应机制,从而确保电网的可靠性与可持续性。

3 系统设计与实现

3.1 5G 与物联网技术融合架构设计

在高压架空输电线路智能监测预警系统中,5G与物联网技术的融合架构设计至关重要。该架构的核心是通过5G网络的高速传输性能和物联网的广泛感知能力,实现对输电线路的精细化监测与高效预警。具体设计包括多个层次:感知层由遍布输电线路的多种传感器构成,负责实时数据采集,涵盖温度、振动、风速等关键参数;网络层利用5G的低延迟和高带宽特性,确保海量数据的快速、稳定传输,从而支持实时监测和远程状态评估;平台层集成大数据分析和智能算法模块,进行数据处理与风险评估;应用层则提供用户界面及预警通知功能,增强用户对线路状态的掌控能力。此系统架构的创新性在于其利用5G技术显著提升数据传输效率的引入物联网的全方位感知能力,为高压输电线路智能化管理提供了技术路径。通过此设计,既满足了对数据传输高速性和稳定性的要求,也兼顾了设备投入的经济性。

3.2 传感器布置与数据采集

在5G与物联网融合下的高压架空输电线路智能监测系统中,传感器的精确布置是实现高效数据采集的关键因素。不同类型的传感器根据监测需求被部署在输电线路的关键节点,包括电流、电压、温度及振动传感器。这些传感器能够24小时不间断地获取输电线路的运行状态信息,并通过5G网络实现高速数据传输。为了优化数据采集效率,采用边缘计算技术对采集的数据进行初步处理,可有效过滤噪声和冗余信息。通过将预处理后的数据传输至中央控制系统,提升了实时监测和故障识别的准确性。该设计确保了系统在复杂环境下的稳定运行,为智能预警提供了坚实的数据基础。

3.3 数据传输优化

在高压架空输电线路的智能监控系统中,数据传输优化是关键环节。采用5G网络的高速传输特性,提升了数据传输的时效性和可靠性。结合物联网技术,通过边缘计算减少中心处理压力,提高传输效率。设计了低功耗广域网络(LPWAN),以扩展数据传输覆盖范围,强化系统的广泛适用性。结合先进编解码技术,进一步压缩传输数据量,确保在有限带宽下维持高质量的数据传输,满足实时监测和快速预警的需求。

4 智能预警算法开发

4.1 状态评估模型构建

在智能预警算法开发的过程中,状态评估模型是其核心模块之一。该模型通过对高压架空输电线路的运行状态实时监测和数据分析,实现对线路健康状态的量化评估。模型构建依赖于传感器采集到的原始数据,这些数据包括但不限于线路电流、电压、温度、振动等多个参数。利用5G高速数据传输的特性,这些数据能以极低的延迟传递到中央处理单元。模型通过机器学习算法进行数据融合与特征提取,以识别正常和异常状态的隐性规律。随后,基于历史数据和基准运行状态的对比分析,模型不断更新其评估准则,增强其预测精度和可靠性。通过多层次的神经网络和动态决策树等先进算法,状态评估模型能对复杂的线路状态进行高效解读,为后续的风险识别与预警提供坚实的基础支持。这个模型的精准性和实时性在系统整体预警能力中占据关键地位。

4.2 风险识别与预警机制

在风险识别与预警机制的开发中,关键在于构建一个高效的风险识别模型,以应对高压架空输电线路的复杂运行环境。该机制通过多源传感数据的融合,对线路状态进行综合分析,判断潜在风险。运用机器学习算法,识别出包括机械应力、电磁干扰在内的异常状态,从而实现对故障的早期检测。预警机制则依托动态阈值调整技术,可根据历史数据和实时监测结果,灵活调整风险等级,确保预警信息的准确性和及时性。通过与5G网络的结合,预警信号能够迅速下发到相关维护部门,大幅提升响应速度。这种智能化的风险管理策略,显著增强了系统的可靠性与稳定性。

4.3 算法效能评估

算法效能评估着重检验智能预警算法在实际应用中的准确性和响应速度。通过大规模样本数据库,比较不同环境条件下算法对输电线路潜在故障的识别率和误报率。从数据准确性来看,算法需确保在信号干扰时保持高识别率,减少误报以提高系统可靠性。在评估响应速度时,应关注算法处理数据的及时性,确保预警信息能迅速传输至终端设备。效能评估结果表明,系统在高压架空输电线路智能监测领域具有显著优势,能够提供及时有效的风险预警。

5 应用实践与系统评估

5.1 实地应用案例分析

在实地应用案例分析中,某区域的高压架空输电线路被选作为研究对象,以评估5G与物联网融合下的智能监测预警系统性能。该区域地形复杂,气候多变,容易导致输电线路故障。为实现实时监测,沿输电线路布置了多个传感器节点,这些节点通过5G网络进行高速数据传输,从而形成一个动态感知网络。通过持续的数据采集,得以识别输电线路的正常状态与异常状态。智能预警算法被应用于分析与处理传感器传递的数据,以准确定位潜在的故障根源并进行预警。研究显示,无线数据传输效率显著提高,预警响应时间缩短,对突发事件的应对能力大幅提升。结合气象、环境与设备状况的数据分析,系统完成了输电线路状态的全面评估,验证了该智能监测系统在实际应用中的有效性与可靠性。此案例为智能电网建设提供了宝贵经验。

5.2 系统性能评估

系统性能评估通过对高压架空输电线路智能监测系统的实时监测能力、数据传输效率和预警响应速度进行全面分析。评估结果表明,该系统利用5G技术实现了高速、大容量的数据传输,有效支持了物联网设备的广泛感知功能,使得传感器数据能够迅速传递至中央监测平台。通过优化的数据传输策略,显著减少了信息滞后现象。状态评估模型和智能预警算法的集成,提高了风险识别精度,缩短了预警触发时间。实地应用案例的系统性能测试表明,该监测预警系统在各种环境条件下运行稳定,可靠性高,体现了智能化架构在电力系统中的有效实践,为提升电网安全性提供了重要技术支持。

5.3 风险预警效果验证

进行风险预警效果验证时,采用了多个实地测试场景对系统的预警能力进行评估。选择易受环境影响的输电线路作为测试样本,通过部署传感器节点采集数据。接收到的数据经过5G网络传输至中心处理系统,由智能预警算法即时分析。评估过程中,重点检测系统在识别潜在风险如导线过载、线温异常、外力损伤等情况时的准确率和响应时间。测试结果表明,系统能够提前预测潜在故障并提供实时预警,提高了故障防范的整体效率和电网的可靠性。此验证过程为系统在实际应用中的效果提供了有力支持。

6 挑战与展望

6.1 网络安全与数据保密挑战

在高压架空输电线路智能监测预警技术中,5G与物联网的融合应用面临网络安全与数据保密的挑战。随着传感器设备日益增多,数据传输频度的增加将潜在威胁信息泄露和网络攻击。5G网络的开放性和连接设备的大量增长增加了系统面临攻击的可能性,网络安全策略的完善成为极其重要的课题。传输过程中的数据完整性和保密性也是核心问题。

为了应对这些挑战,需要建立多层次的安全防护体系,涵盖数据加密、用户认证以及异常行为检测等技术措施。加强对物联网设备的安全监控,确保设备在连接网络时的安全性和稳定性。通过这些措施,可以有效降低潜在的安全风险,保障智能监测系统的可靠运行,为电力系统提供持续稳定的技术支持与保障。

6.2 数据处理能力的提升

5G与物联网的结合在高压架空输电线路监测中实现了数据传输的革命性突破,但仍需提升数据处理能力。海量传感器数据需要高效的实时处理,这对系统提出了更高的计算要求。为此,可考虑利用边缘计算技术,通过在数据产生源头附近进行分布式处理,减少数据传输的延迟和中心服务器的负担。人工智能算法的引入也十分关键,它不仅能提高数据解析的准确性,还能从复杂数据中提取有价值的信息,提高预警的效率与准确度。在处理过程中,需确保数据的完整性与一致性,以提高对输电线路状态变化的响应速度。通过这些策略,可以有效增强系统在大数据环境下的运算和处理能力,推动输电线路智能监测的深入发展。

6.3 未来发展方向与应用领域拓展

5G与物联网技术在高压架空输电线路智能监测预警中的融合应用,未来面临广泛的应用前景。新能源的快速发展推动了智能电网的需求,5G和物联网技术的整合将加速智能电网的全面部署。智慧城市的建设也将受益于该技术,智慧交通、智能建筑等领域均可利用5G与物联网技术实现更高效的能源管理。面对可再生能源接入不断增加的挑战,该技术有助于提升能源系统的自适应性和稳定性,确保电力输送的安全性和可靠性,将在全球能源转型中发挥关键作用。

7 结语

本研究基于5G技术与物联网融合,对高压架空输电线路智能监测预警技术进行了深入研究。通过实地应用实践,建立了一个能够实时监测输电线路状态并进行评估的网络系统。该系统将传感器布置、数据采集与传输优化以及智能预警算法有机融合,结果证明其可以有效识别输电线路的潜在风险,及时发出预警,大幅提高了预防故障的能力和反应速度。值得注意的是,5G与物联网技术的融合仍然存在着网络安全和数据处理的挑战。未来的研究应更深入地探讨这些问题,在确保数据安全的同时,提高数据处理的效率和准确性。总结而言,本研究的成果为电网现代化和智能化升级提供了重要依据和技术支持。

参考文献

- [1] 李逸芝.基于5G技术的物联网应用[J].中国科技投资,2021(03):77-77.
- [2] 程希睿.5G技术下的物联网应用探讨[J].通信电源技术,2020,37(14):150-152.
- [3] 谭剑平.物联网对5G技术的应用[J].数码设计(上),2021,10(02):26-26.

Application of electronic sales and delivery list in large steel mills

Jingxiao Meng

Shougang Jingtang Iron and Steel United Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 063200, China

Abstract

This paper focuses on the digital upgrade of steel sales and shipping process, and successfully develops the sales electronic shipping list APP. With advanced technology architecture and humanized design, the APP realizes the deep integration and intelligent collaboration^[1] of key functions such as automatic code scanning and outbound verification, driver handwritten signature and delivery list printing. The on-site verification shows that it performs well in automatic scanning code verification, handwritten signature, list printing and other aspects, significantly improving the shipping efficiency and quality, and deeply docking with the PES system to provide support for the shipping decision. This APP is an innovative practice of mobile linkage operation of steel sales and shipping, and provides reference for the digital transformation and intelligent upgrading of the industry. It is expected to play a role in more fields in the future.

Keywords

shipping list; outbound verification; handwritten signature

销售发货清单电子化在大型钢铁厂的应用

孟静潇

首钢京唐钢铁联合有限责任公司, 中国·河北唐山 063200

摘要

本文聚焦钢铁销售发运流程的数字化升级, 成功研发销售电子发运清单APP。该APP凭借先进技术架构与人性化设计, 实现自动扫码出库核验、司机手写签名、发运清单打印等关键功能的深度集成与智能协同^[1]。现场验证表明, 其在自动扫码核验、手写签名、清单打印等方面表现出色, 显著提升发运效率与质量, 且与PES系统深度对接, 为发运决策提供支持。此APP为钢铁销售发运移动联动操作的创新实践, 为行业数字化转型与智能化升级提供借鉴, 未来有望在更多领域发挥作用。

关键词

发运清单; 出库核验; 手写签名

1 引言

钢铁厂钢卷的发货清单是产成品出厂发运的核心凭证, 在实际作业过程中, 发货清单须由销售管理部发运作业人员在三级终端进行系统操作后, 使用打印机打印纸质单据, 加盖发货专用章后随车传递。由于数量的逐年增加, 带来的问题有作业局限性大、打印效率低等问题, 越来越无法适应高效率的发运需求。

办公智能化、数字化、无纸化是时代发展的必然趋势。提升公司智能化仓储管理水平、降低生产作业成本、提高作业效率, 销售物流数字化仓储作业转型迫在眉睫^[2]。随着销售管理部整体产品发运作业量的不断攀升, 越来越需要更加现代、集成甚至移动式办公来满足多样化、分散式的作业

需求。

鉴于此, 本文开展了销售电子发货清单电子化、集中化的研究, 首先通过出库核验流程进行研究, 提出了PAD扫码自动核验的方法, 并进行了界面设计; 其次, 实现了司机手动签字的功能, 系统可实现签字自动保存在发运清单中, 并将自动带出根据系统账号自动带出库管签字, 提高作业效率; 最后, PAD端清单打印, 将销售发运清单保存成PDF版各系统进行保存^[3]。将该系统应用于到冷、热轧、中厚板成品库, 大大提高了作业效率, 说明了此应用具有良好的实用价值^[4]。

2 整体架构设计

通过PAD内网无线接入, 实现与现有PES三级终端、网络打印机及其他对接系统的数据互通。如图1所示:

【作者简介】孟静潇(1991-), 女, 中国河北秦皇岛人, 硕士, 从事计算机技术研究。

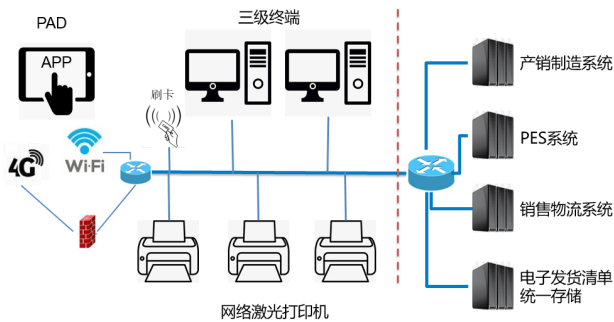


图 1 整体架构设计

3 功能设计

3.1 出库核验

在日常仓库管理工作中，库管人员借助先进的出库核验设备 PAD，能够高效地获取车辆以及车辆所装载物料的关键信息。他们通过扫描物料上的二维码和条形码，实现自动核验，精准确认该车待装物料的编号、卷数、总重量以及装车状态。同时，各 PES 库管扫描车号二维码后，车号信息会准确显示在车号文本框，系统自动关联查询并展示对应物料信息于待核验列表。

功能界面设计如图 2 所示：



图 2 出库核验设计

3.2 手写签名

发运作业流程，司机需借助 PAD 设备完成一系列关键操作。当司机开始扫描车号二维码时，PAD 端会迅速响应，自动精准截取车号信息，紧接着自动触发查询功能，快速调取与该车号相关的详细数据，为后续工作提供有力支撑。完成操作后，司机需在 PAD 端进行签名确认。待司机签名完成，只需轻轻点击“保存”按钮，PAD 端后台逻辑便立即启动，调用 PES 系统专门用于保存司机签名的功能模块。同时，将司机刚签署的签名图片完整、清晰地传输给 PES 系统。PES 系统在接收到签名图片后，会按照既定规则，将其准确无误地保存到各 PES 系统对应的数据库中，确保数据的安全与完整。

功能界面设计如图 3 所示：



图 3 手写签名设计

3.3 清单打印界面

在日常仓库管理作业场景中，库管人员承担着确保货物信息准确流转的重要职责。当需要进行物料清单打印操作时，库管用扫码设备，扫描车号二维码。PAD 端迅速响应，精准截取车号信息，并将其清晰地显示在车号文本框内，同时该车号信息也会同步更新到待打印车辆列表中。

系统接收到车号信息后，会自动依据此信息在数据库中进行查询，精准获取该车对应的待打印物料信息，并完整展示在待打印物料信息表中。库管仔细核对信息无误后，选中一条待打印车辆信息，轻轻点击“打印”按钮。此时，网络打印机迅速启动，按照预设格式打印出详细的物料清单，与此同时，PAD 端也会及时弹出取单提示信息，提醒库管及时取走打印好的清单，以便后续工作的顺利开展。

功能界面设计如图 4 所示：



图 4 清单打印设计

4 效果验证

为了全面且深入地验证本文所精心研制的方法在提升销售发货流程效率方面的可行性与准确性，2022 年 8 月，销售发货清单 APP 系统在京唐公司旗下各个成品库展开了

严谨且细致的现场验证工作。

经过一系列严格的测试和数据分析，结果表明，从司机装车到打印清单的整个过程，发运效率相较于传统方式提高了 5 倍。这一显著的提升不仅有效缩短了货物的发货周期，

降低了库存成本，还大大提高了客户满意度，为京唐公司的销售业务发展注入了强大的动力。

如图 5 所示，论证了该系统的研究具有重要的价值意义。

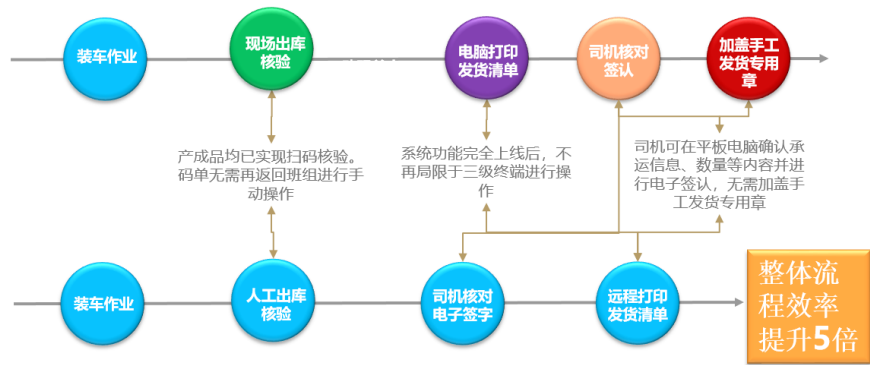


图 5 效率提升

5 开发平台

该功能在 Linux 操作系统下进行，使用 XML、EXTGS 开发平台完成了销售电子发运清单 APP 开发。

开发软件：Eclipse 3.2

编程语言：XML、EXTGS

数据库：Oracle 11g

6 结论

本文聚焦于钢铁销售发运流程的数字化升级，成功研发出一款功能全面、高效便捷的销售电子发运清单 APP。这款 APP 凭借先进的技术架构与人性的设计理念，实现了多项关键功能的深度集成与智能协同，为钢铁销售发运领域带来了革命性的变革。

在自动扫码出库核验方面，该 APP 搭载了高精度的二维码和条形码扫描模块，能够快速、准确地识别货物信息。当货物出库时，库管人员只需使用移动设备扫描货物上的二维码或条形码，系统即可自动获取货物的名称、规格、数量等详细信息，并与销售订单进行实时比对核验。这一功能不仅大大减少了人工核验的工作量和出错率，还确保了货物出库的准确性和及时性，为后续的发运工作奠定了坚实基础。

司机手写签名功能是该 APP 的另一大亮点。在货物装车完成后，司机可以通过 APP 的手写签名功能，在移动设备上直接签署发运确认单。这一操作不仅方便快捷，而且签名信息能够实时上传至系统后台，与发运记录进行关联存储，确保了发运流程的完整性和可追溯性。同时，手写签名功能还增强了司机对发运工作的责任感和认同感，有助于提

升整体服务质量和客户满意度。

发运清单打印功能则进一步提升了发运工作的效率。在司机完成手写签名后，系统可以根据预设的模板自动生成发运清单，并支持一键打印功能。打印出的发运清单内容清晰、格式规范，包含了货物的详细信息、发运时间、司机信息等关键要素，为货物的运输和交付提供了有力的支持。

为了验证该 APP 的实用性和有效性，项目团队在京唐公司各成品库进行了全面的现场验证。通过实际操作和数据分析，结果表明该 APP 在自动扫码出库核验、司机手写签名、发运清单打印等方面均表现出色，显著提高了发运效率和质量。通过与 PES 系统的深度对接，该 APP 能够实时获取库存信息、订单状态等关键数据，为发运决策提供有力支持。

此次销售电子发运清单 APP 的成功开发与应用，不仅完成了钢铁销售发运移动联动操作的创新实践，还为钢铁行业的数字化转型和智能化升级提供了有益的借鉴和参考。未来，随着技术的不断进步和应用场景的不断拓展，该 APP 有望在更多领域发挥重要作用，推动钢铁销售发运工作向更加高效、智能、便捷的方向发展。

参考文献

[1] 基于WebService的扫码发货系统设计与实现[J].徐娟华,曾富洪. 铜业工程. 2022(1):77-79

[2] 散装发货系统集中控制的数字化升级[J]. 刘保平. 自动化技术. 2021(6):70-73

[3] 跨平台操作系统应用软件框架平台技术研究与应用 [J]. 机电信息. 油腾, 张红安, 王阳, 2020(35):114-115.

[4] 成品库发货验证系统设计与开发[J]. 吴志勇. 信息管理. 2018(6):78-80

Study on variable interval adaptive D2D resource allocation algorithm for communication hotspots

Qi Sun Dantong Na Bo Liu

Information Application Department, Armored Forces Academy of the United States of America, Officer School, Changchun, Jilin, 130022, China

Abstract

In the modern communication environment, the demand for fast network construction, low power networking and large capacity transmission is increasingly strong. In the communication hotspots, the communication quality is seriously affected. To solve this problem, D2D introduces variable interval (device to device). The algorithm introduces the adaptive power algorithm in the power control stage to give the terminal transmission power and introduces the weight function on the central node side to determine the multiplexing combination. Finally, according to the simulation analysis, the adaptive D2D resource allocation algorithm increased by 9.5% (number of small users) and 24.2% (number of large users), the power efficiency by 20.2%, and the average system network construction time decreased by 12.8%.

Keywords

communication hotspot; variable interval; adaptive; throughput; and power efficiency

适用于通信热点地区的可变间隔自适应 D2D 资源分配算法研究

孙琦 那丹彤 刘波

陆军装甲兵学院士官学校信息运用系, 中国·吉林 长春 130022

摘 要

在现代通信环境下关于快速建网、低功耗联网、大容量传输的需求越来越强烈,在通信热点地区,信道资源已经出现明显不足进而严重影响通信质量的情况。针对这一问题,提出了引入可变间隔的自适应技术D2D(device to device)资源分配算法。该算法在功率控制阶段引入了自适应功率算法给出终端发射功率;在中心节点侧的信道分配上引入基于吞吐量最大化的权重函数以确定复用组合。最后由仿真分析,可变间隔的自适应D2D资源分配算法较对比算法,吞吐量平均提高了9.5%(小用户数)、24.2%(大用户数),功率效能平均提升了20.2%,系统建网时间平均降低了12.8%。

关键词

通信热点;可变间隔;自适应;吞吐量;功率效能

1 引言

根据国家发布的《2024 年通信业统计公报》指出,截至 2024 年底我国移动电话用户总数为 17.9 亿户、物联网设备 NB - IoT 已超过 10 亿台。在可预见的未来,通信设备数量仍将大幅度增长,所以研究一种可支持更多设备接入网、更快的信息传输速率、更低的能源消耗的新型通信算法就尤为重要。

引入 D2D 技术是一种提高系统通信性能的有效方法之一,文献^[1]提出了一种基于系统遍历容量最大化的粒子群的遗传类算法,通过遍历可复用用户列表可能性的穷举比较

方式,以最大吞吐量为目标给出了一种解决方案,虽然获得了较高的吞吐量性能,但计算压力较大,不适合小型用户快速建立链路通连。文献^[2-3]提出了一种基于智能超表面技术辅助的 D2D 资源分配算法,通过智能超表面扩大信息传输渠道,获得了较高的传输速率,但表面体位置难以确定,不能构建出一个快速通联的 D2D 网络系统。文献^[4]提出一种基于匈牙利算法的 D2D 信道分配模型,通过获得信道传输所需最低的传输速率进而确定发射端的发射功率,再用系统总吞吐量作为权重系数,最终确定整体的系统连接状态,但难以满足瞬发的数据吞吐需求,每次在用户发生变动时,均会重新遍历计算。文献^[5-7]提出了引用遗传算法寻找最佳功率的算法,在获得较高吞吐量的同时也产生了较高计算时延。

综上,目前国内外针对 D2D 的通信算法研究主要集中在

【作者简介】孙琦(1993-),男,中国吉林长春人,硕士,讲师,从事网络通信研究。

在如何使用不同的技术手段提高频谱资源利用率和吞吐量，均没有考虑从计算时延的角度优化 D2D 通信系统。据此本文提出一种引入可变间隔的自适应 D2D 资源分配算法，使其在热点通信环境和小型设备通信中具有更好的通信性能表现。

2 系统模型

假设通信热点区域存在一台中心节点基站 eNB，在中心基站通信范围内随机生成用户。原系统中信道正交的用户为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_N\}$ ，其中 U_i 表示第 i 个序号的通信终端，D2D 集合用户集合为 $D = \{D_1, D_2, D_3, \dots, D_M\}$ ，其中 D_j 表示两个 D2D 通信用户终端。D2D 用户之间的信息路径小于 R_d 。系统仿真上行信息通信状态的信号通信过程。设置从中心节点基站至通信终端的路损为 S_{Bi} ，D2D 用户间的路径损耗为 S_j ，从 D2D 用户发射端至中心控制节点的路损为 S_{jTB} ，从通信终端用户至 D2D 用户接收端的路损为 S_{ijR} 。

3 可变间隔自适应资源分配算法

功率控制和信道分配是 D2D 资源分配算法的两个阶段。目前，D2D 资源分配算法的研究通常是通过遍历所有可能的最佳组合并以最大用户吞吐量的权重函数所实现的^[8]。这种算法设计可以获得最优的总系统吞吐量性能，但在面临通信设备密集、通信建立速度要求高的情况下，需要预先获得距离路损等相关参数信息，在资源分配前已经很难满足现实通信要求。据此将 D2D 通信解耦成两个单独的部分，为自适应功率控制算法和信道资源分配算法两个部分。

3.1 自适应功率控制算法

D2D 技术，其本质是在可接受的干扰情况下，进一步提升系统用户数量，从而提高信道、频谱资源的利用率，同时不可避免的会产生一定信道干扰。如何在干扰可控的情况，优化吞吐量与通信建立时间就是需要解决的关键技术问题。

依据系统模型，通信终端 U_i 用户与 D2D 用户 D_j 接受端的信号质量即信噪比 SNR_i^U 与 SNR_j^D 为：

$$SNR_i^U = \frac{P_i^U / S_{Bi}}{N + P_j^D / S_{jTB}}, SNR_j^D = \frac{P_j^D / S_j}{N + P_i^U / S_{ijR}} \quad (1)$$

设置 P_j^D 为一个固定的终端发射功率，设置 $P_{\max}^D$ 为最高终端发射功率。则 (1) 式可表示为发射功率的公式：

$$P_i^U = SNR_i^U S_{Bi} (N + P_{\max}^D / S_{jTB}) \quad (2)$$

$$\alpha = S_{Bi} (N + P_{\max}^D / S_{jTB}) \quad (3)$$

$$P_i^U = \alpha \cdot SNR_i^U \quad (4)$$

在设置了 QoS (最小信噪比要求) 时，功率 P_i^U 与 SNR_i^U 成线性数学关系。在迭代中终端发射功率越接近

QoS 时，终端信噪比也会有同样的变化趋势。设置系统功率间隔 $\tilde{a}_1$ 与迭代次数 o ，则通信终端发射信噪比为式 (5)：

$$SNR_i^U = \alpha^{-1} (P_{\min}^U + \gamma_1^{(o-1)}) \quad (5)$$

同理，设置系统功率间隔 $\tilde{a}_2$ 与迭代次数 p 可得出 D2D 用户的信噪比计算公式^[9]：

$$SNR_j^D = \beta^{-1} (P_{\min}^D + \gamma_2^{(p-1)}) \quad (6)$$

将式 (5-6) 结合便得到了功率控制算法，但公式为多元函数，在目前的 D2D 研究中经常设置价值函数 (最优吞吐量) 的遗传算法来求解最佳发射功率。遗传算法由于其特殊的遗传因子特性，需要设置较高迭代次数才能获得准确的结果，导致计算时间过长，不能满足快速建立通信联络的需要。据此本文提出可迭代间隔 $\tilde{a}_1$ 与 $\tilde{a}_2$ 的迭代计算方法。

定义可变间隔标识 $Bs=1$ 信噪比公式分别为：

$$SNR_i^U = \alpha^{-1} (P_{\min}^U + \frac{\gamma_1^{(o-1)}}{Bs}) \quad (7)$$

$$SNR_j^D = \beta^{-1} (P_{\min}^D + \frac{\gamma_2^{(p-1)}}{Bs}) \quad (8)$$

具体实现流程为：

for $t_1=1$: o D2D 迭代执行 o 次

for $t_2=1$: p 通信终端迭代执行 p 次

if (通过式 (7-8) 计算的得到的信噪比值 $SNR_i^U > SNR_{\min}^U$ 且 $SNR_j^D > SNR_{\min}^D$)

break, 前功率值进行保存于信息数组式 (9)

else

$Bs=Bs+1$ 间隔标识加 1

继续执行迭代

end

end

end

使用如上所示算法遍历即可给出同一信道下，不同终端用户的发射功率数值。

3.2 信道资源分配算法

在获得初步功率设置值后，此时系统的吞吐量并不是最优解，因为功率搜索是从最小功率值开始的，所以进行有限信道的分配调整，便可获得最佳的系统吞吐量性能，提高频谱利用率。

构造储存数据信息矩阵 HD_{ij} 具体为

$$HD_{i,j} = \{P_j^D, SNR_i^U, SNR_j^D, th\} \quad \forall i \in N, \forall j \in M \quad (9)$$

由香农公式将设计函数 f_{HD} 为式：

$$HD_j(th) = f_{hd}(SNR_i^U, SNR_j^D) = B \log_2(1 + SNR_i^U) + B \log_2(SNR_j^D) \quad (10)$$

基于整个复用信道的用户 QOS，依据比例公平算法^[10]

从而可以得出基于均衡吞吐量的最优选择算法，寻找 th 值最大的组合即为最终 D2D 系统配对组合，实现系统全体终端入网。

4 仿真结果与分析

在信道分配与功率控制两个阶段分别进行仿真了仿真，重点分析了系统建网时间、功率效能、系统总吞吐量等方面的性能差异。

4.1 系统仿真参数设置

在仿真阶段使用了城市通信模型，发射终端在 1-2m 高度之间，最大化模拟实际使用情况，通信路损模型为^[11]：

$$L = -2 \left[\lg(f_c / 28) \right]^2 + 26.16 \lg f_c + 18.37 \lg(d) + 15.08 \quad (11)$$

通信终端用户分布在单通信终端最大通信距离的圆形小区中。D2D 用户对间不超过 5km 随机分配。仿真模拟 1000 次，系统带宽 270MHz、载频 150MHz、最大发射功率 50dBm。在 MATLAB 中使用并行程序设计完成。

4.2 仿真结果分析

如图 1 所示，仿真对比了在不同 D2D 用户对数量下，自适应功率控制算法、固定功率算法与随机功率算法在不同用户数下的吞吐量性能对比。可得出自适应功率控制算法较固定功率算法、随机功率算法平均提升 9.5% 和 16.1%（小用户数）、24.2% 和 30.1%（大用户数）。这是因为自适应功率控制算法将吞吐量作为权重价值函数，在每次遍历选择复用信道时，会向最佳吞吐量复用选择迁移，符合算法理论分析结果。

如图 2 所示，仿真对比了在不同发射功率下，自适应功率控制算法、遗传类算法^[5-7]与随机匹配算法的吞吐量、系统建立时间的对比。可看出在相同最大发射功率的情况下，自适应功率算法的功率 / 吞吐量效能较好，平均提升了 20.2%。引入可变间隔的资源分配算法较未引入的情况下，平均建立时间下降 21.3%，较遗传类算法平均建立时间下降 12.8%。这是因为自适应功率控制算法引入了遍历复用组合的算法流程、并能动态改变搜索精细度，能够最大程度的优化系统吞吐量性能。

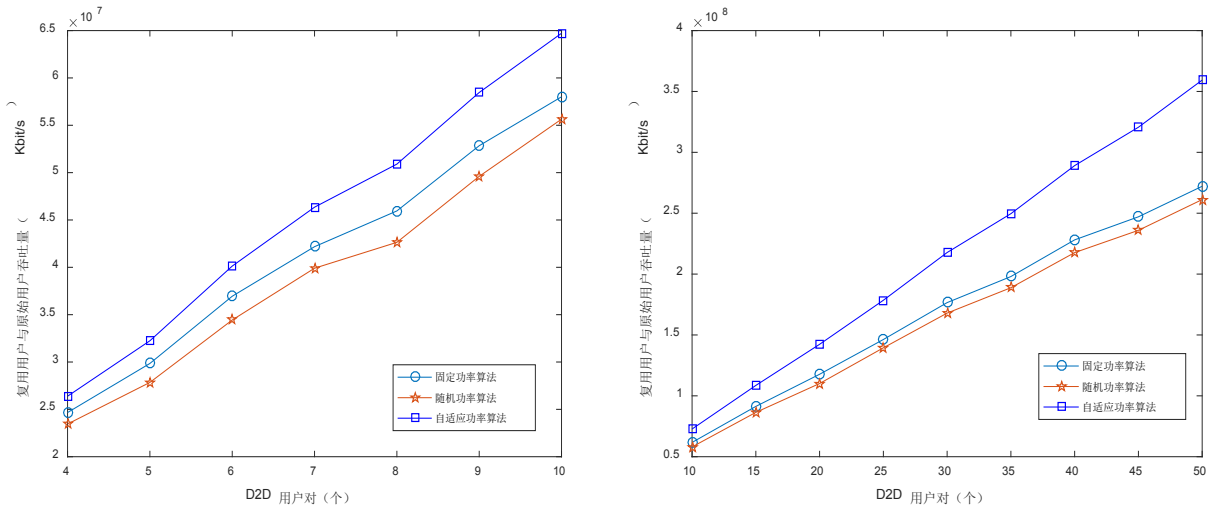


图 1 不同功率控制算法下的性能对比

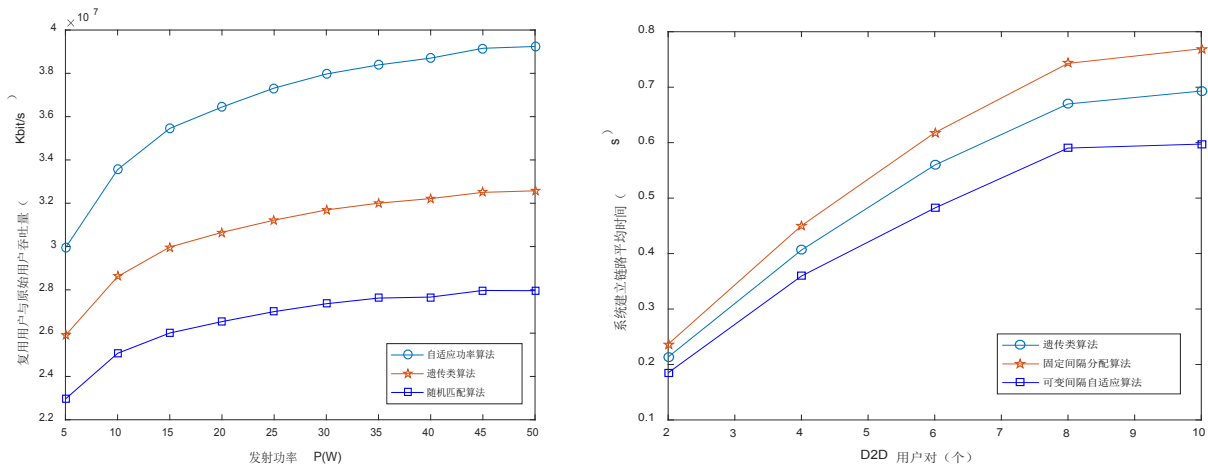


图 2 不同最大终端发射功率下的吞吐量性能对比

5 结语

通过设计一种引入可变迭代功率间隔的自适应 D2D 资源算法在系统吞吐量、系统功率能效、系统平均建网时间等性能上具有良好的性能。这是因为在功率控制过程中,所提算法引入了动态变化的迭代功率间隔,有效的降低了系统建立通信的时间。在信道分配过程中,引入了吞吐量作为权重价值的价值标准,提升了吞吐量性能。但所提算法随着用户数量越多,需要的计算时间就越长,下一步将重点优化在大用户数下的系统建立连接时间,进一步优化算法的计算时效。

参考文献

- [1] 曾华琨.NOMA-D2D通信系统的资源分配算法研究[D].北京邮电大学,2024.
- [2] 谢健骊,李琳,张泽鹏,等.RIS辅助D2D通信网络资源分配算法[J].西南交通大学学报,2024, 1-9
- [3] M. M S, Stefano T. Performance analysis of RIS-assisted downlink NOMA wireless systems under D2D interference[J]. Digital Signal Processing, 2024, 144:1-8.
- [4] 胡俊华.基于KM算法的D2D通信信道分配最优化数学模型[J].吉林大学学报(信息科学版),2024,42(06):1004-1010.
- [5] Goutham N , Mishra P K .An Efficient QGA-based Model for Resource Allocation in D2D Communication for 5G-HCRAN Networks[J].IETE Journal of Research, 2024, 70(4).
- [6] 宋为峰.基于DRL的UDN小区边缘的D2D联合资源优化算法研究与应用[D].北京邮电大学,2024.
- [7] 刘博.基于集中控制的双频段D2D通信网络吞吐量提升研究[D].中国科学技术大学,2023.
- [8] 孙琦,陈桂芬.5G中基于穷举搜索的D2D资源分配算法[J]. 计算机应用研究, 2019, 36(11): 3456-3459.
- [9] 孙琦,那丹彤,韩冬.适用于超短波电台的自适应D2D资源分配算法研究[J].信息技术与信息化,2023,(05):204-207+211.
- [10] 胡靖, 郑武. D2D通信蜂窝网络中的比例公平与加权和速率最大化[J]. 计算机应用, 2017, 37(5): 1321-1325.
- [11] 李懿凡. 指挥控制网络节点与链路可靠性建模与评估算法研究[D].电子科技大学,2018.

Development and application of counter network management system

Tie Dai

Sinopec Great Wall Energy & Chemical (Guizhou) Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550081, China

Abstract

This paper mainly introduces the research, development and application of the network management system of the finished product shop counter in a petrochemical enterprise. The system collects counting information in real time from the counter's RS485 communication interface, centrally manages all production counting information, automatically generates production statistics and shipment reports, and seamlessly integrates with the company's MES and production real-time monitoring information system, reducing manual errors and workload, improving data accuracy and work efficiency. Realize the company's real-time monitoring and management of factory information. The software has rich functions and high real-time performance, and supports remote monitoring, data modification, report generation and other operations, which greatly facilitates the production management personnel of the finished product workshop.

Keywords

data acquisition; embedded system; RS485 communication; real-time database; production informatization

计数器联网管理系统开发与应用

代铁

中国石化长城能源化工（贵州）有限公司，中国·贵州 贵阳 550081

摘 要

本文主要介绍了某石化企业成品车间计数器联网管理系统的研究开发与应用。系统从计数器的RS485通信接口实时采集计数信息，集中管理全部生产计数信息，自动生成生产统计装运报表，并与公司MES和生产实时监控信息系统无缝集成，减少了人工操作的错误和工作量，提高了数据的准确性和工作效率，实现了公司对出厂信息的实时监控与管理。软件功能丰富，实时性高，支持远程监视、数据修改、报表生成等操作，极大地方便了成品车间的生产管理人员。

关键词

数据采集；嵌入系统；RS485通信；实时数据库；生产信息化

1 引言

光电计数器是利用光电元件制成的自动计数装置，是自动装运线上的常见电子设备，其工作原理是从光源发出的一束平行光照射在光电元件（如光电管、光敏电阻等）上，每当这束光被遮挡一次时，光电元件的工作状态就改变一次，通过放大器可使计数器记下被遮挡的次数。该计数器能够自动识别连包、包拱桥等特殊情况，适用性强、准确性高。当前，成品车间每条传输皮带上均安装了计数器，极大地提高了销售出厂计数的准确性，避免了人计数的系列问题。

由于每条传输带上的计数器没有联网，只能在现场监视、抄表，手工填写装运报表。当前，该企业已建立完整的信息化系统，而计数器未在信息系统管理范围内，数据孤立。

本文针对这一情况，开发一套嵌入式数据采集设备及计数管理软件，自动从各计数器实时采集计数信息，对每一批次、每天的装运情况生成管理报表；并与公司现有的生产实时数据应用系统、MES 等管理系统集成，

2 系统结构

2.1 系统网络结构

成品车间的散料包装作业间有 5 条作业线，每条作业线传输带上配备 1 台计数器，这 5 台汇总数据即为成品车间的全部产量，根据装运需要，成品包装分别传送到各装运皮带，每条装运传输皮带上配备 3 台计数器同时计数。另外，直接装车计数房的两条皮带正常工作时，只有 1 条运行，总控室的一台计数器同时对直接装车计数房的两组计数器。

在每台计数器汇集处安装一台数刷采集工作站（简称数采机），计数器通过 485 串行线与数采机对接；数采机通过网络与计数器联网服务器联接。系统配备专用的计数器联

【作者简介】代铁（1978-），男，中国湖北枝江人，工程师，从事信息系统及网络安全研究。

网服务器,安装关系型数据库软件、计数器数采软件,以及计数器联网相关的服务器软件。成品车间的监视计算机通过公司内网,远程监视计数系统。公司其他计算机可通过“实时应用系统”远程使用包装计数器信息。

2.2 系统逻辑结构

计数器联网管理系统包括数据采集专用硬件、服务器软件、客户端软件、对外通信接口、Excel 插件等模块。系统按功能主要分为以下三部分:

2.2.1 数据采集工作站(硬件设备 以下简称数采机)

数采机采用嵌入式系统,通过 RS485 模块,自动从计数器的 RS485 通信接口中采集固定格式的数据包,将数据包解析,并通过以太网上传到服务器中。数采机支持存贮转发功能,当与服务器的网络通信中断后,将计数信息缓存在本地闪存中,通信恢复后立即上传到服务器,避免数据丢失。

2.2.2 数据采存贮系统

数据存贮系统按各条皮带上计数器的管理逻辑,对各数采机的数据分类存贮;提供与实时数据库系统一致的通信接口,实现无缝集成。

2.2.3 计数器监视与管理系统

计数器监视与管理系统用于远程集中监视全部计数器,根据业务逻辑,生成装运批次、生产统计类报表,以及装运发货单。另外,用户通过维护界面可修正错误数据、录入意外导致的缺失数据。

3 数据采集系统开发

3.1 计数器通信协议

计数器采用开发人员自定义的 RS485 通信协议,为了对外通信不影响计数功能,计数器采用周期不间断对外连发数据包,不接受对方的查询请求。为了计数准确可靠,每条传输带上的同一位置布置 3 台计数器,仅当其中 2 台计数器数据完全相同时,计数数据方才有效。实现系统自动识别冗余计数器的统计数据,并对问题计数器自动标记,以便提示管理人员检查维修。

3.2 技术路线

由于计数房分散、空间狭小、计数器多,对计数器的数据采集采用嵌入式系统,与 RS485 通信模块一起封装。由于包装现场环境特殊,空气湿度大、粉尘多并具有腐蚀性,为保障系统运行稳定,数采机采用工业级的 ARM9 处理器,内存 64M、闪存 64M、主频 200MHz。ARM9 包含增强的 32 位 RISC CPU、灵活的大小指令和数据缓存、紧密耦合内存(TCM)接口和内存管理单元(MMU)。

数采机操作系统采用嵌入式 Linux,该操作系统性能优异,软件移植容易,代码开放,系统实时、稳定、安全。本系统采用的硬件资源有限,并且仅用到通信功能,需要对嵌入式 Linux 进行深度剪裁,去掉屏幕显示、外围设备、常用通信服务,以及其他大量不需要的功能,重新编译后,与数

据采集软件一起烧录到存贮芯片中。各计数房的计数器最多 6 台,数采机配置 6 个 RS485 模块,同时监视 2 条传输皮带。

3.3 数据采集软件开发

系统在 Linux 平台上建立交叉开发与测试环境,主要采用 C 语言开发。嵌入式 Linux 采用 2.6.29 版本,文件系统采用 JFFS2。

系统启动看门狗定时器,采用独立的管理线程实时检查运行情况,当发生不可预测的故障时,如受到外界强干扰而导致系统紊乱,系统将自动重启,实现无人值守运行。

3.3.1 数据采集

RS485 模块将 RS485 通信接口转换成 RS232 后,系统利用 Linux 的 RS232 驱动,实时从通信缓存中获取通信数据流。由于计数器不接收查询操作,数据采集程序必须被动地接收,并在数据流中分析提取数据块,通过校验码检验数据块的有效性,从而按数据块的格式解析出正确的计数信息。每条线路的采集内容包括:时间、规则、包累计、总量修正、脉冲当量、连包计数等信息。

数据块中的批次仅用一个字节表示,最大批次为 255,几天内批次将归 0,程序必须实时跟踪批次的变化情况,通过与其他传输带上的批次协商,生成全局唯一的批次编号。在数据采集过程中,必须考虑通信线路受干扰、线路临时故障、冗余计数器损坏、设备长时间停运等各种预想不到的情况。采集程序通过实时维护通信现场的方式,确保意外发生后,如果故障排除,系统能够快速、正确地进入正常工作状态。

3.3.2 数据通信

数采机通过以太网与管理服务器通信,作为网络中的一个服务节点,数采机接受管理服务器的连接与远程管理。

①工作站校时。计数器联网前,操作人员以各计数房的墙壁挂钟记录各计数器的数据时间;联网后各计数器必须以统一的时间标准记录数据时间。本系统通过管理服务器对各数采机统一定时校时,从计数器数据流中提取的数据,立即被赋予当前时间。数采机校时后,即使与服务器的网络通信中断,系统也能在很长一段时间内保持准确的时间。

②数据传输与缓存。数采机通过 TCP/IP 协议向管理服务器实时发送计数器数据,并接受服务器的查询与管理。数采机具备数据缓存功能。如果数采机到实时数据库的通信临时中断,数据将按服务器的配置和中断前的采集状况继续采集。当通信恢复后,先发送缓存的数据到服务器上,并且在转发的同时,进行新数据的采集,直到全部转发完成,再进行正常的数据采集与发送。

4 数据存贮系统开发

存贮系统对每条线路编号等相关数据构建(虚拟)出支持实时应用的标签。同时,存贮系统提供与“IP.21 网关”

相同的对外通信接口,“实时应用服务器”可以不加区分地同时连接“IP.21 网关”与“计数器存贮系统”。这样,实时应用系统的用户,根据授权,可以采用与“生产装置实时数据”相同的方式使用包装计数器信息,例如,编制数据表格、查询历史数据、绘制趋势曲线图等。

“实时应用部分”的用户通过远程客户端界面,查询计数系统的实时数据与历史数据时,应用服务器能够自动区分“IP.21 网关”与“计数器存贮系统”,并将查询请求转交到计数器存贮系统;计数器存贮系统根据虚拟标签的对照关系,从计数器关系数据库中提取满足查询条件的计数器历史数据,并根据计数器数据规则,将关系型数据重构成可实时显示以及绘制趋势曲线的实时数据,再返回给远程用户。

5 计数器管理系统开发

计数器监视系统主要面向成品车间,用于远程集中监视全部计数器,便于集中管理整个传输系统的运行。系统分为服务器与客户机两部分软件。

5.1 服务器软件

计数器监视与数据维护的服务器软件,用于管理维护关系型数据库,响应远程客户端的查询与操作,安装在计数器联网服务器上。具体功能如下:

(1) 将计数器实时数据及时发送到远程监视计算机上,使各计数器的实时数据同步显示到各远程客户计算机。

(2) 响应用户的数据录入操作,录入计数器没有的数据(如产品质量等级),以及缺失的数据。

(3) 响应用户的查询操作,按用户的查询条件,从数据库中提取相应数据,返回给远程用户。

(4) 管理用户权限,只有授权用户,才能从数据库中提取数据;同样,只有相应授权的用户,才能修改数据库中的数据,或者向数据库中插入缺失的数据。

(5) 记录授权用户的修改日志,用于记录授权用户对数据库的修改,以便追踪用户的维护责任。

(6) 数据库维护功能,用于系统自动管理关系型数据库的表空间,系统管理员不必深入了解关系型数据库的知识。

5.2 客户端软件

计数器监视与数据维护系统的客户端软件,是为了成品车间生产管理人员实时、高效地监视、管理计数器系统而专门定制开发的应用软件。这套软件的实时性极高,与现场计数器显示同步;软件功能丰富,可直接修改数据库,也可以由 Excel 查询数据库生成报表。

(1) 成品车间各用户安装客户端软件后,根据授权,具有不同的功能。

- a. 只读授权,可以远程监视系统运行,查询、生成报表;
- b. 读写授权,除具有全部只读权限的功能外,还可以

修改相关信息(如:尿素等级),数据修改后,自动存入“计数器关系数据库”中。

(2) 实时监视数据表,用于实时集中显示全部计数器的计数信息。

- a. 显示各计数器线上的产品规格、包累计、包计数、脉冲数、脉冲当量、总量修正等;
- b. 明确(动态)显示“连包”状态;
- c. 实时计算累计吨位。

(3) 统计汇总数据表,用于汇总各线路的累计信息,包括:产品规格、等级、包数、吨位。

(4) 批次数据维护表,用于手工确认、设置某一批次的汇总数据,录入产品等级之类没有采集到或必须人工填写的数据。

(5) 授权用户可以查询指定批次的计数信息,并可导入 Excel 表中进行排版、计算,生成任意格式的管理类报表,方便存档、打印。

(6) 远程授权用户初次登录系统时,如果传输系统正在运行,则自动显示当前的实时信息;如果传输系统已停止,则显示最近一批次的统计信息。

6 结语

计数器联网管理系统的开发,将分散在各装运现场的计数器联网,集中监视管理,自动生成装运报表,减少了现场人员配置,提高了生产管理效率,与公司 MES 等管理系统集成后,实现了公司进出厂管理的全面信息化。同时,针对公司自行开发的计数器系统,与本管理软件一起,构成了一套完整的光电计数产品。

参考文献

- [1] 李新荣,曲凤娟. ARM9嵌入式系统设计与应用. 清华大学出版社. 2011年06月.
- [2] [美] 斯洛斯(Sloss,A.N.)等. ARM嵌入式系统开发: 软件设计与优化. 北京航空航天大学出版社. 2005年05月.
- [3] 俞辉. ARM嵌入式Linux系统设计与开发. 机械工业出版社. 2010年06月.
- [4] 赵岩,吴颐轩,曹广华. 实时数据采集系统的建立及应用初探[J]. 电气传动. 2006,36(4):58—60.
- [5] 高峰,彭双伟,李平. 基于网络的实时数据采集系统的应用[J]. 中国制造业信息化. 2003,32(8): 92—94.
- [6] 徐守奎. 生产装置实时数据采集的方法. 自动化博览[J]. 2003,3(11): 37—40.
- [7] 叶建位. 大型实时数据库关键技术及系统构架[D]. 浙江大学, 2005.
- [8] 杜殿林,张业坤. 先进控制软件平台数据库的设计与实现[J]. 控制工程, 2002, 9(6):25-27.
- [9] 王成光,苏宏业,褚健. 石化企业大型实时数据库系统的结构设计[J]. 化工自动化及仪表, 2002, 29(5): 7-11.

Implement atomic services in C# on the .NET platform

Xun Zhao Qiaoling Shen

National Radio Monitoring Center Testing Center, Beijing, 100041, China

Abstract

The existing wireless signal monitoring receivers at the National Radio Monitoring Center all previously operated in a single-machine connected to a single meter mode, meaning one computer was connected to one instrument via an Ethernet cable. Operators would run desktop software on the computer to receive various data transmitted by the instrument, and then process, analyze, display, and store this data. This paper introduces the development of WebService using C# on the .NET platform, and utilizes relevant methods from the original Winform software to implement atomic services within an integrated system. It also covers solutions for issues encountered during development, deployment, and testing.

Keywords

atomic service; C# language; message; data frame structure

使用 C# 语言在 .NET 平台实现原子服务

赵寻 沈巧玲

国家无线电监测中心检测中心, 中国 · 北京 100041

摘 要

国家无线电监测中心检测中心现有的几款无线电信号监测接收机, 以前均采用单机连单表运行的模式, 即一台电脑通过网线连接一台仪表, 操作者通过在电脑上运行桌面软件, 接收仪表传输的各类数据, 进行处理、解析、展示、储存等操作。本文介绍了使用 C# 语言在 .NET 平台开发 WebService, 并利用原有 Winform 软件中的相关方法来实现一体化中的原子服务, 并介绍了开发、部署、测试中出现问题的解决办法。

关键词

原子服务; C# 语言; 报文; 数据帧结构

1 引言

随着国家无线电监测中心对无线电监测设备一体化的推进, SOA(面向服务架构)理念的流行以及 WebService 技术在各软件开发中的普遍使用, 我们将目前现有的监测接收机软件升级, 使它可以支持一体化理念, 以便更多的监测应用可以调用这些监测接收机的数据^[1]。

无线电监测接收机, 在升级了符合一体化规范的服务后, 接入到一体化平台中, 就可以实现各种监测应用软件通过专网, 调用监测接收机发布的原子服务, 接收到不同环境(部署到不同场景)的无线电信号数据。以便对各类不同场景部署的监测接收机接收到的无线电信号数据进行实时观看、分析和存储。

2 现有监测接收机的软件构成和通信传输方式

2.1 监测接收机的软件构成

监测接收机软件分为两部分: 嵌入式软件和电脑软

件。嵌入式软件: 部署在接收机内部。电脑软件: 使用 C# 语言开发的 Winform 程序, 即桌面软件部署在 Windows 操作系统的电脑中。

2.1.1 仪表嵌入式软件

用于接收监测接收机硬件通过天线传来的无线电信号数据, 并对无线电信号数据进行解析, 处理。并传递给电脑软件。

该层软件用 C++ 编写, 可以直接与底层硬件进行通信。

2.1.2 电脑 Winform 软件

Winform 软件的作用是与仪表嵌入式软件进行通信, 对其发布指令, 得到相关参数和数据。通过界面展示出频谱, 解析数据, 通过声卡, 播放出解析的语音。Winform 软件可以让客户更直观的操作仪表并观看到仪表的解析数据。

2.2 电脑软件和监测接收机软件的通信传输方式

电脑软件和监测接收机软件通过网线连接, 以 Socket 套接字的通信方式, 进行传输数据。

2.2.1 Winform 软件操作仪表软件的方式

以 Socket(TCP) 的形式进行指令的下达和接收, 以便操作者通过点击电脑端的桌面软件按钮, 对仪表进行参数更改, 带宽调整, 模式选择等操作。即, 将 SCPI 指令封装到

【作者简介】赵寻(1985-), 男, 中国北京人, 本科, 工程师, 从事无线通信技术与自动化测试工具研究。

桌面软件按钮的方法里面,通过 TCP 的方式传输给仪表。

2.2.2 Winform 软件接收仪表软件数据的方式

Winform 软件和仪表软件通过 Socket(UDP) 的传输方式,接收仪表软件传输的信号监测数据和解析结果。这样做的理由是:由于仪表软件传输的数据量很多,数据的类型也很多,速度很快,使用 UDP 传输可以保证大数据量传输的稳定性和高效性^[2]。

2.3 硬件连接方式

电脑和仪表以网线的方式连接,并设置相同网段的 IP 地址,运行软件即可实现电脑软件和仪表软件的通信,达到数据传输交互的结果。

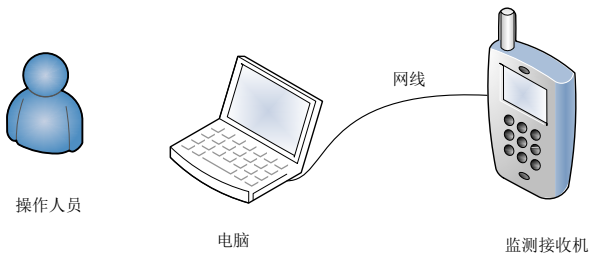


图1 硬件连接方式

3 C# 语言在 .NET 平台开发 WebService

3.1 为什么选用在 .NET 平台开发 WebService

现有的电脑软件采用 Winform 窗体程序,该程序是我(第一作者:赵寻)用 C# 开发的,它里面的功能有一部分在实现原子服务是可以复用的,如:频谱数据、音频数据、ITU 数据,都是可以直接先用的方法中获得,组装成符合一体化规范的数据帧的形式传输的。

众所周知,Java 语言在开发网页,WebService 服务是很擅长的,其实 C# 语言在 .NET 平台中也是可以开发网页和服务的,再加上之前 Winform 软件是我(第一作者:赵寻)用 C# 语言开发的,本着现有软件再利用和使用我(第一作者:赵寻)擅长的开发语言的原则,使用 C# 语言在 .NET 平台开发一个 WebService 服务,并在 Winform 软件内部,开启 WCF 服务的方式,建立与 WebService 服务的通信,以达到 WebService 服务接收到请求报文,通过内部软件提供的 WCF 服务,传输给 Winform 软件,获取到相关数据,并传输给外界。

3.2 开发原子服务前的其他思考

在开发原子服务前,我(第一作者:赵寻)看了很多文档,了解 SOA 的相关工作理念,和各种实现方式。对于开启服务的方式,有很多种,比如 RESTful, WCF, WebService 等。当时的想法,比较倾向于 Winform 内嵌服务的形式开发,这样部署比较方便,直接启动 Winform 软件即可同时开启内嵌的服务。但最后还是采用了用 C# 开发 WebService 服务并与 Winform 内嵌一个 WCF 服务进行通信的形式。这样做的理由如下:

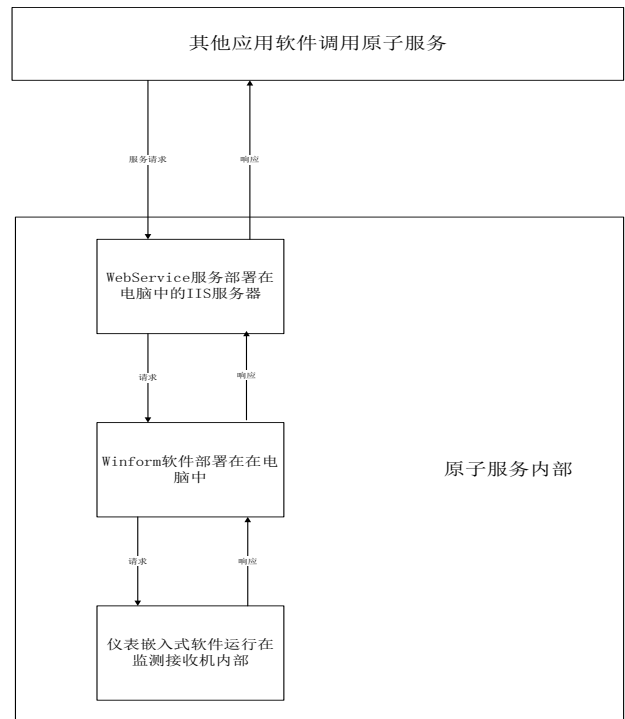


图2 原子服务和现有软件的集成

(1) 如果采用 RESTful 或 WCF 的形式内嵌到 Winform 中,传输出去的响应报文无法满足国家无线电监测中心对原子服务开发的相关规范(设备操作服务补充报文)中所提到的报文的形式,即,响应报文无法自定义。如果想自定义,必须要更改 RESTful 或 WCF 的底层,这对于 C# 程序员来说,开发难度增大了很多^[3]。

(2) 后来我们通过浏览国家无线电监测中心发布的对《无线电管理一体化平台实施开发规范》,其中提到了“选择采用 WebService、SCA/SDO 技术或其它传统技术逐步实现单个业务功能服务、组合类服务或流程类服务”,最终确定要用 WebService+Winform 开启 WCF(内部调用)的形式完成原子服务的开发。

通过这次开发前的思考和不断尝试,充分说明了一点,我(第一作者:赵寻)在开发之前,应该多仔细阅读各种相关规范,这样可以避免开发过程中少走很多弯路。不过,软件开发也许就是一个不断试错的过程。

3.3 实现原子服务各模块的作用

3.3.1 WebService 部分

(1) 对 http 协议中请求参数进行判断是否符合规范要求。

(2) 对发布的原子服务地址进行 URL 重写,以满足规范中对原子服务地址的要求。

(3) 处理请求报文,解析请求报文中的各种参数值。

(4) 调用 Winform 中发布的 WCF 服务,将解析的请求报文参数以 json 的形式传输给 Winform 软件。

(5) 接收 Winform 软件调用后返回的调用结果,并组装成满足规范要求的响应报文,传递给外界调用者。

3.3.2 Winform 部分

(1) 嵌入 WCF 服务后, 只能本机电脑调用, 接收 WebService 传递的相关参数。

(2) 通过代理的方式, 将请求参数传递给原有的方法, 对仪表进行相关操作。

(3) 使用多线程, 建立 Socket 通信, 传输数据帧给外界调用者。这样的开发方式, 既满足了一体化规范中对原子服务报文的要求, 又可以利用原有的软件中的对仪表操作的方法, 以及数据解析的方法, 避免了大量的重复开发工作。

4 原子服务的部署和出现的问题

4.1 在 Win10 系统的电脑中的部署

(1) 开启 Win10 系统的 Internet Information Services(IIS) 服务器软件。(以下简称 IIS 服务器)

(2) 将 WebService 服务部署到 IIS 服务器中。

(3) 将 IIS 服务引用的 WebService 发布的文件夹, 增加权限。

(4) 通过本机浏览器, 调用一个服务, 在浏览器中出现 wsdl 格式的 xml, 证明服务部署成功。

4.2 在 Win7 系统的电脑中的部署

在 3.1 部署的基础上, 如果使用的电脑系统是 Win7, 在测试调用服务的过程中, 会报错, 无法调用, 此时要根据以下方法进行配置 IIS 服务器软件。以下方法通过百度搜索出来, 并根据实际路径调整, 测试后, 调用成功。

(1) 首先在 IIS 中的站点里, 找到处理程序映射。双击进去添加脚本映射(路径: *.asmx 可执行文件: %windir%\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727\aspnet_isapi.dll

(2) 添加通配符脚本映射, 路径: * 可执行文件: C:\Windows\Microsoft.NET\Framework\v2.0.50727\aspnet_isapi.dll

(3) 托管处理程序映射(路径: *.asmx 可执行文件: System.Web.UI.PageHandlerFactory

(4) IIS 中找到模块(双击进去)--> 添加托管模块 --->(类型: URLRewriter.ModuleRewrite 把仅针对向 asp.net 应用程序或托管处理程序发出请求调用勾上。

(5) 将应用程序池的托管管理道模式为经典。

4.3 在无法连接外网的电脑中遇到的问题和解决方案

由于有一些设备, 前期已经部署到了客户指定位置, 并接入了内网环境, 关闭了外网。为了提高效率, 我们就会采用内网远程部署的方式进行部署原子服务, 但在开启 IIS 的过程中, 遇到了 WIN10 系统需要自动更新系统, 需要连接互联网更新成功后, 才可以开启 IIS 服务器软件。所以这种情况, 需要采用离线包更新的方法。以下方法经过百度并

测试成功。

(1) 从网上下载压缩包 microsoft-windows-netfx3-ondemand-package.cab 放入创建好的文件夹, 命名为 sys

(2) 将 sxs 文件夹放到磁盘任意位置, 将下面的 E:\sxs 中的 E 改成真实的盘符

(3) 在 windows powershell 管理员中, 输入下面指令, 等 100% 后, 按照原有形式打开 iisdism.exe /online /enable-feature /featurename:NetFX3 /Source:E:\sxs

4.4 Winform 软件在内嵌 WCF 服务后部署应注意的问题

由于 Winform 软件中加入了 WCF 服务, 在开启的时候, 要以管理员权限的形式启动 Winform 软件才可以自动开启 WCF 服务。

4.5 部署出现的其他问题

(1) 如果电脑开着防火墙, 则发布的 WebService 服务将无法被外界访问, 解决办法: ①关闭电脑的防火墙, 该行为有病毒入侵的风险, 但在内部网中运行风险低些。②将运行的服务软件, 添加到防火墙策略中, 也可以解决 WebService 服务将无法被外界访问的问题。

(2) 数据传输网络不稳的问题: 在实际部署过程中, 我们用无线网络, 使用 VPN 软件的形式, 访问专网, 但出现过传输数据断断续续, 监测网络流量, 发现传输速度忽快忽慢, 最终发现, 是 VPN 软件分配给电脑的 IP, 和电脑与监测接收机连接的 IP 在同一个网段了, 更改监测接收机 IP 和电脑 IP 使其不与 VPN 软件分配给电脑的 IP 在同一个网段, 测试后发现传输速度正常。

5 结语

我们在原子服务开发之前的需求分析, 做 demo 对比了很多方案, 最终考虑利用现有的软件, 增加 WebService 服务的形式进行实现。这样一来, 既满足了一体化规范对原子服务的要求, 又可以利用原有的软件架构。在开发过程中, 我们经过和测试人员的沟通, 发现这些原子服务之间, 也是有或多或少的逻辑关系的, 不是简简单单的独立操作仪表的, 所以这方面说明在开发之前的需求分析很重要。在部署服务和管控系统进行调试的过程中, 也发现了很多由于网络环境等外界因素导致的问题, 这是之前用测试工具测不出的, 这正是, 实践是检验真理的唯一标准。

参考文献

- [1] 岳珊.C语言程序设计过程中指针概念的理解及使用[J].信息与电脑(理论版),2020,32(15):111-113.
- [2] 吴昊,李晓会.C#语言中数组与字符串存储、使用方式异同的比较[J].数字技术与应用,2019,37(09):148+150.
- [3] 肖红德.C语言中选择结构的使用探讨[J].电脑知识与技术,2017,13(16):78-79+85.

Application of Information Systems in Medical Device Management and Maintenance

Jianghui Tian

Harbin Medical University Affiliated Second Hospital, Harbin, Heilongjiang, 150086, China

Abstract

With the rapid development of medical technology, more effective medical devices are needed to provide assistance for clinical diagnosis, treatment, and rehabilitation processes. To improve the management and maintenance effectiveness of medical devices, it is necessary to scientifically apply information systems during the maintenance management period to ensure that medical devices are always in the best condition and can be put into practical use at any time. Based on this, this article deeply explores the application of information systems in the management process. In this process, the limitations of traditional medical device management and maintenance are introduced in detail, in order to improve the specific architecture in practical applications and enhance the functionality after application. At the same time, it explains the precautions that need to be taken during the application period, providing assistance for the informationization development of the medical device industry.

Keywords

medical; Equipment management; information system

医疗器械管理和维护中信息化系统的应用

田江晖

哈尔滨医科大学附属第二医院, 中国 · 黑龙江 哈尔滨 150086

摘 要

在医疗技术飞速发展的背景下, 需要更加有效的医疗器械为临床诊断、治疗和康复过程提供帮助。为提升医疗器械管理和维护效果, 应在维护管理期间, 科学应用信息化系统, 保证医疗器械始终处于最佳状态, 可随时投入到实际应用中。基于此, 本文深入探讨信息化系统在管理过程的应用方式, 在此过程中, 详细介绍了传统医疗器械管理与维护的局限性, 以此完善在实际应用中的具体架构, 并提升应用后的功能, 同时说明在应用期间需要注意的事项, 为医疗器械行业的信息化发展提供帮助。

关键词

医疗; 器械管理; 信息化系统

1 引言

传统的医疗器械管理与维护模式面临着诸多困境, 严重影响器械的使用效率和患者安全。而在信息化系统的引入下, 能够有效解决这些问题。在实际应用中, 主要是借助现代信息技术, 实现对医疗器械全生命周期的精细化管理, 为医疗机构的高效运营提供有力支持, 促使医疗机构更好地应对日益复杂的器械管理挑战, 推动医疗服务质量的提升。

2 传统医疗器械管理与维护的局限性

对于医疗器械的管理与维护, 传统方式主要存在以下几个方面的局限性:

(1) 资源利用低效。在传统的管理体系下, 对器械的

需求预测往往缺乏准确性, 管理措施也不够完善。这种情况直接导致部分设备长时间处于闲置状态, 而热门设备却供不应求, 直接增加了医院的运营成本, 这在很大程度上降低了整体医疗服务的质量与效率。

(2) 设备状态监测困难。传统模式由于缺乏实时有效的监测手段, 设备的运行状态难以被准确掌握。许多设备故障具有隐蔽性, 医护人员不能及时发现, 等到问题暴露时, 可能已经对患者的治疗产生不利影响, 甚至造成严重后果。此外, 定期维护通常是基于固定的时间间隔进行, 而非根据设备的实际运行状况安排。这种做法容易导致过度维护或维护不及时的问题, 进一步影响设备的正常使用和患者安全。

(3) 手工记录与信息孤岛。传统管理的信息主要依赖纸质档案和人工录入。这种方式不仅效率低下, 而且容易出错。更重要的是, 不同部门之间的信息流通不畅, 形成所谓的“信息孤岛”。

【作者简介】田江晖 (1985–), 男, 中国河北石家庄人, 本科, 助理研究员, 从事医疗器械管理和医疗设备管理研究。

3 管理应用架构

3.1 设备信息数据库

在此数据库作用下,管理人员能够随时随地根据需求,迅速查询并调用所需数据,无论是进行设备维护、采购规划还是库存管理,都能得到即时、准确的信息支持。这种设计极大地提升了信息处理的效率,保证了管理工作的顺畅进行。为了进一步增强系统的灵活性与实用性,设备信息数据库还应支持数据的动态更新与维护。随着医疗设备的使用与维护,相关信息如保修期限的变动、技术参数的调整或是操作手册的更新,都能及时反映在数据库中,保证信息的时效性与准确性。此外,系统还要保障集成数据分析功能,通过对历史数据和实时数据的深度挖掘,为管理层提供预测性维护建议、成本效益分析等高级决策支持,使医疗器械管理更加科学化、精细化。安全性方面,数据库主要采用先进的加密技术和访问控制机制,严格保护敏感信息不被非法访问或篡改。通过权限管理,促使只有授权人员才能访问特定级别的信息,从而保障数据的安全性和隐私性^[1]。

3.2 采购管理模块

在需求申请与审批方面,临床科室在需要采购设备时,可通过系统在线提交设备采购需求申请,此过程需要详细填写所需设备的各项信息,包括设备的名称、具体的用途以及所需的数量等。同时,为了确保采购需求的合理性和必要性,还需要上传相关的依据文件。申请提交后,会按照预设的审批流程自动流转至相关部门领导进行审核。在审核过程中,审批进度和结果会实时反馈给申请人。这种实时反馈机制不仅提高了采购需求的处理效率,让申请人能够及时了解申请的进展情况,还增强了整个采购过程的透明度,使得采购工作更加规范、有序。

对于采购订单与合同管理,系统会生成电子化的采购订单,明确列出采购设备的详细信息,比如设备的具体名称、规格型号、用途等,同时也会清晰标注交货时间、交货地点以及付款方式等重要条款。随后,相关人员会与供应商签订电子合同,确保双方权益和责任的明确。在整个合同执行过程中,系统会自动记录关键节点。例如,当供应商准备发货时,会及时发出发货通知,系统便会记录这一信息;当货物到达指定地点并进行验收时,相应的验收结果也会被记录在系统中。这样的设计方便管理人员能够全程监控采购进度,一旦出现异常情况,如交货延迟、货物质量问题等,管理人员可以及时察觉并进行处理,从而保障采购工作的顺利进行。

在医疗器械管理的信息化系统中,会对供应商信息展开整合与评估。其中涵盖供应商的资质情况,需严格审查其是否具备合法合规的生产经营资格;信誉方面,要综合考量其在行业内的口碑、过往合作记录等;产品质量更是关注重点,会依据相关标准和实际使用反馈进行细致评估;价格要对比不同供应商的报价合理性;售后服务应包括售后响应速度、维修保障等。在此基础上,系统会依据采购历史以及评

价数据,对供应商进行科学合理的分类分级管理。对于在各方面表现优异的优质供应商,给予优先选择权。而且在采购过程中,系统还会对供应商进行动态跟踪和评估。例如,实时监测其供货进度、产品质量稳定性等,以此确保所采购的医疗器械既能保证质量,又能具备较高的性价比。

3.3 库存管理模块

当设备到货时,库管人员通过扫描设备条形码或二维码,快速完成入库操作,系统自动更新库存数量,并将入库信息与采购订单进行关联核对,确保账物相符。同时,记录设备的入库时间、批次、存放位置等信息,便于后续查找和管理。在此过程中,根据设备的使用频率、消耗规律以及设定的安全库存水平,系统自动计算库存周转率和补货点。当库存数量低于预警值时,系统会自动发出警报提醒采购部门及时补货,避免因库存短缺影响临床使用。这种智能化的预警机制能够确保库存始终保持在合理的范围内,既不会因为过多的库存造成资源浪费,也不会因为库存不足而影响到医疗工作的正常运行。而库存盘点处理主要采用定期盘点与不定期抽查相结合的方式,利用系统生成盘点任务清单,库管人员通过移动终端扫描设备编码,实时上传盘点数据。系统自动对比盘点结果与库存账面数据,生成盘盈盘亏报表,并分析差异原因,帮助管理人员及时发现库存管理中的问题,如丢失、损坏、积压等,以便采取相应措施进行调整。而入库管理方面,当设备到货时,库管人员通过扫描设备条形码或二维码,快速完成入库操作,系统自动更新库存数量,并将入库信息与采购订单进行关联核对,确保账物相符。同时,记录设备的入库时间、批次、存放位置等信息,便于后续查找和管理^[2]。

3.4 临床使用管理模块

在设备使用过程中,系统能够实时捕捉设备的使用状态,如空闲、占用、维修中等。当设备处于空闲状态时,管理人员可以根据实际需求,将其调配到更需要的科室或环节,提高设备的利用率;当设备被占用时,能及时了解设备的使用情况;若设备处于维修状态,可安排相应的维修工作,确保设备尽快恢复正常运行。这种灵活的调度机制,使设备资源得到最大程度的优化配置,为临床医疗服务提供了有力保障。而设备分配与调度期间,系统会根据临床科室的需求申请,科学合理地分配医疗器械设备。在这个过程中,充分考虑到各科室的实际需求和设备的可用性,确保每个科室都能获得所需的设备资源。同时,系统会生成设备调配单,明确设备的调配情况,方便管理人员进行跟踪和管理。此外,系统会根据预先设定的计费规则,自动生成设备使用费用清单。这一自动化的过程大大提高了工作效率,避免了人工计算可能出现的错误和漏洞。

4 应用功能

4.1 预防性维护

信息化系统会全面收集设备的各种信息,包括设备

的类型、使用年限、运行时间以及维修历史等。这些丰富的数据如设备的“病历档案”，详细记录着设备从投入使用到当前运行过程中的每一个重要节点。通过对这些数据的深入分析，系统能够精准地了解每台设备的实际状况和潜在风险。与此同时，系统还拥有强大的数据分析算法和专家知识库作为支撑。数据分析算法能够在海量的数据中挖掘出有价值的线索，发现设备运行中可能存在的规律和趋势。而专家知识库存储着众多专业领域的知识和经验。当系统将收集到的设备数据与专家知识库进行比对和分析时，就能够为每台医疗器械量身定制出个性化的预防性维护计划。其中，明确规定具体的维护项目，让维护人员清楚地知道需要对设备进行哪些检查和维护工作；确定了合理的维护周期，确保维护工作既不过于频繁影响设备正常使用，又能及时发现和解决潜在问题；还指定了专门的维护责任人，使得每一项维护任务都有明确的责任主体。由于有了科学合理的预防性维护计划，设备突发故障的概率得到有效降低。这种情况能够有效保障医疗设备的正常运行，提高医疗服务的质量和效率，也可以为患者的健康安全提供更可靠的保障^[1]。

4.2 状态监测

通过与医疗器械的物联网接口对接或安装智能传感器，实时采集设备的运行参数，如温度、压力、转速、电压等关键指标，并将数据传输至信息化系统。系统利用大数据分析和机器学习技术，建立设备运行状态模型，对实时数据进行分析处理，一旦发现数据异常偏离正常范围，立即发出预警信号，通知维修人员及时排查故障隐患。同时，系统还可以对设备的使用寿命进行预测性分析，为设备的更新换代提供科学依据。

4.3 工单管理

当设备出现故障时，临床科室或使用人员可通过系统提交维修申请工单，详细描述故障现象、发生时间、设备位置等信息。系统自动将工单分配给相应的维修人员，并实时跟踪维修进度，维修人员在维修过程中可通过移动终端更新维修情况，包括故障诊断结果、维修措施、更换配件等信息。维修完成后，工单提交审核确认，系统将维修记录存档，便于后续查询和统计分析。

5 应用过程的注意事项

5.1 数据安全和隐私保护

在数字化时代，数据安全和隐私保护十分重要。而

医疗器械管理关系到大量患者的敏感信息以及医院的运营管理数据。为确保这些数据的安全与隐私得到妥善保护，应建立严格的用户权限管理制度。对此可通过明确不同角色对数据的访问级别，限制未经授权的访问，从而保护数据的隐私性。同时，还要结合加密技术。无论是在数据传输过程中，还是在数据存储阶段，采用先进的加密算法都能为数据提供强大的保护屏障。保证数据在传输过程中被截获，或者存储设备遭到非法访问，攻击者也无法轻易解读其中的内容。在此期间，还应部署防火墙、入侵检测系统等安全设备，可以有效防止外部网络攻击，确保医疗器械信息化系统的稳定运行。此外，定期进行数据备份，保证在数据丢失或损坏的情况下迅速恢复，最大限度地减少损失。

5.2 系统集成与兼容性

医疗机构内部通常存在着众多不同的信息系统，各自承担着特定的功能和任务。网络实现信息化系统的集成与兼容，应在系统建设初期，进行充分的需求调研和规划，详细了解医疗机构的业务需求和现有系统的运行情况，明确系统集成的目标和方向。同时，采用标准化的接口协议和数据格式，确保不同系统之间能够顺利地进行数据交换。对于一些难以集成的老旧系统，可以考虑逐步进行升级改造或替换，以提高整个信息化环境的协同运作能力。在升级改造过程中，采用先进的技术和方法，对老旧系统进行优化和改进，使其能够更好地适应新的信息化环境。

6 结语

综上所述，借助信息化系统，医疗器械管理与维护工作获得有效提升。在实际应用中，通过构建涵盖设备信息数据库、采购管理、库存管理、临床使用管理以及维护管理等多个功能模块的信息化平台，有效克服传统管理模式的局限性，提高医疗器械管理的精细化程度和运营效率，保障医疗设备的安全可靠运行，提升医疗服务的质量和水平，为医疗机构和企业创造更大的价值。

参考文献

- [1] 程泽源.信息化系统在医疗器械管理和维护中的应用[J].中国社区医师,2024,40(26):160-162.
- [2] 唐颖.医疗器械维修维护管理的现状及改进措施探讨[J].中国设备工程,2024,(09):53-55.
- [3] 胡付得.探讨医院医疗器械的信息化管理与设备维护[J].中国设备工程,2024,(01):59-61.

Discussion on the direction of information construction of tobacco logistics industry and commerce integration under the background of digital transformation

Zhengjun Shan

The Logistics Center of Bijie Branch, Guizhou Provincial Tobacco Company, BiJie, Guizhou, 551700, China

Abstract

Under the background of digital transformation, the logistics system of tobacco industry is facing the urgent need of efficiency improvement and resource service optimization. The development goal of tobacco enterprises is moving towards the direction of green cycle, and the logistics information construction of industrial and commercial integration has become the key path to promote the high-quality development of tobacco industry and realize its planning goal. This paper explores the current situation and problems of tobacco logistics industry and commerce integration information construction, analyzes its core technology application direction in digital transformation, and puts forward the construction strategy of information logistics management platform, hoping to realize the intensification of the whole chain of tobacco supply chain, and provide some research help for the modernization development of tobacco industry.

Keywords

digital transformation ; tobacco logistics ; integration of industry and commerce ; information construction

数字化转型背景下烟草物流工商一体信息化建设方向探讨

单正军

贵州省烟草公司毕节市公司物流中心, 中国·贵州 毕节 551700

摘 要

在数字化转型的时代背景下, 烟草行业物流体系正面临效率提升以及资源服务优化的迫切需求, 烟草企业的发展目标正在朝着绿色循环的方向建设, 而工商一体化的物流信息化建设已然成为了推动烟草行业高质量发展, 实现其规划目标的关键路径。本文就围绕烟草物流工商一体信息化建设现状及其问题展开探究, 并且分析了其在数字化转型中的核心技术应用方向, 并提出了信息化物流管理平台的构建策略, 希望能够实现烟草供应链全链条的集约化, 为烟草行业现代化发展提供一定的研究帮助。

关键词

数字化转型; 烟草物流; 工商一体; 信息化建设

1 引言

随着数字经济的快速发展, 烟草行业作为国民经济的关键构成, 其物流体系正经历从传统模式向数字化方向的不断变革。当下烟草工商企业间的信息孤岛与资源调配效率不足等问题严重制约了其供应链的整体效能, 急需通过信息化手段打通生产运输及销售的全链路数据。因而本文便以“工商一体信息化建设”为切入点, 结合数字化转型趋势分析烟草物流的升级路径, 探讨技术赋能下的协同创新模式, 以期烟草行业降本增效发展提供新思路。

2 烟草物流工商一体化信息化建设现状

信息化平台的建设以满足工商一体化业务需求为核心目标, 通过整合工业企业与商业企业的物流资源, 实现了供应链全流程的统筹管理, 此平台打破了传统工商企业间的信息壁垒, 构建了统一的数据交互标准, 从订单管理到仓储调度, 再到运输配送等关键环节都实现了无缝衔接。比如工业企业的生产计划与商业企业的销售需求可通过系统实时对接, 动态调整库存分布, 减少运输成本, 有效提升了整体运营效率, 同时平台还支持智能算法驱动的路径优化, 进一步降低了物流成本, 缩短了响应时间, 为烟草供应链的敏捷化运作奠定了基础^[1]。在基础业务功能完善的基础上, 信息化建设持续向纵深拓展, 不断延伸功能边界以适应行业发展的新需求, 平台通过模块化设计, 预留了与未来区域一体化物流体系的对接能力, 确保系统具备良好的兼容性, 部分试点

【作者简介】单正军（1983-），男，中国贵州毕节人，硕士，工程师，从事烟草物流信息化研究。

区域已开始探索跨省协同配送模式，信息化平台通过标准化接口实现不同区域物流数据的互联互通，为更大范围的资源整合创造条件。同时平台还引入了人工智能及物联网等先进技术，推动仓储管理向智能化方向发展，通过部署智能分拣机器人及自动化立体仓库，实现了库存精准高效作业，大幅降低了人工干预比例，提升了作业准确率。

3 烟草物流工商一体信息化建设中的问题

3.1 工商业务的标准需统一

长期以来，工商企业在物流运作上采取各自为政的独立模式，分散化的管理模式虽然在一定程度上保证了单个业务节点的运作效率，却也造成了整体供应链协同的严重割裂。在业务流程方面，工商企业采用不同的作业管理标准，工业端普遍采用以生产批次为核心的仓储管理模式，而商业端则更倾向于以销售区域为导向的配送体系；在数据交互方面，双方信息系统采用差异化数据标准，导致关键业务数据难以实时共享互通；在设备接口方面，自动化仓储设备及分拣系统缺乏统一的技术规范，造成物流硬件资源的整合困难。此类标准不统一的现状带来了多重运营挑战，比如在订单协同环节，由于工商企业采用不同的订单处理流程与编码规则，导致信息传递过程中需要频繁进行数据转换，其不仅增加了人工干预成本，还容易产生信息失真；而在仓储管理方面，工业仓库与商业配送中心的库存管理标准存在差异，使得库存可视化程度降低，影响了整体库存周转效率；在运输调度环节，由于缺乏统一的车辆管理标准，难以实现跨工商的联合配送，造成运力资源浪费，在此基础上，此标准割裂还阻碍了大数据分析等新技术的应用效果，因为分散的数据标准使得全链条的数据价值难以被充分挖掘。

3.2 工商供应链需全局性优化

虽然工商企业的物流资源在形式上完成了初步整合，但其在实际运营中仍存在明显的效率瓶颈，在仓储环节，工业企业的原料仓储与商业企业的成品仓储尚未形成统一调度机制，导致库存周转率偏低；在运输环节，工商企业的运输资源缺乏统筹规划，车辆空载率和重复运输现象较为普遍；在配送环节，城乡配送网络布局不均衡，难以实现配送资源的最优配置。此类问题的根源在于现有的信息化建设未能真正从供应链全局视角出发进行系统设计，而是停留在局部环节的数字化改造层面，由此可见供应链全局优化的缺失主要体现在三个维度，首先是资源协同维度，工商企业的物流设施尚未建立统一的调度平台，资源利用率存在较大提升空间，然后是流程衔接维度，从原料采购到成品配送的整个供应链流程中存在多处断点，各环节的数据业务协同有待加强，并且由于缺乏贯穿全链条的数据分析体系，管理决策往往基于局部信息而非全局最优^[1]。

3.3 工商信息共享能力需提升

当前烟草物流体系在推进工商协同过程中面临着严峻

的信息孤岛问题，工业企业的生产数据与库存信息，和商业企业的销售数据及配送需求之间存在严重的信息不对称，从而致使供应链各环节难以实现精准对接协同。从具体业务场景来看，原料采购环节缺乏对商业端市场需求的准确预测，生产计划制定时难以获取终端销售实时数据，仓储管理中存在工商库存信息更新滞后，配送调度时无法实时掌握工业端出库进度等问题层出不穷，各种信息壁垒不仅造成了物流资源的严重浪费，还大幅降低了供应链的整体响应速度。深入分析信息共享能力不足的成因，主要存在三个层面的障碍，在技术层面，工商企业采用不同的信息系统架构标准，工业 ERP 系统与商业物流管理系统之间缺乏统一的数据接口规范，使得信息传输需要频繁进行格式转换；管理层面，工商企业间尚未建立有效的信息共享机制，数据使用权限界定不清晰，各部门存在数据保护主义倾向；操作层面，缺乏专业的信息管理团队与工作流程，信息更新不及时的情况时有发生。

4 烟草物流工商一体信息化建设方向

4.1 基础架构统一化

烟草物流信息化建设已从分散独立的系统开发阶段，逐步过渡到以行业统一平台为核心的整体架构重构阶段，此转变的核心价值在于通过构建标准统一且开放互联的基础技术架构，彻底打破工商企业间的信息壁垒，实现从原料采购到生产制造再到商业配送的全链条数据贯通。目前行业内部已率先完成了生产经营管理平台的统一搭建，整合了二维码管控平台，“盒条件”关联管理系统，“条零”关联管理子系统以及行业调控系统等关键功能模块，所有的系统在统一的技术标准与数据规范下实现了有机融合，为后续的深度应用拓展奠定了坚实基础^[1]。基础架构统一化的内涵主要体现在三个维度，技术标准维度建立了涵盖数据采集传输到存储应用全流程的统一技术规范，确保各子系统间的互联互通，数据治理维度制定了行业级的数据交换协议，实现工商企业间关键业务数据的无缝流动，应用架构维度采用了模块化设计理念，构建可扩展配置的平台体系，可以满足不同业务场景的个性化需求。以件烟二维码入库流程优化为例，在统一平台架构下，通过将件烟二维码与托盘二维码进行智能关联，实现了从单件管理到整托盘管理的功能升级，当带有二维码的件烟进入仓储区域时，RFID 读写设备会自动识别件烟信息并与托盘标识进行绑定，形成“托盘-件烟”的多级关联关系，其创新模式使得出入库作业单元从原来的单件提升到整托盘，作业效率提高了3倍以上，同时基于统一架构的仓储管理系统还能实时更新库存状态，与运输管理系统自动协同，从而实现提前准备装卸资源及配送车辆，形成连贯的物流作业链条。

4.2 功能实现全面化

烟草物流工商一体建设正朝着功能实现全面化的方向

快速发展,其发展方向主要包含三个相互支撑的维度,分别为全方面数据集成,全覆盖业务执行以及全方位物流管控,共同构成了现代烟草物流体系的完整功能架构。全方面数据集成作为基础工程,重点解决长期制约行业发展的信息孤岛问题,通过构建集中统一的云原生数据集成共享平台,采用“平台+应用”的架构模式,不仅制定了涵盖数据采集传输到存储应用全流程的统一标准体系,包括数据元标准及接口规范等关键技术规范,还创新性地引入了数据中台技术,将企业的生产运营数据以及第三方物流数据进行深度融合,实现了供应链全要素数据的实时汇聚分析;全覆盖业务执行着力构建适应新型物流模式的智能化业务体系,基于微服务架构搭建的综合性业务平台,不仅覆盖了传统的仓储管理及运输调度等基础功能,更重点拓展了工商在途智能调度与路径规划等创新应用场景^[4]。以在途调度系统为例,通过整合工商双方的运输需求,运用人工智能算法实现动态拼车,将车辆装载率从原来的65%提升至90%以上,同时依托5G与物联网技术,构建了“端-边-云”协同的实时监控网络,能够对在途货物进行厘米级定位等环境参数的全程监控,确保商品品质安全,在分拣环节则引入了视觉识别和机器人技术,实现了从“人找货”到“货找人”的智能化转变,分拣准确率达到99.99%,效率提升3倍,其创新应用不仅适应了工商一体化运营的需求,也为未来区域物流一体化发展预留了扩展空间;全方位物流管控作为保障机制,构建了多层次的数字化管控体系,以物流信息平台为载体,运用大数据分析和可视化技术,建立了包含资源成本及服务质量等维度的综合评价指标体系,实现对物流全过程的精细化管理,在资源成本管控方面,通过建立统一的资源管理平台,对物流资源进行动态监控,资源利用率提升35%以上,而在运营对标管理方面,构建了行业级的物流KPI数据库,支持不同区域的对标分析,帮助识别管理短板,最后在绩效考核方面,开发了基于区块链技术的绩效评价系统,确保考核数据的不可篡改性,实现考核过程的透明公正。

4.3 技术引领前沿化

技术前沿化建设主要体现在智能可视化平台的构建,自动化作业流程的改造,以及数据驱动决策体系的建立,在智能可视化平台建设方面,通过整合物联网与三维建模等前

沿技术,构建了覆盖供应链全流程的数字孪生系统,实现了从原料入厂到成品配送的全程动态可视化监控,该平台不仅能够实时展示各地仓储库存水平,在途运输位置与分拣作业进度等关键运营数据也会得到有效监控,同时还能基于预测算法模拟不同调度方案的实施效果,为管理决策提供直观参考;在自动化作业流程改造方面,创新应用了RPA及计算机视觉等智能化技术,系统性地推进基础管理作业的自动化转型,其中RPA技术被广泛应用于订单处理与报表生成等重复性工作场景,通过软件机器人模拟人工操作,实现7×24小时不间断作业;数据驱动决策体系的建立标志着烟草物流管理从经验主导向科学决策的历史性转变,通过构建集数据采集清洗及应用于一体的智能决策平台,整合工商企业内外部多源异构数据,运用人工智能技术实现了从被动响应到主动预测,从事后分析到事前预警的管理升级^[5]。在需求预测方面,通过分析历史销售数据及市场趋势等多维因素,建立预测模型准确度达到90%以上,使库存周转率提升25%,在路径优化方面,结合实时交通数据与车辆状态等参数,动态生成最优配送路线,降低运输成本15%-20%。

5 结语

综上所述,数字化转型为烟草物流的工商一体化建设提供了前所未有的技术支撑,通过构建智能协同的信息化物流管理平台,烟草行业能够有效整合上下游资源,实现物流全流程的动态优化,今后随着5G及区块链等技术的深度融合,烟草物流将进一步向着绿色化方向演进,为行业应对市场变革注入持续动力。

参考文献

- [1] 夏宇,王庆贤,徐存意,等.基于信息化平台的烟草物流工商一体化仓储调度模式研究[J].运输经理世界,2024,(35):74-76.
- [2] 史可.烟草行业物流智能信息化的思考[J].中国物流与采购,2022,(17):83-84.
- [3] 庞家红.刍议烟草工业企业信息化与内部物流整合发展[J].现代工业经济和信息化,2022,12(05):256-257.
- [4] 雷宇.烟草行业物流智能信息化的思考[J].中国物流与采购,2022,(01):69-70.
- [5] 王生华.浅谈烟草工业企业信息化与内部物流整合发展[J].数字技术与应用,2021,39(09):168-170.

Research on the Construction of Intelligent Early Warning System for Safety Production Risks in Tobacco Enterprises Driven by Big Data and Artificial Intelligence

Jiangran Geng

Tobacco Monopoly Bureau (Branch) of Yongnian District, Handan City, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

Safety production risk prevention and control is a key issue in the development process of industrial society. Traditional management models have significant limitations in terms of risk identification accuracy and response efficiency. Globally, high-risk industries such as steel manufacturing and chemical production have begun to explore the practical path of intelligent early warning systems, but there is still a research gap in technology integration mechanisms and early warning model optimization. At the same time, the safety production management of the tobacco industry lags behind in this field. The safety production risks of tobacco enterprises present multi-source heterogeneous characteristics, including dynamic fluctuations in equipment operation status and the interactive effects of human operation and environmental factors. The research focuses on building a data-driven early warning system framework, aiming to break through the constraints of traditional empirical decision-making, promote the transformation of safety production management in the tobacco industry towards proactive prevention, and provide theoretical support and technical solutions for modern enterprise risk governance.

Keywords

big data; artificial intelligence; System construction

大数据与人工智能驱动下的烟草企业安全生产风险智能预警体系构建研究

耿江然

邯郸市永年区烟草专卖局（分公司），中国·河北 石家庄 050000

摘 要

安全生产风险防控是工业社会发展进程中的关键课题，传统管理模式在风险识别精度与响应效率方面存在显著局限。全球范围内，钢铁制造、化工生产等高危行业已开始探索智能预警系统的实践路径，但技术融合机制与预警模型优化仍存在研究空白，同时烟草行业安全生产管理在此领域表现较为滞后。烟草企业安全生产风险呈现多源异构特征，既有设备运行状态的动态波动，也包含人为操作与环境因素的交互影响。研究聚焦于构建数据智能驱动的智能预警体系框架，旨在突破传统经验决策的桎梏，推动烟草行业安全生产管理向主动预防转型，为现代企业风险治理提供理论支持与技术方案。

关键词

大数据；人工智能；体系构建

1 引言

企业安全生产环境中的风险要素具有隐蔽性和突变性，传统监测手段难以应对非显性风险演变规律。烟草企业安全生产管理理论强调全过程风险控制，但在动态场景中缺乏有效的决策支持工具。风险管理理论的发展为风险量化评估奠定基础，但未完全解决复杂系统的实时预警需求。大数据技术在设备状态监测和事故溯源中的应用取得进展，人工智能

算法在图像识别和模式预测方面的突破为风险智能分析开辟新路径。现有研究尚未形成完整的智能预警框架，关键在于如何实现多源数据融合与风险评估模型的协同优化。本研究拟建立融合时空特征的预警体系，探索智能算法在风险演化规律挖掘中的创新应用，着力提升烟草企业安全生产风险的前瞻预判能力。

2 相关理论基础

2.1 安全生产管理理论

安全生产管理理论作为现代工业安全治理的核心范式，其演进过程映射着人类对风险认知的螺旋式深化轨迹。该理

【作者简介】耿江然（2000-），男，中国河北高邑人，本科，从事大数据与人工智能研究。

论体系植根于系统论与控制论交叉领域,强调将生产活动视为动态能量交换的复杂巨系统,主张通过结构化流程设计消弭人机环管要素间的耦合风险。如:烟草企业安全生产标准化规范、双重预防机制体系等,其核心机理在于建立覆盖全生命周期、全要素参与的风险管控闭环,运用层次分析法解构设备失效、操作异常与环境扰动等多维度致因链,形成从危险源辨识到控制措施实施的递阶传导机制。近年来随着韧性理论的发展,安全生产管理框架开始融入自适应调节能力建设,着重提升系统在非预期扰动下的抗毁恢复特性。经典PDCA循环模型与数字化技术的深度融合,催生出基于实时数据流的风险态势感知模式,使传统静态安全管理向预测性主动防御转型。这种理论重构不仅强化了风险管理的前瞻维度,更通过多主体协同机制破解了跨部门信息孤岛难题,为构建智能预警体系奠定了跨学科方法论基础。

2.2 风险管理理论概述

风险管理理论作为复杂系统安全控制的方法论基石,其本质在于构建不确定性事件的认知与干预范式,这种认知体系源自概率论与系统动力学的交叉渗透。理论框架依托贝叶斯网络与蒙特卡洛模拟技术,将风险传导路径转化为多维状态空间中的概率分布问题,通过脆弱性分析与韧性评估建立风险能量的耗散模型。核心在于揭示风险要素在时间序列中的非线性叠加效应,运用马尔可夫决策过程捕捉风险状态的跃迁规律,实现从单点故障诊断向系统级联失效预测的思维跃迁^[1]。现代风险量化技术突破传统风险矩阵的维度限制,融合信息熵理论构建动态风险场模型,精准刻画人机交互界面能量异常释放的临界阈值。理论演进过程中形成的风险耦合解耦算法,为智能预警体系中的多源异构数据处理提供数学工具,使得隐性风险因子的关联关系得以在拓扑网络中被可视化解析。这种理论重构推动风险管理从静态评估转向实时演化预测,其内在机理与深度学习框架的时空特征提取能力形成深度契合,为构建具有自进化特性的智能预警系统开辟理论通道。

2.3 大数据在安全生产中的应用现状

大数据技术重塑安全生产风险治理的底层逻辑,其价值实现路径源于对多源异构数据的深度解析与智能重构。工业物联网架构下的分布式存储系统突破传统监测数据的时空约束,构建起覆盖设备振动频谱、气体浓度梯度、人员定位轨迹的多模态数据采集网络。流式计算框架与边缘计算节点的协同部署,使高频时序数据的实时清洗与特征提取成为可能,有效应对生产现场数据流的突发性与不确定性。知识图谱技术将离散的工艺参数、设备档案、应急预案转化为语义关联的可计算网络,为风险传导路径的逆向推演提供知识底座。深度学习算法在非结构化数据处理领域展现优势,红外热成像的纹理特征与声发射信号的频域模式被转化为风险预警的量化指标。迁移学习机制破解不同产线场景的数据分布差异难题,支持预警模型在有限标注数据条件下的快速

迭代优化。数据驱动的决策范式正逐步替代经验主导的传统模式,其核心在于建立数据流与风险场的动态映射关系,使隐性风险因子的关联规则得以在特征空间中显性表达。这种技术演进方向与安全生产管理的实时性需求深度契合,为构建具有时空预测能力的智能预警体系奠定数据治理基础。

3 安全生产风险的来源与特征

3.1 风险来源分析

安全生产风险来源的多元耦合特性构成现代工业系统安全治理的核心挑战,其生成机制植根于人机环管系统的非线性交互作用。设备运行阶段机械结构疲劳累积导致材料性能退化,形成潜在失效模式簇;工艺参数偏离设计阈值的渐变过程诱发能量失衡,触发连锁反应风险。人员操作层面认知偏差与行为模式失配,造成规程执行与动态工况的适应性断裂,此类人因风险具有隐蔽性与滞后性特征。环境维度中外部温度梯度、电磁干扰等参数的突变扰动,突破系统鲁棒性边界时可能引发不可逆损伤^[2]。更本质的风险策源地在于安全管理体系的动态适应性缺陷,安全规程更新速率滞后于技术迭代节奏,风险防控标准与真实工况存在认知鸿沟。各风险源在时空调制下形成复杂网络拓扑结构,局部节点失效通过能量传递路径触发级联效应。风险要素的跨介质传导特性使传统单维度监测手段难以捕捉完整风险图谱,设备振动信号与气体浓度波动的相位差可能隐含早期故障征兆。这种多源风险的交织状态要求预警体系必须建立跨尺度数据融合机制,方能实现风险因子的全息感知与协同解耦。

3.2 风险特征的识别

安全生产风险特征的动态复杂性源于系统要素间的多维度交织作用,其辨识过程本质上是非线性信号在混沌系统中的模式提取难题。风险表征呈现多层次时空演化特性,早期风险因子在设备振动谐波、热力学参数漂移等物理场中表现为微弱特征模态,具有低信噪比与高频振荡的识别障碍。风险传导路径的非线性耦合导致局部异常可能引发指数级放大的混沌效应,这种跨介质能量传递特征要求监测系统具备多物理场同步解耦能力。隐性关联风险的特征识别依赖深度学习框架的抽象表征学习,时空卷积网络可捕获设备状态参数的长期依赖关系,注意力机制则能聚焦关键节点的异常波动模式。特征漂移现象构成动态工况下的核心挑战,增量学习算法通过在线更新特征提取器参数,维持风险表征模型的环境适应性。风险特征的可解释性瓶颈正在被图神经网络与因果推理的融合架构突破,知识嵌入层将设备机理模型与数据驱动特征进行语义对齐,形成具有物理意义的特征解释通道。多维特征向量的张量分解技术可剥离环境噪声与真实风险信号,正交约束条件确保特征子空间保持物理过程的独立性。这种特征工程方法论的创新,使安全生产风险识别从单一阈值判断转向高维特征空间的模式聚类,为构建具有强泛化能力的智能预警系统提供特征计算基础。

4 安全生产风险智能预警体系构建

4.1 预警体系的框架设计

在异构数据流与动态风险场的双向映射需求驱动下,预警体系的框架设计聚焦于构建具备时空自适应能力的多层认知架构。体系内核采用边缘计算与云端协同的混合计算范式,分布式光纤传感网络与工业物联网协议栈融合形成多物理场数据采集层,自适应滤波算法消除环境噪声与设备本征振动的耦合干扰。传输层部署时间敏感网络保障振动波形与热成像数据的微秒级同步,协议转换网关实现 Modbus、OPC-UA 等多源异构数据的语义级融合。计算中台集成联邦学习机制破解数据孤岛困境,数字孪生模型通过多体动力学仿真引擎构建设备退化过程的可计算镜像。核心算法层采用动态贝叶斯网络建模风险要素的因果传导链,注意力网络捕捉跨设备节点的隐性关联特征,时空序列预测模块结合长短时记忆网络与 Transformer 架构解析风险演化轨迹。决策引擎引入博弈论优化策略生成风险处置方案,强化学习代理在虚拟仿真环境中完成应急响应策略的对抗性训练。模型更新机制依托在线迁移学习架构,基于领域自适应算法实现跨产线场景的知识迁移,特征解纠缠技术分离设备固有特性与突发风险的表征向量。可视化交互层运用混合现实技术构建三维风险热力图谱,风险态势推演模块结合元胞自动机模拟不同干预策略的级联效应^[3]。这种框架设计突破传统预警系统的单向信息流局限,形成数据驱动与机理模型共融的认知决策闭环,为动态工况下的风险态势预判建立可持续进化的智能基底。

4.2 大数据技术在预警体系中的应用

大数据技术的价值穿透效应在安全生产预警领域显现为对风险要素的全息感知与动态解构能力,其技术实施路径围绕多源异构数据流的时空对齐与语义融合展开。分布式数据湖架构的弹性扩展能力支撑设备振动波形、红外热谱等高频时序数据的持久化存储,流批一体处理引擎实现秒级数据新鲜度与历史规律挖掘的平衡。针对非结构化数据的特征穿透问题,三维点云配准技术将激光雷达扫描数据转化为可计算的几何拓扑特征,时序异常检测算法在滑动时间窗内捕捉压力容器的蠕变趋势。知识图谱构建过程中,本体论建模将设备维护日志与工艺文档转化为机器可理解的语义网络,图嵌入算法揭示风险传导路径的潜在模式。跨模态数据对齐技术突破声纹与振动信号的异构屏障,动态时间规整算法消除不同采样率数据的相位差异,形成多维传感数据的联合特征空间。数据治理层面,差分隐私机制在特征提取阶段注入噪声扰动,联邦学习架构下各生产单元的数据主权得到技术性

保障。边缘节点的轻量化模型部署策略解决带宽约束问题,模型蒸馏技术将云端训练的复杂网络压缩为适合终端运行的微型架构。

4.3 人工智能技术在风险评估中的应用

人工智能技术的非线性建模优势在安全生产风险评估领域重构了传统风险量化范式,其技术实现路径聚焦于复杂系统动态耦合关系的可计算性突破。深度学习架构中的深度残差网络提取设备振动频谱的时频域特征,图卷积网络建模多设备节点的风险传播拓扑,时空注意力机制捕捉工艺参数漂移与设备劣化的隐性关联。迁移学习框架克服不同产线场景的数据分布差异,域对抗训练使风险评估模型具备跨工厂的泛化能力。针对风险动态演化特性,强化学习代理在数字孪生环境中模拟千级风险处置策略,蒙特卡洛树搜索算法优化应急决策路径的全局最优解。知识蒸馏技术将专家经验编码为神经网络的可微损失函数,实现人类认知与数据规律的融合建模。元学习机制赋予模型快速适应新型风险的能力,小样本学习框架在有限故障数据下完成风险模式重构。联邦学习架构保障多生产基地协同优化风险评估模型的同时,维持数据隐私边界不被突破。可解释性人工智能技术通过梯度加权类激活映射,可视化风险传导路径的关键传感节点,因果推理模型辨识设备失效的根因链式关系。

5 结语

安全生产风险智能预警体系的构建标志着现代安全管理范式的根本转变。研究提出的框架设计有效整合了设备运行数据、环境参数与人员行为特征,实现了风险要素的全维度感知。大数据技术的深度应用突破传统数据处理的时空限制,人工智能算法在风险模式识别中展现出超越人类经验的判断能力。预警体系在风险评估精度与响应速度方面的提升,验证了技术融合方案的可行性。未来研究需关注动态场景下的模型自适应优化,探索边缘计算与数字孪生技术的集成应用。该体系为高危行业安全生产提供智能化解决方案,其方法论对城市公共安全、环境监测等领域具有借鉴价值,技术路径的持续完善将推动智能安全生态系统的建设进程。

参考文献

- [1] 赵黎冬,王德利,王永志,等.基于时空大数据的石油安全智能分析方法研究[J].地球物理学进展, 2023, 38(2):958-966.
- [2] 景坤,李晗,吕孟珍,等.大数据和人工智能助力生态环保类案件态势预警及技术研究[J].新潮电子, 2024(9):31-33.
- [3] 李依阳.总体国家安全观视域下人工智能风险防范与规制[J].争议解决, 2024, 10(5):175-180.

Recommendation system for intelligent physical examination items based on medication conditions: research progress, challenges and future prospects

Shuxin Zhao¹ Yue Wu² Min Zheng³ Lixin Zhang^{3*}

1. Information Department of People's Hospital of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

2. Group Work Department of Inner Mongolia People's Hospital (Trade Union), Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

3. Department of Pharmacy, People's Hospital of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

Abstract

With the increasing demand for health management, the traditional physical examination model is gradually difficult to meet the demand of precision medicine due to the lack of personalized recommendation ability. This paper focuses on the theme of "recommended physical examination project in the health management system based on personal medication situation", and sorts out the relevant research progress, technology implementation path, application challenges and future development direction. By integrating big data analysis, artificial intelligence algorithms and medical information standardization technologies, such systems can dynamically combine patients' medication history, disease history and physiological indicators to generate personalized physical examination programs, so as to optimize the allocation of medical resources and improve the efficiency of health management. This paper also discusses the core issues of data privacy, algorithm interpretability and lack of industry standards, and proposes multi-dimensional solutions.

Keywords

medication status; intelligent physical examination recommendation; personalized health management

基于用药情况的智能化体检项目推荐系统：研究进展、挑战与未来展望

赵舒心¹ 武岳² 郑敏³ 张丽新^{3*}

1. 内蒙古自治区人民医院信息部, 中国·内蒙古 呼和浩特 010000

2. 内蒙古自治区人民医院群团工作部(工会), 中国·内蒙古 呼和浩特 010000

3. 内蒙古自治区人民医院药学部, 中国·内蒙古 呼和浩特 010000

摘要

随着健康管理需求的日益增长, 传统体检模式因缺乏个性化推荐能力而逐渐难以满足精准医疗的需求。本文聚焦于“基于个人用药情况的健康管理系统推荐体检项目”这一主题, 梳理了相关研究进展、技术实现路径、应用挑战及未来发展方向。通过整合大数据分析、人工智能算法与医疗信息标准化技术, 此类系统能够结合患者的用药历史、疾病史及生理指标, 动态生成个性化体检方案, 从而优化医疗资源分配并提升健康管理效率。本文还探讨了数据隐私、算法可解释性及行业标准缺失等核心问题, 并提出了多维度解决方案。

关键词

用药情况; 智能化体检推荐; 个性化健康管理

【基金项目】内蒙古医学科学院公立医院科研联合基金科技项目(项目编号: 2024GLLH0069)。

【作者简介】赵舒心(1992-), 男, 蒙古族, 中国黑龙江人, 本科, 助理工程师, 从事体检信息化研究。

【通讯作者】张丽新(1988-), 女, 蒙古族, 中国内蒙古通辽人, 硕士, 副主任药师, 从事抗栓药物合理使用研究。

1 引言

1.1 传统体检模式的局限性

当前主流体检方案多以年龄、性别等基础人口学指标为依据, 采用“一刀切”模式设计。这种模式无法精准满足不同个体的健康需求。例如, 某三甲医院统计显示, 40 岁以上人群的体检套餐中, 约 35% 的项目(如骨密度检测)

对无骨质疏松风险者并无实际价值，造成了医疗资源的浪费。而部分高风险患者（如长期服用糖皮质激素者）却可能因套餐未覆盖骨代谢检查而漏诊，延误病情。

1.2 个性化健康管理的迫切需求

随着慢性病发病率攀升（WHO 数据显示，全球 70% 的死亡归因于慢性病），基于用药史的健康风险评估需求凸显。不同药物在治疗疾病的同时，也可能带来各种副作用和潜在风险。例如，糖尿病患者服用 SGLT-2 抑制剂时，其酮症酸中毒风险较其他降糖药更高，需针对性增加血酮检测；而长期使用质子泵抑制剂者，骨折与低镁血症风险显著上升，亟需骨代谢与电解质监测。因此，基于个人用药情况的个性化体检项目推荐至关重要。

1.3 本文研究框架

本文将从技术实现、应用场景与政策规范三方面展开论述。首先梳理健康管理系统的技术演进与用药数据整合现状；其次分析推荐算法设计、系统架构及数据安全挑战；最后结合国内外实践经验，提出标准化建设路径与未来发展方向。

2 研究现状

2.1 健康管理系统的技术演进

2.1.1 早期信息化阶段（2000-2010 年）

此阶段系统以数据录入与存储为核心功能，典型代表为基于 ASP.NET 的学生健康体检系统，其通过 Web 界面实现体检结果查询与统计报表生成。但数据孤岛问题突出，不同机构间的数据无法共享，限制了健康管理的全面性和连贯性。

2.1.2 数据整合阶段（2010-2020 年）

随着电子病历（EMR）与区域卫生信息平台（RHIN）的推广，系统开始整合多源数据。例如，美国 Kaiser Permanente 系统通过 HL7 协议对接药房数据，实现用药记录与体检项目的初步关联，为个性化体检推荐奠定了基础。

2.1.3 智能化阶段（2020 年至今）

人工智能技术的引入推动系统从“被动记录”转向“主动推荐”。如 IBM Watson Health 通过自然语言处理（NLP）解析非结构化用药记录，结合机器学习模型预测并发症风险，并生成动态体检方案，大大提高了体检推荐的精准性。

2.2 用药数据在体检推荐中的应用

2.2.1 药物副作用监测

非甾体抗炎药（NSAIDs）：长期使用可能导致胃肠道出血，系统可推荐便潜血检测与胃镜检查，及时发现潜在的胃肠道损伤。他汀类药物：与肝功能损伤相关，需定期监测 ALT/AST 指标，以便及时调整用药方案。抗抑郁药（如 SSRIs）：可能引发 QT 间期延长，建议心电图筛查，预防心脏疾病的发生。

2.2.2 慢性病管理优化

以高血压为例，服用 ACEI 类药物者需监测血钾与肾功能，因为这类药物可能影响血钾水平和肾脏功能；而钙通

道阻滞剂使用者应关注下肢水肿与牙龈增生情况。系统通过关联用药记录与靶器官损害标志物（如尿微量白蛋白），可制定差异化检查方案，更好地管理慢性病患者的健康。

2.2.3 药物相互作用预警

联合用药场景下，系统需识别潜在风险。例如：华法林 + 抗生素：后者可能增强抗凝效果，推荐 INR 检测频率提高至每周一次，防止出血风险增加。二甲双胍 + 造影剂：肾功能不全者易引发乳酸酸中毒，造影检查前需暂停药物并监测肌酐水平，保障患者安全。

3 关键技术实现

3.1 数据整合与标准化

3.1.1 多源数据采集

结构化数据：电子处方（RxNorm 编码）、实验室结果（LOINC 标准）、影像报告（DICOM 格式），这些数据格式规范，便于系统直接读取和分析。非结构化数据：医生手写病历（通过 OCR+NLP 提取实体）、患者自述症状（语音转文本分析），虽然处理难度较大，但能提供更为丰富的临床信息。

3.1.2 数据清洗与映射

冗余数据处理：利用规则引擎（如 Apache NiFi）剔除重复记录，提高数据质量。术语标准化：将不同机构使用的药品名称（如“阿司匹林”与“乙酰水杨酸”）统一映射至 ATC 分类系统，确保数据的一致性和可比性。

3.2 推荐算法设计

3.2.1 基于规则的推荐

临床指南驱动：例如，美国糖尿病协会（ADA）指南建议使用 SGLT-2 抑制剂者每 3 个月监测一次血酮水平，系统可依据此类指南制定推荐规则。专家知识库构建：通过德尔非法收集临床专家经验，形成“药物 - 检查项目”关联规则库，为推荐提供可靠依据。

3.2.2 机器学习模型

监督学习：使用随机森林算法，以用药记录、人口学特征为输入，预测并发症风险（AUC 可达 0.87），提高推荐的准确性。无监督学习：通过聚类分析识别高风险用药模式，如老年患者多重用药组合与跌倒风险的关联，发现潜在的健康风险。

3.2.3 深度学习应用

时序模型：利用 LSTM 网络分析长期用药趋势，预测未来 3-6 个月的检查需求，实现前瞻性的体检推荐。图神经网络（GNN）：构建“药物 - 疾病 - 检查项目”知识图谱，提升推荐解释性，让医生和患者更好地理解推荐依据。

3.3 系统架构设计

3.3.1 微服务架构

服务拆分：独立部署数据采集、算法引擎、结果推送模块，提高系统可扩展性，便于系统的维护和升级。API 网关：采用 Kong 或 Spring Cloud Gateway 统一管理接口权限，保障系统的安全性。

3.3.2 技术栈选型

前端：Vue.js 框架实现动态表单，支持用药记录逐项录入与自动补全，提升用户体验。后端：Spring Boot 整合规则引擎（Drools）与机器学习模型（Python Flask 服务），实现系统的核心功能。数据库：时序数据库 InfluxDB 存储动态生理指标，Neo4j 管理知识图谱关系，满足不同类型数据的存储需求。

4 应用挑战与对策

4.1 数据隐私与安全

4.1.1 隐私泄露风险

案例：2023 年某健康平台因未脱敏处理用药数据，导致 50 万用户信息遭泄露，给用户带来了极大的安全隐患。解决方案：联邦学习：医疗机构本地训练模型，仅共享参数更新（如 Google TensorFlow Federated），避免数据直接传输和泄露。差分隐私：在数据集中加入噪声，确保个体信息不可追溯（ $\epsilon=0.1$ 时数据效用损失 $<5\%$ ），平衡数据隐私和可用性。

4.1.2 数据共享意愿低

调查显示：仅 32% 的患者愿将用药数据授权给第三方系统。激励机制：采用区块链通证（Token）奖励数据贡献者，如 Hedera Hashgraph 平台，提高患者的数据共享积极性。

4.2 算法可解释性

临床医生反馈：78% 的医师拒绝采纳无法解释的 AI 推荐结果，这严重限制了智能化体检推荐系统的应用。可解释技术：LIME（局部可解释模型）：高亮影响推荐的关键用药特征，让医生和患者直观了解推荐原因。决策树可视化：展示从“用药时长 >6 个月”到“推荐肝功能检查”的推理路径，增强推荐的可解释性和可信度。

4.3 行业标准缺失

4.3.1 术语不统一

现状：国内医院使用至少 15 种不同的药品编码系统，这给数据的整合和共享带来了极大困难。标准化路径：强制实施：卫健委推行《医疗健康信息互联互通标准化成熟度测评》，规范行业术语。工具支持：发布开源术语映射工具（如 Apache cTAKES），帮助医院统一术语。

4.3.2 接口兼容性差

互操作性测试：参照 IHE（Integrating the Healthcare Enterprise）框架制定对接规范，提高不同系统间的接口兼容性，促进医疗信息的流通。

5 未来展望

5.1 技术融合创新

在未来，技术融合创新将为基于用药情况的智能化体检项目推荐系统带来更多突破。

基因组学整合：基因组学的研究成果为个性化医疗开辟了新方向。药物代谢酶基因型存在多种差异，以 CYP2C19 多态性为例，不同的基因类型决定了人体对某些

药物的代谢速度不同。这意味着相同的药物在不同人身上可能产生不同效果和副作用。将基因组学整合到体检推荐系统中，能够依据个体的基因特征，量身定制体检计划。比如，携带特定 CYP2C19 基因变异的人群，在服用抗凝血药物时，出血风险更高。系统可以据此提高凝血功能相关检查的频率，从而实现更精准的个性化体检推荐，大大提升体检的针对性和有效性。

实时监测闭环：可穿戴设备的普及为实时健康监测提供了便利。以连续血糖仪为例，它能够不间断地监测血糖水平，并将数据实时传输给智能化体检推荐系统。一旦血糖数据出现异常波动，系统会迅速响应，自动触发相关体检推荐。例如，当检测到血糖持续偏高时，系统可能推荐进行糖化血红蛋白检测，评估过去一段时间的平均血糖水平，以便及时发现潜在的糖尿病风险，实现疾病的早期干预。这种实时监测闭环，让体检推荐更加及时、准确，有效保障了人们的健康。

跨机构协作网络：建立区域健康管理联盟，推动医院、药房和体检中心之间的数据互通，是优化医疗资源配置的关键举措。医院拥有患者的诊疗数据，药房掌握用药信息，体检中心能提供全面的健康检查结果。通过跨机构协作网络，各方数据得以共享，医生可以综合分析这些信息，为患者制定更科学的体检方案，避免重复检查，提高医疗资源的利用效率，为患者提供更便捷、高效的健康管理服务。

5.2 用户参与度提升

教育平台：开发用药知识科普模块，有助于增强患者的自主管理意识。很多患者对药物的作用、使用方法和潜在风险了解不足，通过科普模块，以通俗易懂的方式介绍各类药物知识，患者能更好地理解体检推荐与用药之间的关系，从而更加积极地配合体检，提高健康管理的效果。

个性化推送：基于用户行为数据，如点击偏好，对推荐界面进行优化，能够显著提升用户体验。系统根据用户的浏览习惯，精准推送符合其需求的体检项目，使推荐界面更加贴合用户心意，进而提高用户满意度，促进智能化体检推荐系统的广泛应用。

基于用药情况的智能化体检项目推荐系统具有巨大的发展潜力。虽然目前面临着诸多挑战，但随着技术的不断进步和行业标准的逐步完善，该系统有望为人们提供更加精准、高效的健康管理服务，推动医疗行业向精准医疗的方向迈进。未来，还需要持续关注技术融合创新和用户体验提升，以实现该系统的广泛应用和可持续发展。

参考文献

- [1] 陈菲菲;董曦浩;滕天立;等.未来医院药物管理新模式的探索——数智药学大脑建设与实践经验[J].中国现代应用药学,2022(21):2738-2743.
- [2] 林国全.浅谈健康体检管理系统在个性化体检中的设计与应用.科技资讯,2017(01):8+10.
- [3] 潘长玲.大数据分析在健康管理领域中的应用及挑战[J].现代医学与健康研究电子杂志,2018(09):135-136

Identification and avoidance of information system key management risk

Wenxia Yin

Dengbao (Shanghai) Enterprise Development Co., Ltd., Shanghai, 201601, China

Abstract

Key is the cornerstone of information system security, key management risk identification and avoidance is the focus of information system development, use, evaluation. This paper systematically analyzes the security risk control points of information system key management from the aspects of cryptographic algorithm compliance, key management standardization and security protection effectiveness. The typical problems in the whole life cycle of the key, such as lack of randomness, lack of transmission security, insecure storage, non-compliant use, incomplete update and destruction, are deeply discussed. In order to solve these problems, an improvement strategy is proposed to meet the requirements of security assessment for commercial cryptography applications.

Keywords

commercial cryptographic application security assessment, key management, information system security, cryptographic technology

信息系统密钥管理风险识别与规避

殷文霞

等保（上海）企业发展有限公司，中国·上海 201601

摘 要

密钥是信息系统安全的基石，密钥管理风险识别与规避是信息系统研发、使用、评估的重点。本文从密码算法合规性、密钥管理规范、安全防护有效性等维度，系统分析信息系统密钥管理的安全风险控制点。深入探讨密钥全生命周期中的典型问题，如随机性不足、传输安全性缺失、存储方式不安全、使用不合规、更新与销毁不彻底等。针对这些问题，提出符合商用密码应用安全性评估（密评）要求的改进策略。

关键词

商用密码应用安全评估、密钥管理、信息系统安全、密码技术

1 引言

密码技术作为信息安全的基石，通过对数据的加密和解密，保障信息的保密性、完整性与可用性。而密钥，作为密码技术的核心，如同开启信息安全之门的钥匙，其管理质量直接决定密码系统乃至整个信息系统的安全效能。信息系统密钥管理实践中的问题进行剖析，并探索有效的突破路径，具有重要的现实意义与实践价值。

2 密钥管理实践中的风险识别

2.1 密钥生成环节问题

随机性与不可预测性不足：密钥生成应具备足够的随机性和不可预测性。然而在实践中，部分信息系统为简化开发流程，采用伪随机数生成器来生成密钥。伪随机数生成器（PRNG）基于特定算法和初始种子值产生序列，若种子值

选取不当或算法存在缺陷，生成的密钥易被预测。密钥协商前活协商过程中没有验证对方身份真实性。即使采用硬件随机数生成器（HRNG），但未采用通过认证的随机数发生器生成密钥，且无公开文献和证据证明随机数发生器的合理性和正确性。

密钥长度与强度不符：一些信息系统为节省资源或因开发人员对标准理解不足，选择较短的密钥长度。如在对数据保密性要求较高的金融交易场景中，应使用高强度的 256 位 AES 密钥，部分系统却仍采用 128 位甚至更低强度的密钥，大大增加了密钥被暴力破解的风险。

2.2 密钥分发环节问题

传输安全性缺失：密钥分发过程需确保密钥在传输过程中的保密性和完整性。然而，部分信息系统在密钥分发时，未对传输的密钥进行加密处理，直接以明文形式在网络中传输。例如，一些内部信息系统认为网络环境安全，忽略了内部网络也存在被攻击的可能性，攻击者可通过网络嗅探技术截获明文密钥。即使对密钥进行了加密传输，若采用的加密

【作者简介】殷文霞（1979-），女，中国江苏人，硕士，工程师，从事信息安全研究。

算法强度低或加密密钥管理不善,也无法保证传输安全。此外,在密钥传输过程中,若未采用消息认证码(MAC)等技术保证数据完整性,攻击者可能篡改密钥,导致接收方使用错误密钥进行加密或解密操作。

身份认证机制不完善:准确验证接收方身份是密钥分发的关键。实践中,部分信息系统的身份认证机制过于简单,容易被绕过。比如仅依靠用户名和弱口令进行身份验证,攻击者可通过暴力破解或社会工程学手段获取合法用户的认证信息,冒充接收方获取密钥。还有些系统在密钥分发过程中,缺乏对发送方和接收方的双向身份认证,导致中间人攻击风险增加,攻击者可在通信双方不知情的情况下截取并篡改密钥分发信息。

2.3 密钥存储环节问题

存储方式不安全:密钥应采用加密等安全方式存储。但许多信息系统为方便访问和使用,将密钥以明文形式存储在数据库或文件系统中。一旦系统遭受攻击,数据库或文件被窃取,密钥将直接暴露给攻击者。即使采用了加密存储,若加密密钥同样存储在不安全位置或保护措施不当,攻击者获取加密密钥后,仍可轻易解密存储的密钥。而且,用于加密密钥的口令以明文的形式存储或复杂度小于 10^{12} 另外。

存储介质管理不善:密钥存储介质的管理至关重要。在实际情况中,一些企业对存储密钥的介质,如USB密钥、智能卡等,缺乏严格的登记、保管和使用记录。存储介质可能随意放置,易丢失或被盗取。部分系统密钥(除公钥外)未设置访问控制机制,可以被非授权访问、使用、泄露、修改和替换。此外,当存储介质达到使用寿命或不再使用时,未按照标准要求进行安全销毁,残留的密钥信息可能被恢复利用。

2.4 密钥使用环节问题

使用不合规:密钥应按照特定用途和权限使用。但在实际应用中,存在密钥滥用现象。例如,本应用于数据加密的密钥被用于数字签名,或者低权限用户获取高权限密钥进行操作。这不仅违反了密钥使用的合规性原则,还可能导致安全漏洞。

审计与监控缺失:对密钥使用进行审计和监控能够及时发现异常操作。然而,许多信息系统未建立完善的密钥使用审计机制,无法记录密钥使用的时间、用户、操作等详细信息。当出现密钥泄露或滥用事件时,难以追溯原因和责任。同时,缺乏实时监控机制,不能及时发现异常的密钥使用行为,如短时间内频繁使用密钥进行大规模数据解密,可能预示着系统遭受攻击,但因无监控机制无法及时察觉并采取措施。

2.5 密钥更新、销毁环节问题

密钥更新不及时:随着时间推移和技术发展,密钥可能面临更高的破解风险,因此需定期更新。但实践中,部分信息系统未按照规定的周期或条件进行密钥更新。一方面,

可能由于系统维护人员对密钥更新重要性认识不足,忽视了密钥更新工作;另一方面,密钥更新涉及系统多个模块的调整和数据迁移,操作复杂,部分企业因担心影响业务正常运行而拖延更新。长期使用同一密钥,大大增加了密钥被破解的可能性,一旦密钥泄露,将对整个信息系统安全造成严重威胁。

密钥销毁不彻底:当密钥不再使用时,需进行安全销毁,防止密钥残留带来安全隐患。然而,在实际操作中,许多系统未能做到彻底销毁密钥。例如,在删除存储密钥的文件时,只是简单删除文件索引,而存储设备上的数据并未真正擦除,攻击者可通过数据恢复技术获取残留的密钥信息。此外,对于一些采用硬件加密模块存储的密钥,在硬件设备报废时,未对其中的密钥进行彻底清除,导致报废设备可能成为密钥泄露的源头。

3 基于密评要求的密钥管理优化策略

3.1 密钥生成环节

强化随机数生成机制:为确保密钥生成的随机性与不可预测性,信息系统应采用经过国家密码管理部门认证的高质量随机数生成器。硬件随机数生成器(HRNG)基于物理噪声源产生随机数,如热噪声、量子现象等,能提供更高的随机性。对于采用伪随机数生成器(PRNG)的系统,需严格选取不可预测的种子值,并定期更新种子。

合理确定密钥长度与强度:对于金融、医疗等对数据保密性要求极高的领域,应优先采用高强度的加密算法和足够长度的密钥,如256位的AES密钥用于数据加密。同时,密切关注密码学技术的发展动态,及时更新加密算法和密钥长度标准。

3.2 密钥分发环节

保障传输安全:在密钥分发过程中,必须采用高强度的加密算法对密钥进行加密传输。例如,使用SSL/TLS协议对传输通道进行加密,确保密钥在网络传输过程中的保密性。同时,结合消息认证码(MAC)技术,为传输的密钥数据附加认证信息,接收方通过验证MAC来确保密钥的完整性。此外,引入密钥封装机制(KEM),将对称密钥用接收方的公钥进行加密封装后传输,进一步提高传输的安全性。在选择加密算法和密钥封装方式时,要遵循国家标准和行业最佳实践,并根据实际情况定期更新算法和参数。

完善身份认证机制:构建多层次、强身份认证体系,提升密钥分发的安全性。除传统的用户名/口令认证外,引入多因素认证方式,如基于硬件令牌的动态口令认证、生物特征识别(指纹、面部识别等)。在密钥分发过程中,实施严格的双向身份认证,发送方和接收方相互验证对方的身份。例如,采用数字证书进行身份验证,双方通过交换数字证书并验证证书的有效性和真实性,确保通信双方身份可靠。同时,建立身份认证审计机制,详细记录每次身份认证

过程,以便在出现问题时进行追溯和分析。

3.3 密钥存储环节

优化存储方式:采用加密存储是保障密钥安全存储的关键。使用专门的密钥管理系统(KMS),对密钥进行加密存储,并采用分层密钥架构,主密钥用于加密保护其他密钥。对于存储在数据库或文件系统中的密钥,采用对称加密算法进行加密,并将加密密钥妥善保管。同时,对存储密钥的设备和系统进行严格的访问控制,仅授权人员能够访问密钥存储位置。设置细粒度的访问权限,根据用户角色和业务需求分配不同的访问级别,防止密钥被越权访问。

加强存储介质管理:建立完善的存储介质管理制度,对存储密钥的USB密钥、智能卡等介质进行详细登记,包括介质编号、使用人、存储密钥类型等信息。设置专门的存储区域,对存储介质进行集中保管,采用保险柜、加密存储柜等物理防护措施,防止介质丢失或被盗。定期对存储介质进行检查和维护,监测其存储状态和使用寿命,及时更换老化或损坏的介质。当存储介质不再使用或达到使用寿命时,采用符合国家标准的安全销毁方法,如多次数据擦除、物理粉碎等,确保密钥信息无法恢复。

3.4 密钥使用环节

规范密钥使用:制定严格的密钥使用策略,明确规定每个密钥的使用范围、用途和权限。在系统设计阶段,将密钥使用权限与用户角色和业务功能紧密绑定,通过访问控制列表(ACL)等技术实现对密钥使用的精确控制。例如,只有具备特定权限的用户才能使用用于数据解密的密钥,且只能在授权的业务流程中使用。同时,定期对密钥使用策略进行审查和更新,确保其与业务需求和安全要求相匹配。加强对员工的培训,提高其对密钥使用合规性的认识,避免因误操作或违规行为导致密钥滥用。

建立审计与监控机制:搭建全面的密钥使用审计与监控系统,记录密钥使用的详细日志,包括使用时间、使用用户、操作类型、涉及数据等信息。通过审计日志,能够对密钥使用行为进行追溯和分析,及时发现异常操作。利用大数据分析和机器学习技术,对密钥使用模式进行建模和分析,实时监测密钥使用行为是否符合正常模式。例如,当出现异常的高频密钥使用或不符合权限的密钥操作时,系统立即发出警报,并采取相应的阻断措施。同时,定期对审计数据进行深度分析,总结潜在的安全风险和漏洞,为优化密钥管理策略提供依据。

3.5 密钥更新、销毁环节

及时进行密钥更新:建立密钥更新计划,根据标准以

及业务系统的安全需求,设定合理的密钥更新周期。例如,对于高度敏感的数据加密密钥,每季度或半年进行一次更新。在密钥更新过程中,采用安全的密钥过渡机制,确保新旧密钥的平稳切换,不影响业务的正常运行。先使用新密钥对部分数据进行加密,并逐步扩大使用范围,同时保留旧密钥一段时间以处理历史加密数据。另外,将密钥更新纳入系统维护计划,定期检查密钥更新执行情况,对未按时更新的密钥进行预警和督促更新。

确保密钥彻底销毁:当密钥不再使用时,遵循严格的密钥销毁流程。对于存储在电子设备中的密钥,采用多次覆写的方式进行擦除,确保原有密钥数据无法恢复。例如,使用专门的擦除工具,按照国家标准规定的擦除次数和模式对存储密钥的区域进行多次覆写。对于存储在物理介质上的密钥,如智能卡、USB密钥等,采用物理粉碎、消磁等方法进行销毁。在销毁过程中,进行详细记录,包括销毁时间、销毁方式、参与人员等信息,并由专人负责监督销毁过程,确保密钥被彻底销毁。

4 结论与展望

随着量子计算和人工智能(AI)技术的快速发展,密钥管理领域仍面临重大挑战。未来,信息系统密钥管理的优化不应仅局限于全生命周期的风险识别与规避,还需结合新兴技术趋势,探索更具前瞻性的安全增强方案。如制定面向PQC算法的密钥生命周期管理规范,确保后量子时代的密钥安全性,加快国产化量子随机数生成器(QRNG)的研发与应用,提升密钥生成的随机性与不可预测性;建立密钥操作行为的动态可信评估机制,结合AI技术实现异常行为的实时检测与响应;研究隐私计算环境下的多方密钥协商协议,确保分布式计算场景中的密钥安全交换等。我们在探索新技术的同时,仍需严格遵循密码应用基本要求,确保密钥全生命周期的安全管理。通过标准化、自动化手段,将合规要求融入量子安全、AI增强密钥管理等前沿领域,构建更健壮的信息安全体系。

参考文献

- [1] 裴斐.国密算法赋能的分布式加密存储系统及应用研究[J].网络安全和信息化,2025,(03):109-111.
- [2] 任飞.基于国家数据共享交换平台的数据存储密码改造应用实践[J].信息安全与通信保密,2025,(02):56-64.
- [3] 尹开贤.单位信息系统的安全防范与对策研究[J].网络安全和信息化,2025,(03):23-25.
- [4] 任飞.基于国家数据共享交换平台的数据存储密码改造应用实践[J].信息安全与通信保密,2025,(02):56-64.

Study on the application of UAV system in forest fire prevention

Sanhua Dai

Yicheng District Emergency Management Comprehensive Administrative Law Enforcement Team, Zhumadian, Henan, 463000, China

Abstract

With the development of science and technology, unmanned aerial systems have played an increasingly important role in various fields of society. In particular, their introduction into forest fire prevention can effectively warn and monitor fires, conduct on-site reconnaissance, and provide technical support for auxiliary firefighting, residual fire monitoring, and disaster assessment, thereby significantly enhancing overall forest fire prevention efficiency. This article primarily analyzes the significance of applying unmanned aerial systems in forest fire prevention and focuses on exploring practical applications of these systems in forest fire prevention. The aim is to comprehensively improve forest fire prevention outcomes, ensure the safety of forest resources, and provide richer resource support for social and economic development.

Keywords

UAV system; forest fire prevention; application

无人机系统在森林防火中的应用探究

代三花

河南省驻马店市驿城区应急管理综合行政执法大队, 中国 · 河南 驻马店 463000

摘 要

随着科学技术的发展, 无人机系统在社会各个领域发挥了越来越重要的作用, 尤其将其引入到森林防火工作中, 可以有效预警监控火灾, 并做好火场侦察工作, 为辅助扑救、余火监测、灾情评估等工作提供技术支持, 有效提升整体森林防火效率。文章主要对无人机系统在森林防火工作中的应用意义进行分析, 并重点探究无人机系统在森林防火工作中的应用实践, 从而全面提高森林防火效果, 保障森林资源安全, 为社会经济发展提供更丰富的资源支持。

关键词

无人机系统; 森林防火; 应用

1 引言

森林火灾的危害性较大, 且突发性强、扑救难度大, 很容易危害人们的生命财产安全。因此, 在森林防火工作中引入无人机系统, 可以做好日常巡护、火灾侦察、预防等工作, 有效提升森林防火效果。

2 无人机系统在森林防火中的应用意义

2.1 控制火情

在森林防火中引入无人机系统, 能够与无线通信技术联通使用, 以便对无人机行进位置进行精准定位, 同时动态掌握森林火灾发展情况, 并把采集的火灾数据传输到地面系统, 在红外热像仪的辅助作用下成像, 方便防火人员实时掌

握火灾情况, 并采取针对性的应对措施, 有效控制火灾发生几率^[1]。通常情况下, 无人机搭载的探测器具备灵活、高清的摄像头, 可以茂密森林、复杂地形等环境中全方位、多角度监测, 弥补防护人员难以达到的区域, 保障防火巡查工作的全面开展。当前, 部分无人机搭载干粉灭火弹, 以便初次控制森林火情, 同时辅助以防火带, 有效减缓火灾蔓延速度。其中, 森林防火需求分析如图 1 所示。

2.2 减少人员伤亡

森林火灾蔓延速度过快, 扑灭难度较大, 灭火工作危险性大, 一旦人员不能及时撤出火场, 很有可能引起极大的人员伤亡。无人机系统在森林防火工作中的有效性应用, 能够对森林火情进行实时监测, 且在森林灭火中发挥重要辅助作用, 确保灭火人员能够及时撤出火场, 减少人员伤亡。此外, 无人机系统还可以对森林火灾情况进行动态监测, 及时掌握火灾情况, 帮助工作人员迅速判断森林火灾情况, 进而保障森林灭火方案的针对性和有效性, 有效控制灭火危险^[2]。

【作者简介】代三花(1982-), 女, 中国河南驻马店人, 本科, 工程师, 从事森林防灭火研究。

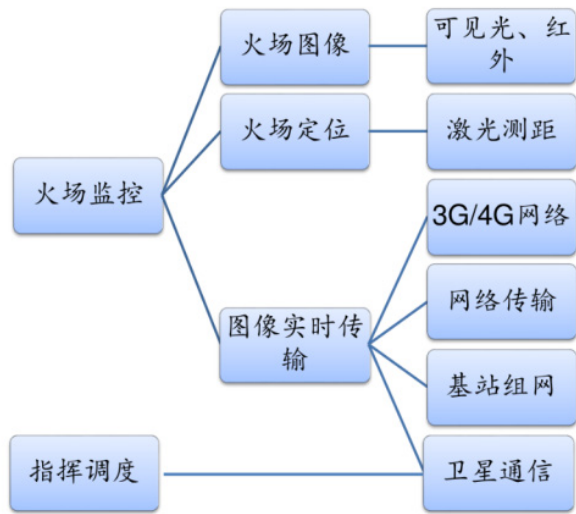


图1 森林防火需求

2.3 促进经济发展

森林资源能够为社会经济发展提供大量的林木、药材、食物等产品。在森林防火中引入无人机系统,可以实现森林安全的实时监测,有效控制火灾出现几率,方便工作人员尽快控制森林火情,并控制森林防火成本,保障森林资源安全,拉动当地经济发展。

2.4 小范围低空巡护

无人机系统在森林防火工作中的应用,能够对林区进行小范围、低空巡护,且往往不会受到气象天气的影响。而且无人机系统成本较低,不需要专门的起落场地,对任何环境的适应性较强。多旋翼无人机的应用,能够进一步拓展森林巡护范围,弥补人工巡护死角,且能够及时扑救小范围森林火灾,能够对火情积极响应,机动灵活,在森林火灾监测和扑救中发挥重要作用^[3]。

3 无人机系统在森林防火中的应用实践

3.1 火灾监测预警

无人机系统的灵活性较强,且飞行能力较强,能够全天候工作,方便火灾监测预警工作的有序开展,能够对森林区域进行低空巡航和多点监测,尤其可以搭载红外热成像仪、高清透雾摄像机,在图像识别技术、GPS定位技术的联合应用下,对森林火情情况进行实时监测预警。在具体的火灾监测预警工作中,需要按照既定行业展开空中巡查工作,并结合实际情况,对重点区域、可疑火点区域进行重点详查,并第一时间把采集的数据传输到地面指挥中心。无人机系统还可以对火情位置进行自动定位,智能识别火情,并发出预警信号^[4]。其中,火灾监测预警工作中无人机系统的具体应用如图2所示。

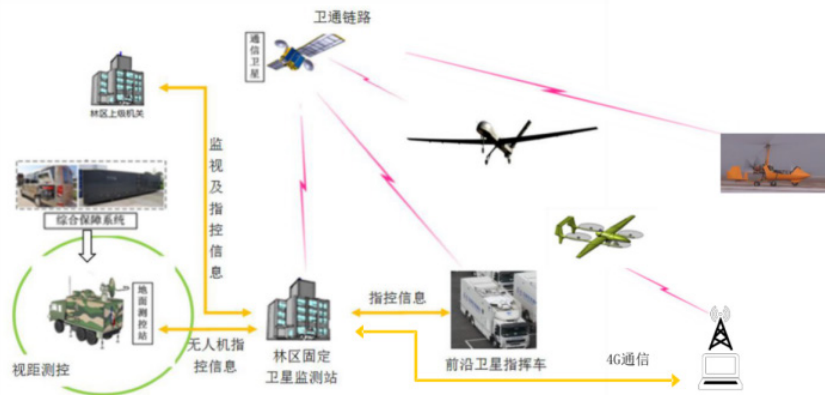


图2 火灾监测预警工作中无人机系统的具体应用流程

3.2 火灾情况侦察

通常情况,森林火灾的火势较猛,再加上森林地势环境较为复杂,一定程度上加大了火灾侦察难度,不利于灭火扑救工作的有效,且容易加大人员伤亡。无人机在森林火灾情况侦察工作中的有效应用,可以充分发挥其灵活性、高效性、准确性优势,优化火灾侦察工作。如可以通过无人机系统飞行控制能力,在火场上空低空飞行,以便对火焰燃烧情况、火源位置、延误弥漫范围等数据进行全面采集;此外,还需要无人机系统搭载高清摄像设备,这样可以对火灾画面进行清晰化采集和呈现,帮助指挥人员制定更加完善的救援方案;为救援人员提供目标定位,保障救援行动的精准开展;利用热成像技术动态观察周边温度情况,以便科学预测火势

发展趋势,保障灭火方案的可行性与合理性^[5]。

3.3 火灾辅助扑救

一旦林木燃烧起来,会释放大量浓烟,将其森林上空能见度,加大了扑救难度。因此,可以通过现代测绘技术与无人机的联合应用,开展空中火情监测侦察任务,以便实时反馈力森林火灾的发展态势,方便地面指挥人员动态掌握火情情况,并开展针对性灭火指挥工作,制定可行性的扑救方案,保障灭火救灾效果。此外,还可以在无人机上安装语音传输、扩音模块,以便第一时间扩散现场人员安全撤退;同时还可以利用无人机传送呼吸器、救援绳等设备,对现场灭火救援起到良好的辅助作用。此外,还可以利用无人机打造灭火弹,尤其可以在小范围森林火灾中进行定点投放,把火

灾扑灭在萌芽状态,避免森林火灾蔓延,为地面救援人员提供更多的灭火时间^[6]。部分森林地势较为复杂,消防车辆、人员难以进入,加大了救火难度,针对这种情况,可以利用无人机搭载干粉灭火弹对森林火灾进行快速、机动扑救,这样可以保障森林火灾扑救安全,减少人员伤亡。

3.4 火灾余火监控

以往,扑灭森林火灾后,往往需要巡逻人员对现场余火进行清理、监测。但是森林火灾面积较大,余火清理难度较大,再加上巡逻人员的视野有限,难以对细微燃烧情况进行精准辨别,一旦遗漏余火,会留下严重的安全隐患,甚至火情再起,造成严重的损失。针对这种情况,需要对无人机系统进行优化应用,结合实际情况,制定更加完善的解决方案,尤其可以在无人机空中平台中搭载不同类型的传感器、摄像设备等,对森林火灾情况进行全方位侦察,采集火情数据并及时传输到地面指挥系统,为监控人员、扑救人员提供救灾依据。在具体检测作业中,需要无人机系统搭载红外热成像仪,利用红外摄像技术对火场余火情况进行实时监控。红外传感器可以精准感知和探测火焰热能,以便第一时间采取合理措施进行处理,防止余火再次引发燃烧问题^[7]。此外,还可以联合使用GPS定位技术,为工作人员直观化展示火场热值分布情况,并明确标注火场易燃区域,这样为余火清理工作提供精准定位,保障余火清理工作的高效进行,减少余火风险。在余火监测过程中,要在无人机系统中搭载激光雷达传感器,这样能够对火场周边环境信息、数据进行全面采集,如地形、植被、地貌等,并以此为依据构建三维模型,工作人员能够利用该模型直观化了解火灾情况,并科学预测火情扩散趋势,及时发现潜在的火灾隐患,并提出针对性的防控措施,保障救火指挥决策的科学性与合理性。在无人机系统中搭载气象传感器,这样能够对森林火场风向、风速、湿度等信息进行动态监测,为后续森林火情预警、火场控制提供依据,帮助工作人员及时制定完善可行性的灭火策略,并结合实际灭火扑救需求对相关资源进行优化调配。无人机的响应能力较强,能够实时监测气象动态变化情况,确保防火人员能够及时掌握灭火时机,保障灭火效果。由此可见,无人机系统在森林防火工作中发挥重要的监控作用,可以保障监控精度,且降低工作强度。

3.5 火灾调查评估

为了对森林火灾进行高效预防和控制,需要尽快开展火灾调查函与灾情评估工作,这样方便工作人员及时掌握起火点、起火原因等,才能制定针对性的灭火扑救措施,并保障救援工作的精准指导。在火灾调查与灾情评估工作中引入无人机系统,能够实时监测火灾现场情况,并采集现场数据,通过后台系统对这些数据信息进行处理分析,绘制图表,以

便对火灾情况进行精准评估和预测。通过无人机系统的应用,能够及时展开火灾现场调查,并做好周边环境监测工作,有效缩小起火点调查范围,突出体现灾情调查工作的时效性、安全性和灵活性。无人机系统可以搭载高清摄像设备,获得高分辨率的照片、视频等,进而对森林现场进行详细记录。同时,无人机系统还需要搭载多光谱传感器,以便对火灾现场情况进行全方位、多波段数据采集,帮助工作人员对森林火灾范围、危险程度、发展趋势等进行动态掌握,为灭火救援工作的精准高效开展提供数据依据^[8]。无人机系统在处理分析灾情数据时,需要利用图像识别、目标检测算法,对灾害现场的火源位置、延误扩散情况进行自动识别;同时要利用GIS技术,做好数据空间分析工作,并绘制灾情分布图,这样能够更加直观的呈现火灾范围和危害程度;要分析历史数据,联合机器学习、人工智能等技术,构建预测模型,以便对火灾发展趋势进行精准预测,帮助工作人员制定针对性、有效性的预防措施。无人机系统的环境适应性较强,能够在各种复杂、危险环境中开展工作,如大面积燃烧、高温、高压、高辐射等环境中进行监测;无人机飞行较为灵活,包含低空飞行、垂直上升等模式,保障对火场数据进行全面采集,保障灾情评估与预测工作的高效进行。

4 结语

综上所述,无人机系统的机动性较强,且方便操作,在森林防火巡查、火灾预测、火灾侦察、灾情评估等方面发挥了重要作用,能够进一步提高森林防火效率,有效控制森林火灾的出现几率。

参考文献

- [1] 黄振良,韦云霜. 无人机系统在森林防火中的应用探究——以平果市为例[J]. 农村科学实验, 2024, (17): 131-133.
- [2] 傅晓峰. 无人机系统在森林防火方面的应用及发展[J]. 新农业, 2023, (20): 30-31.
- [3] 苏云霞. 无人机系统在森林防火方面的应用作用分析[J]. 消防界(电子版), 2023, 9 (14): 40-42.
- [4] 宋鸿. 无人机系统在森林防火预警中的应用探索[J]. 中国林业产业, 2023, (01): 62-63.
- [5] 余晓程,於剑青,於剑平,等. 无人机系统在森林防火中的应用[J]. 乡村科技, 2022, 13 (04): 122-124.
- [6] 司勇. 无人机系统在森林防火中的应用优势及优化对策[J]. 乡村科技, 2020, 11 (33): 114-115.
- [7] 赵佳. 无人机系统在森林防火中的应用探析[J]. 河北林业科技, 2020, (02): 42-45.
- [8] 赵兰. 无人机系统在森林防火方面的应用及其发展研究[J]. 花卉, 2019, (16): 207-208.

IEEE 802.11be Core technology research of wireless LAN standard

Cheng Peng Xue Jiang* Bo Sun Ming Ye

Boding shihua (Beijing) Technology Co., Ltd., Beijing, 100096, China

Abstract

Wireless local area networks (WLANs) are an important branch of wireless communications. The IEEE 802.11 series of WLAN standards have been continuously evolving, driving the ongoing enhancement of wireless access capabilities. The latest generation, IEEE 802.11be, as a key version targeting Extremely High Throughput (EHT), features higher data rates, lower transmission latency, and improved spectral efficiency to meet the demands of emerging applications such as virtual reality and cloud computing. This paper systematically reviews the core technologies of the IEEE 802.11be standard, including ultra-wide bandwidth, high-order modulation, flexible multi-resource unit scheduling, multi-link operation (MLO), and enhanced EDCA parameter optimization, and analyzes their impact on network performance.

Keywords

wireless LAN; IEEE 802.11be standard; ultra-high speed

IEEE 802.11be 无线局域网标准核心技术研究

彭程 姜雪* 孙博 叶明

博鼎实华(北京)技术有限公司, 中国·北京 100096

摘 要

无线局域网是无线通信领域中重要的分支之一, 无线局域网的 IEEE 802.11 系列标准不断演进, 推动无线接入能力持续升级。目前最新一代的 IEEE 802.11be 标准, 作为面向极高吞吐量 (EHT) 的关键版本, 具备更高的数据速率、更低的传输时延和更强的频谱利用效率, 满足虚拟现实、云计算等新兴应用的需求。本文系统梳理了 IEEE 802.11be 标准的核心技术, 包括超高带宽、高阶调制、多资源块灵活调度、多链路并发传输 (MLO) 以及增强的 EDCA 参数优化机制, 并分析这些技术对网络性能提升的作用。

关键词

无线局域网; IEEE 802.11be 标准; 超高速率

1 引言

IEEE 802.11 系列标准和协议族是无线局域网技术的基础。在 IEEE 802.11ax 解决高密度使用环境下的并发问题之后, IEEE 希望在新一代的标准中实现超高的吞吐量性能, 更低的时延和更高的网络效率以适应未来如虚拟现实、云计算、大数据等新型应用场景。因此最新一代的 IEEE 802.11be 标准在物理层和数据链路层都进行了相应的改进^[1]。本文主要分析和研究了 IEEE 802.11be 标准网络性能提升的核心技术。

2 IEEE 802.11 标准的发展历史及现状

IEEE 802.11 标准构建了无线局域网技术的基础。早期的 WLAN 标准主要是 IEEE 802.11b 和 IEEE 802.11a/g 标准。

IEEE 802.11a/g 数据速率提升到了 54Mbps。它引入了正交频分复用技术, 带宽为 20MHz, 有 64 个子载波。这些为后续 IEEE 802.11 版本奠定了基础。IEEE 802.11n 在之前的基础之上引入了 MIMO, MAC 层聚合技术, 支持的带宽也提升到了 40MHz。IEEE 802.11ac 继续提升 WLAN 网络的性能, 其引入了 80MHz 和 160MHz 的带宽, 但受限于频谱资源, 所以只能在 5GHz 频段上实现。将空间流提升到了 8 条, 同时又引入了 MU-MIMO 技术, 在下载的过程中能够将不同的空间流分给不同的终端从而能够实现同一时刻并发技术。IEEE 802.11ax 在提升速率的同时更加专注于提升网络的效率。IEEE 802.11ax 将正交频分多址 (OFDMA) 引入到 IEEE 802.11 标准当中, 这允许为终端分配最有效的时分频率资源部分, 从而能够实现高密用户场景下的并发。同时该标准还引入了更加高阶的调制技术 1024-QAM 和上行 MU-MIMO。从而增加了网络性能的提升。

目前市场上主流 WLAN 产品标准主要是 IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac 和 IEEE 802.11ax。在 IEEE 802.11ax

【作者简介】彭程 (1984-), 男, 中国北京人, 硕士, 高级工程师, 从事通信技术及无线网络安全研究。

的基础上, IEEE 继续演进该系列标准。推出了新一代的 IEEE 802.11be 标准。其主要设计目标就是拥有极高的吞吐量性能、更低的时延、更灵活的频谱利用率等。

3 IEEE 802.11be 物理层的提升

3.1 带宽的扩展

IEEE 802.11be 为了支持其超高速率的特性将最高带宽提升到了 320MHz。带宽的提升使其能够达到 30Gbps 及以上的速率。同时支持 240MHz 带宽以及像前几代的 WLAN 网络一样支持 20MHz, 40MHz, 80MHz 以及 160MHz 的带宽。320MHz 带宽的使用也 6GHz 频段的开放有很大的关系。美国 2020 年 4 月 23 日发布法规, 将全部 6GHz 频段 (5925MHz-7125MHz, 共计 1.200MHz 带宽) 用于免许可技术。欧洲开放 5925MHz—6425MHz 的 500MHz 频段用于免许可频段。拥有 6GHz 频段的支持, 新一代的无线局域网技术能够使用连续的 320MHz 带宽进行传输。但需要指出的是 320MHz 带宽并不是适用于所有国家地区的网络。例如在我国目前对 WLAN 开放的频段主要是 2400-2483.5MHz, 5150-5350MHz 以及 5725-5850MHz。相关的 6GHz 的频段目前仍未对 WLAN 开放。因此在我国目前无法使用 320MHz 连续的带宽支持 IEEE 802.11be 标准^[2]。

3.2 高阶调制增强

高阶调制一直是 IEEE 802.11 标准演进中的重要一环, IEEE 802.11n 中支持 64QAM, 到 IEEE 802.11ac 支持 256QAM, 每个符号可以携带 8 个比特位。性能提升 33%。到 IEEE 802.11ax 支持 1024QAM, 每个符号位可以携带 10 个比特位, 性能提升 25%。IEEE 802.11be 继续通过高阶调制来提升速率, 其最高支持 4096QAM。每个符号能够携带 12 个比特位符号, 性能提升 20%。但 4096QAM 的高阶调制在实际使用中有较强的局限性, 其 EVM 的要求达到 -38db。在实际用户的使用环境中很难达到这种苛刻的要求。即使结合了 Beamforming, 受到终端天线数的限制, 其对使用环境的要求仍较为苛刻。

3.3 频谱效率的提升

IEEE 802.11be 继续沿用了 IEEE 802.11ax 中的 OFDMA 并发技术。并进行了适当的改进。IEEE 802.11ax 中引入了 OFDMA, OFDMA 通过 RU 划分信道。每个用户可以占用一组或多组 RU 以满足不同带宽需求的业务。一个 RU 可以包含 26, 52, 106, 242, 484, 996 个子载波。以 20MHz 为例, 其可以容纳 9 个 RU₂₆, 4 个 RU₅₂, 2 个 RU₁₀₆, 1 个 RU₂₄₂。IEEE 802.11ax 中每个终端只能被分配到一个 RU。例如两个终端分享无线接入点的 80MHz 带宽。如果一个终端获得 242RU 的带宽, 则另一个终端最多只能获得 484RU 的资源。这样会浪费 25% 的宽带资源。此外如果终端连接无线接入点, 无线接入点在 40MHz 的副信道进行 20MHz 的前导码穿孔, 则无线接入点只能分配 20MHz 的带宽给终端。浪费了有限的宽带资源。为了在 IEEE 802.11ax 的基础上再次提升频谱效率, IEEE 802.11be 引入了多 RU 的资源分配机制。将 RU 分为了两种类型, 大型 RU 和小型 RU。242 个子载

波以下的被算作小型 RU。主要包括 26-RU, 52-RU 和 106-RU。大型 RU 主要包括 242-RU, 484-RU, 996-RU。IEEE 802.11be 中允许同类型的多 RU 组合, 例如在 26-RU 可以和 52-RU 组合被分配给终端。242-RU 可以和 484-RU 分配给终端。利用多资源单元的灵活分配策略能够有效提升信道的利用率。

在改进多资源单元分配的同时, IEEE 802.11be 增强了前导码打孔技术。IEEE 802.11ax 中率先引入了前导码打孔技术。支持以 20MHz 在内的非连续信道捆绑。如果有子信道处于忙碌的状态, 前导码打孔技术能够屏蔽忙碌的子信道。然后将非连续的空闲信道捆绑在一起进行数据发送, 从而提升了信道利用率和吞吐量。但 IEEE 802.11ax 只支持无线接入点给终端发送数据下行方向的前导码打孔技术。在 IEEE 802.11be 中, 对前导码屏蔽技术进行了增强。其以 RU 为单位, 给终端分配不同数量的 RU。同时 IEEE 802.11be 在 IEEE 802.11ax 的基础上增加了对上行前导码的支持。例如无线接入点给终端分配了 80MHz 的带宽, 若在上行流量的过程中发现 20MHz 的带宽处于忙碌状态, 终端将屏蔽其带宽并在不连续的带宽上发送上行数据给无线接入点^[3]。

3.4 新型前导码的引入

IEEE 802.11be 使用了新的前导码格式, 并需要兼容之前版本的 IEEE 802.11 协议。传统的 IEEE 802.11a 前导码包含一个 L-STF 和一个 L-LTF。下一个 OFDM 符号携带传统信号字段 (L-SIG), 用于指示后续信号使用的 MCS 以及帧长度。IEEE 802.11n 在 L-SIG 之后增加了 HT-SIG1 和 HT-SIG2 字段。用于同步信号。IEEE 802.11ac 在 L-SIG 之后是 VHT-SIG1 和 VHT-SIG2 字段, 用于网络同步和详细信息的传递。在 IEEE 802.11ax 中, 它的 High Efficiency (HE) 信号字段包含两个 OFDM 符号。第一个符号用 QBPSK 调制, 而第二个符号用 BPSK 或 QBPSK 调制。模运算的结果与 BPSK/QBPSK 选择相结合, 可以识别出 IEEE 802.11ax 的四种帧类型。

IEEE 802.11be 增加了 EHT Preamble 部分, 主要包括 U-SIG, EHT-SIG, EHT-STF, EHT-LTF。U-SIG 主要提供一些传统的信息用于保证前向版本的兼容性。主要信息包括物理层的标识符, 上行/下行的标识, BSS 颜色标识的符号, 每帧持续的时间、带宽信息等参数。之后的 ETH-SIG 字段会存储一些 IEEE 802.11be 独有的信息, 例如 MCS 调制速率信息, 空间流信息, 编码信息, 保护间隔时长等, RU 资源块的分配信息等。紧随 EHT-SIG 字段的是 EHT-STF 和 EHT-LTF 字段, 在使用 MIMO 和 OFDMA 传输数据时用于精细的时间控制和频率调节。IEEE 802.11be 继承了上一代标准的 STF 和 LTF 的较长变量信息, 这有利于扩展覆盖范围和更好的信道估算。

4 IEEE 802.11be 数据链路层的提升

4.1 多链路并发技术

IEEE 802.11be 中引入了多链路并发技术 MLO (Multi-Link Operation) 来提升吞吐量性能、降低网络延迟并且提升

网络的可靠性。在传统的 MAC 层结构中,无线接入点和终端只能使用单一频段进行通信。如 2.4GHz 频段和 5GHz 频段。MLO 技术能够在不同频段同时传输数据,以此来提升网络的效率和可靠性。IEEE 802.11be 标准将具备 MLO 的接入点和终端定义为多链路能力设备 (MLD), 其为上层提供唯一的 MAC 实例, 同时保留每个接口的独立参数。为了实现在不同频段的传输, 标准将 MAC 层进行了不同的划分。一般将 MAC 层划分为高 MAC 层和低 MAC 层。高 MAC 层与逻辑链路层对接, 对数据报文进行成帧前的处理, 或者接收下层上传的数据报文并做解析处理。例如 AMSDU 聚合, 帧编号, 帧加密、帧解密、帧排序等。它对应着多链路设备的 MAC 地址, 称为 MLD MAC 地址。低 MAC 层对应着每一个物理链路, 主要处理数据报文收发直接相关的流程以及控制帧收发。例如填充 A-MPDU 的发送和接收地址。根据地址过滤 AMPDU 的报文, 发送 RTS/CTS 等控制报文等。

MLO 多链路同传技术中引入了两种不同的信道访问方法: 异步模式和同步模式。在异步传输模式下, MLD 在多个链路上异步传输帧, 而无需对起始时间进行时钟同步。相反在同步传输模式下起始时间需要在两个链路直接进行对齐。在任何模式下, 链路都可以具有自己的主要信道和参数, 包括数据包协议数据单元 (PPDU)、调制和编码方案 (MCS)、增强分布式信道访问 (EDCA) 等。

在两个链路中如果有很好的链路隔离措施可以使用 STR (Simultaneous Transmit and Receive) 模式进行传输。该模式能够在不同链路上同时传输和接收数据。例如在链路一发送数据的同时链路二接收数据。STR 模式与传统的单链路和双频并发链路不同, MLD 关联的 STA 共享一个公共的发射机序列号 (SN) 和一个为不同链路分配的数据传输空间。如果多个链路的传输具有相同的服务类别这个特性使得 MLD 能够更快地在不同链路之间传输应用程序的数据包, 因此能够提升吞吐性能降低时延。如果两条链路相互干扰严重则需要采用 NSTR 模式。NSTR 不能在不同链路上同时传输和接收数据。换句话说, 不允许在链路之间发生重叠的传输和接收。为了促进多链路操作, NSTR 通过对齐或同步传输来避免设备间共存干扰。

多链路终端的连接过程也和传统无线局域网终端的连接过程一样也主要分为发现, 连接和认证几个过程。在多链路的连接过程之中通过一条链路就能完成终端与无线接入点的连接操作。而不是每条链路都进行重复的连接操作从而提升了连接的效率。首先终端需要发现具备 MLO 功能的无线接入点。发现方式有两种: 主动扫描和被动扫描。被动扫描是终端在一条链路上接收信标帧的广播信息, 通过信标帧携带的多链路信息掌握多链路的情况。另一种是主动扫描方式, 终端在一条链路上发送探测请求帧, 通过探测响应了解多链路的信息情况。在发现之后无线终端发送认证请求管理帧到无线接入点。无线接入点回复认证响应管理帧。认证请求和认证响应的过程中除了传统字段外还包括 MLD 的 MAC 地址和 MLO 的信息字段。在认证之后就是相互关联的过程。无线终端发送关联请求, 无线接入点回复关联响应。

在关联请求和关联响应中, 关联请求中包括 MLO element 的字段以及, MLD 的 MAC 地址, MLO 的能力信息, 其他链路的配置信息等。最后进行四次握手的过程协商单播秘钥和组播秘钥, 成功之后就能进行数据的传输。

4.2 服务质量的改进

IEEE 802.11be 的目标之一是希望能支持时间敏感性的应用比如游戏、语音等。时延是此类应用的关键指标。通常情况下高速率高带宽并不意味着低的延时。在实际使用场景中此类应用与视频流等应用混在一起, 还要经受外部其他 WLAN 设备的干扰。经常会出现超大的时延导致卡顿、失真等情况的发生。因此在实际使用中需要控制最大时延的范围才能够支持相应的应用。IEEE 802.11be 通过 EDCA 参数的改进来降低时延。在传统网络中, 获得 TXOP 后, STA 只能发送一个 AC 的数据。11be 可以允许使用任何 AC 的一个 TXOP 尽快发送 RTA 流量。此外, 无线接入点可以暂时从任何关联的终端那里夺取 TXOP 所有权以传送 RTA 流量。如果无线接入点探测到某个终端有 RTA 流量, 它还可以授予该终端信道访问权限。在 RTA 流量传输完毕后, 无线接入点将 TXOP 返回给原始的 TXOP 所有者。

5 IEEE 802.11be 设备的配置参数

IEEE 802.11be 无线接入点的配置与 IEEE 802.11ax 相似。以美版的 TP-Link BE19000 无线路由器为例。在配置方面 2.4GHz 频段和 5GHz 频段中在模式选项中增加了 IEEE 802.11a/b/g/n/ax/be 选项。表示设备即支持最新的 IEEE 802.11be 标准也兼容之前的 IEEE 802.11 标准。在加密方式中有 WPA3-Personal 加密方式和 WPA3/WPA2 混合型的加密方式。某些终端只有在 WPA3 的加密模式中才能够使用 IEEE 802.11be 标准。在 6GHz 频段的带宽选项中增加了 320MHz 带宽的选项。在 6G 频段的模式选项中只支持 IEEE 802.11ax 和 IEEE 802.11be。此外相较于传统配置不同的是, 增加了 MLO 选项。能够配置单独的支持 MLO 方式的无线基本服务集并且能够选择三频并发还是双频并发。

6 结语

IEEE 802.11be 是最新一代无线局域网的标准。本文从 IEEE 802.11be 的核心技术出发, 主要分析了超高带宽, 高阶调整, 多资源块的分配, 多链路并发传输、EDCA 参数改进等核心技术在 IEEE 802.11be 标准中所带来的网络侧的提升。未来 IEEE 802.11be 必将成为无线局域网的主流标准在无线应用领域发挥重要作用。

参考文献

- [1] 成刚、蒋一名、杨志杰著 Wi-Fi7 开发参考: 技术原理、标准和应用, 北京: 清华大学出版社, 2023.7
- [2] 加斯特 (美) 著, 802.11 无线网络权威指南, 南京: 东南大学出版社, 2007.12
- [3] IEEE 802.11be/D3.0 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 8: Enhancements for extremely high throughput (EHT), January 2023.

Research on multi-mode transmission optimization and coverage enhancement strategy of emergency broadcast system based on 5G-NR broadcasting technology

Hao Yuan

Shandong Radio and Television Transmission Support Center, Jinan, Shandong, 250000, China

Abstract

With the rapid development of 5G technology, 5G-NR (New Radio) broadcasting technology has gradually become an important part of emergency broadcasting system. Emergency broadcasting system plays a vital role in modern society, especially in the case of natural disasters, public emergencies and other emergencies, it can disseminate key information quickly and effectively, and ensure the life safety of the public and social stability. In order to improve the coverage and transmission quality of emergency broadcasting system, the application of 5G-NR broadcasting technology in emergency broadcasting is of great significance. This paper discusses the multi-mode transmission optimization and coverage enhancement strategy of 5G-NR broadcast technology in emergency broadcast system. Firstly, the basic principle of 5G-NR broadcasting technology and the demand analysis of emergency broadcasting system are introduced. Then, the advantages of multimode transmission technology and its application in emergency broadcasting are analyzed. Then, a transmission optimization scheme based on 5G-NR broadcasting technology is proposed, including resource scheduling, spectrum management, signal enhancement and other strategies. Finally, the effectiveness and feasibility of the proposed strategy are verified by simulation analysis.

Keywords

5G-NR broadcasting technology; Emergency broadcast system; Multimode transmission; Coverage enhancement; Resource scheduling

5G-NR 广播技术下应急广播系统的多模传输优化与覆盖增强策略研究

袁昊

山东省广播电视传输保障中心，中国·山东 济南 250000

摘 要

随着5G技术的快速发展，5G-NR（New Radio）广播技术已逐渐成为应急广播系统的重要组成部分。应急广播系统在现代社会中扮演着至关重要的角色，尤其是在自然灾害、突发公共事件等紧急情况下，能够迅速有效地传播关键信息，保障公众的生命安全和社会稳定。为了提升应急广播系统的覆盖范围和传输质量，5G-NR广播技术在应急广播中的应用具有重要意义。本文探讨了5G-NR广播技术在应急广播系统中的多模传输优化与覆盖增强策略。首先，介绍了5G-NR广播技术的基本原理和应急广播系统的需求分析；然后，分析了多模传输技术的优势及其在应急广播中的应用；接着，提出了基于5G-NR广播技术的传输优化方案，包括资源调度、频谱管理、信号增强等策略；最后，通过仿真分析验证了提出策略的有效性和可行性。

关键词

5G-NR广播技术；应急广播系统；多模传输；覆盖增强；资源调度

1 引言

在信息技术日新月异的今天，通信技术的不断发展推动了各行各业的智能化和数字化进程。特别是在应急管理领域，信息的传输和覆盖质量直接关系到应急响应效果。随

着5G通信技术的不断成熟，5G-NR广播技术为应急广播系统提供了更为高效、可靠的解决方案。相比于传统的广播技术，5G-NR广播不仅能够提供更大的带宽、更高的数据传输速率，还能实现更广泛的覆盖范围和更低的时延，满足应急广播系统对实时性和覆盖范围的高要求。

应急广播系统的主要任务是及时传递公共安全信息，在突发灾害、事故等情况下迅速向公众发布预警信息，帮助人们采取正确的应对措施。传统的应急广播系统通常依赖于

【作者简介】袁昊（1996-），女，中国山东潍坊人，本科，助理工程师，从事广播电视工程研究。

单一的传输方式,面临着覆盖范围有限、抗干扰能力差、信号可靠性不足等问题。随着5G技术的引入,尤其是5G-NR广播技术的应用,能够有效解决这些问题。5G-NR广播技术能够实现多模传输,不仅可以通过传统的广播方式传播信息,还可以通过5G网络的高效数据传输能力进行信息的实时更新和分发,从而提高了信息的传播速度和覆盖范围。

本文主要研究5G-NR广播技术在应急广播系统中的多模传输优化与覆盖增强策略,旨在通过深入探讨和分析相关技术,提出切实可行的优化方案,以提高应急广播的效率和可靠性。首先,我们将简要介绍5G-NR广播技术的基本原理及其在应急广播中的应用需求;然后,分析多模传输优化策略的可行性;最后,结合仿真结果验证优化方案的效果,并对未来的应用前景进行展望。

2 5G-NR 广播技术概述与应急广播系统需求分析

2.1 5G-NR 广播技术的基本原理

5G-NR广播技术作为5G通信系统的重要组成部分,基于5G网络架构提供了更高效的数据传输和广播能力。与传统的广播系统相比,5G-NR广播技术在频谱利用率、传输速率、延迟等方面具有显著优势。5G-NR广播技术的核心特点包括高带宽、大连接数、低时延等,可以支持大规模的设备连接和实时数据传输。

5G-NR广播技术采用了灵活的频谱管理和资源调度机制,能够根据不同的需求进行动态的频谱分配,优化资源利用。在5G网络中,广播信号可以在不同的传输层次进行分发,包括传统的地面广播和基于5G网络的分布式广播,使得信息的传播范围和覆盖能力得到了显著提升。此外,5G-NR广播技术还能够支持多模传输,即同时通过不同的传播路径(如广播、通信、卫星等)进行信息传输,进一步提高了信息传播的可靠性和抗干扰能力。

2.2 应急广播系统的需求分析

应急广播系统是应急管理体系中不可或缺的一部分,主要用于在灾害发生时,及时向公众发布灾情、预警、避险等关键信息。现代应急广播系统需要具备以下几个基本要求:首先,实时性强,能够在灾害发生后第一时间传达信息;其次,覆盖范围广,能够覆盖到灾区的所有区域,包括一些偏远地区;第三,抗干扰能力强,能够在复杂环境下稳定工作,如通信中断、设备故障等;最后,信息的可靠性和准确性要求极高,确保公众能够获得正确的应急信息。

传统的应急广播系统通常依赖于单一的无线电广播或电话网络进行信息传输,存在覆盖范围不足、信息传递滞后、信号易受干扰等问题。而5G-NR广播技术则能够通过其高带宽、低时延的特性,为应急广播系统提供更高效的解决方案。5G-NR广播系统不仅能够通过5G网络提供实时数据传输,还可以结合传统的广播方式,扩展广播覆盖范围,实现

对复杂环境下的全面覆盖。

2.3 5G-NR 广播技术对应急广播系统的提升

通过5G-NR广播技术的应用,应急广播系统能够克服传统广播的不足,显著提高广播质量和覆盖范围。首先,5G-NR广播技术能够提供更高的数据传输速率和更大的带宽,使得广播信息能够迅速传递,减少了信息传递过程中的延迟。其次,5G-NR广播技术能够实现多模传输,即可以同时通过不同的传输路径进行广播,提高了信息传输的可靠性。此外,5G网络的广泛覆盖和灵活的频谱管理,使得应急广播系统能够实现大范围的覆盖,尤其是在灾区的偏远区域,能够确保信息的及时传达,保障公众的生命安全。

3 5G-NR 广播技术下应急广播的多模传输优化策略

3.1 多模传输的概念与应用

多模传输指的是通过不同的传输路径同时进行数据传输的一种技术手段。在5G-NR广播系统中,多模传输可以通过5G网络、地面广播、卫星传输等多种方式进行信息的同步广播。这种技术的优势在于能够在不同的传输路径中选择最佳的路径进行数据传输,从而提高传输效率和抗干扰能力。

多模传输技术在应急广播中的应用,主要体现在两个方面:一方面,它能够通过多种传输方式提高信息的覆盖范围,确保即使某些传输路径受阻,其他路径仍然能够有效传递信息;另一方面,结合5G网络的低时延和高带宽特性,多模传输能够极大提升信息传递的实时性和准确性,确保紧急信息能够在灾难发生后及时传达给受影响地区的公众。

3.2 资源调度与频谱管理

在5G-NR广播技术中,资源调度和频谱管理是实现多模传输优化的关键因素。5G网络通过灵活的资源调度机制,可以动态地调整不同传输路径的资源分配,根据网络负载、用户需求、信号质量等因素,优化频谱的使用效率。在应急广播系统中,频谱管理尤为重要,因为灾难发生时,广播系统可能面临巨大的数据传输需求,如果频谱资源不足,可能导致信息传递滞后,甚至出现系统崩溃的风险。

为了提高应急广播的效率,可以通过多频段协同使用、频谱共享等手段实现更高效的资源利用。在频谱管理方面,采用先进的频谱分配算法,根据实时需求动态分配频谱资源,确保在灾难期间,广播系统能够提供持续、稳定的服务。

3.3 信号增强与抗干扰策略

在复杂的应急环境中,信号的可靠性和抗干扰能力至关重要。5G-NR广播技术的一个重要特点是能够通过网络的协同作用和资源的灵活调度,增强信号的覆盖范围和传输质量。为了提升应急广播系统的抗干扰能力,可以采用多种技术手段,如采用波束赋形技术、网络切片技术以及信号增强算法等,通过网络中的智能资源调度,实现对信号的增强

和干扰的抑制。

此外,可以通过优化传输路径选择、增加冗余传输等手段,提高系统的鲁棒性,确保信息传递在复杂环境下的稳定性。通过这些措施,5G-NR广播系统能够在恶劣的天气、复杂的地形以及可能存在的网络拥塞等环境下,提供可靠的服务,保证应急信息的准确传递。

4 5G-NR 广播技术的仿真分析与性能评估

4.1 仿真平台的构建与实验设计

为了验证提出的优化策略的有效性,仿真平台的构建至关重要。仿真平台可以模拟不同的灾难场景,并允许研究人员分析不同传输路径、频谱管理方案和资源调度策略对应急广播系统性能的影响。通过仿真,我们能够在控制的虚拟环境中测试优化策略的实际效果,为实际部署提供数据支持。

仿真平台的构建通常需要先对系统架构进行设计。平台应能够模拟多种灾难场景,如地震、洪水、火灾等自然灾害,或是人为干扰造成的突发情况。为了确保实验的全面性,仿真平台应支持多种通信技术的集成,如5G-NR、Wi-Fi、LTE等,并能灵活配置不同的网络负载、用户分布、环境条件及网络拓扑。具体来说,仿真平台的设计可以包括以下几个部分:一是传输路径的模拟,包括通信信号的覆盖范围、传输速率、信号强度等;二是频谱管理的模拟,分析不同频段的资源分配对系统性能的影响;三是资源调度策略的模拟,探讨在不同网络负载和环境条件下,如何动态调整资源以实现最佳性能。

实验设计中,可以设置多个变量,如网络负载(高、中、低负载)、用户分布(均匀、集中的分布)、环境条件(城市、乡村、山区等不同环境)以及灾难发生后的响应时间要求等。通过对比分析不同优化策略下的系统性能,如数据传输速率、时延、覆盖范围、频谱效率、信号抗干扰能力等指标,可以全面评估优化策略在灾难场景中的有效性。

4.2 仿真结果与分析

通过仿真实验,可以获得不同优化方案下应急广播系统的性能指标。在实验中,我们采用了多种优化方案,尤其是多模传输优化方案,这一方案能够有效提高系统的鲁棒性,保证在灾难发生后的应急广播服务稳定性和可靠性。仿真结果表明,相较于传统的单一传输方式,采用多模传输优化方案能够显著提高系统的时延性能和覆盖范围。

研究发现,使用多模传输优化后的系统能够在灾难发生后迅速提供广泛的覆盖范围,确保受灾地区的用户能够快速收到应急信息。相比传统的单一传输方式,系统的时延明显降低,信息传输更加及时。此外,系统的信号抗干扰能力显著提升,尤其是在网络拥塞或干扰较大的环境中,优化后

的5G-NR广播系统能够保持较高的稳定性和可靠性。通过合理的频谱管理和资源调度策略,系统能够高效利用有限的资源,避免了网络拥堵和频谱资源的浪费,从而进一步提高了广播信息的传输效率。

在网络拥塞或信号干扰较大的环境中,优化后的系统能够有效降低传输过程中的数据包丢失率,并且即使在较低的信号质量下,广播信息依然能够稳定、可靠地传输。这表明,优化后的5G-NR广播系统具有更强的抗干扰能力,能够在灾难等极端情况下提供更为可靠的通信保障。

5 挑战与未来发展方向

5.1 技术挑战与瓶颈

尽管5G-NR广播技术在应急广播中的应用前景广阔,但仍面临一些技术挑战。例如,如何进一步提高网络的覆盖范围,尤其是在偏远地区和高风险区域;如何在大规模灾难发生时,确保5G-NR网络的稳定性和可扩展性;如何在极端环境下保持多模传输的高效性和稳定性,这些问题仍需要进一步研究和解决。

5.2 未来发展方向

未来,5G-NR广播技术在应急广播中的应用将更加成熟,随着网络技术、资源调度、频谱管理等方面的持续进步,5G-NR广播系统将能够提供更加可靠、高效的服务。未来的研究方向将包括提升网络的智能化水平、加强信号的增强和抗干扰能力以及实现更广泛的全球覆盖等方面。随着技术的不断发展,5G-NR广播系统将在全球应急管理体系中发挥越来越重要的作用。

6 结语

随着5G技术的不断发展和应用,基于5G-NR广播技术的应急广播系统将在提高信息传递效率、扩大覆盖范围、增强信号可靠性等方面发挥重要作用。通过多模传输优化和资源调度策略的实施,5G-NR广播系统能够在灾难发生时提供稳定、实时的应急信息传递,保障公众的生命安全。未来,随着技术的进一步完善,5G-NR广播系统将在全球应急管理中发挥更加重要的作用,为公共安全提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 谢田晋,罗冷坤,王景奇,等.基于“通导遥一体化”的应急广播体系建设探索与创新应用[J].广播电视网络,2024,(S2):115-118.
- [2] 谢晓锋.5G广播技术发展研究综述与展望[J].河南科技,2024,51(20):14-19.
- [3] 王红红,李欣欣,张庆收.5G NR广播技术在广播电视领域的运用[J].电声技术,2024,48(06):117-120.
- [4] 王丽萍,张银成,邓一伟,等.5G-NR XR网络架构关键技术研究演进[J].邮电设计技术,2025,(02):6-11.

Performance evaluation of automatic summary generation algorithm driven by natural language processing in news editing scenarios

Hongqi Zhu

Dezhou Daily, Dezhou, Shandong, 253009, China

Abstract

With the explosive growth of information, the news industry is faced with the challenge of how to efficiently generate summaries in a limited time in order to quickly deliver key information. Traditional manual summary generation is not only time expensive, but also difficult to deal with large amounts of data. The rapid development of natural language processing (NLP) technology provides a new solution for automatic summary generation, especially in the news editing scene, how to apply NLP driven algorithm to generate high quality automatic summary has become the focus of the industry. This paper discusses the application of automatic abstract generation algorithm driven by natural language processing and its performance evaluation in news editing. By comparing the actual performance of several mainstream algorithms (such as rule-based algorithms, deep learning models, etc.) in news editing scenarios, this paper analyzes the advantages and disadvantages of each algorithm, and puts forward improvement strategies to improve the quality of automated summary generation. The research shows that the deep learning-driven algorithm has higher accuracy and effect than the traditional method when dealing with the task of summary generation of news text.

Keywords

natural language processing, automated summary generation, news editing, deep learning, performance evaluation

自然语言处理驱动的自动化摘要生成算法在新闻编辑场景中的性能评估

朱红旗

德州日报社, 中国 · 山东 德州 253009

摘 要

随着信息量的爆炸性增长, 新闻行业面临着如何在有限时间内高效地生成摘要以便快速传递关键信息的挑战。传统的人工摘要生成不仅时间成本高, 而且难以处理大量数据。自然语言处理 (NLP) 技术的飞速发展, 为自动化摘要生成提供了新的解决方案, 特别是在新闻编辑场景中, 如何应用 NLP 驱动算法生成高质量的自动化摘要已成为行业关注的焦点。本文探讨了自然语言处理驱动的自动化摘要生成算法的应用及其在新闻编辑中的性能评估。通过对几种主流算法 (如基于规则的算法、深度学习模型等) 在新闻编辑场景中的实际表现进行比较, 本文分析了各算法的优缺点, 并提出了提升自动化摘要生成质量的改进策略。研究表明, 深度学习驱动算法, 在处理新闻文本的摘要生成任务时, 相比传统方法具有更高的准确性和效果。

关键词

自然语言处理, 自动化摘要生成, 新闻编辑, 深度学习, 性能评估

1 引言

在信息爆炸的时代, 新闻行业每天面临着海量的文本数据, 需要在极短的时间内将信息压缩成简洁、有效的摘要, 以便快速传递关键信息。人工摘要生成虽然能够保证内容的准确性和可读性, 但在处理大量新闻数据时存在明显的时间和人力成本问题。因此, 如何高效且准确地生成新闻摘要成

为了新闻行业亟待解决的难题。

自然语言处理 (NLP) 技术的迅猛发展为自动化摘要生成提供了新的解决方案。近年来, 基于深度学习的 NLP 方法已经在多个领域取得了显著成果, 包括文本分类、情感分析、机器翻译等, 其中自动化摘要生成作为其中一个重要任务, 得到了广泛的关注。自动化摘要生成技术通过分析和理解输入的新闻文本, 自动提取关键信息并生成简洁的摘要, 具有较大的应用潜力。尽管如此, 当前的自动化摘要生成技术在实际应用中仍面临许多挑战, 如摘要生成的准确

【作者简介】朱红旗 (1974-), 男, 中国山东德州人, 本科, 助理工程师, 从事计算机科学与技术研究。

性、内容的连贯性、语法和语义的处理等问题。

本文旨在评估基于自然语言处理的自动化摘要生成算法在新闻编辑场景中的性能，通过对不同算法进行性能对比，分析其优缺点，探索提升摘要生成质量的策略，并为新闻编辑领域的自动化摘要生成提供实践指导。

2 自然语言处理在自动化摘要生成中的应用背景

2.1 自动化摘要生成任务的定义

自动化摘要生成旨在将一篇长文本压缩成简短、准确且具有代表性的内容摘要。根据生成方式的不同，摘要生成可分为提取式摘要和抽象式摘要两类。提取式摘要是通过从原文中选择关键句子或段落来构建摘要，而抽象式摘要则是通过理解原文内容，生成具有概括性、创新性的内容。这两种方法各有优势与局限，提取式摘要较为简便且效果较好，但可能存在内容重复和缺乏创新的问题；而抽象式摘要能够更好地概括原文的核心内容，但由于需要更强的文本生成能力，因此其实现难度较大。

在新闻编辑场景中，通常要求生成的摘要准确、简洁且具有代表性，能够在短时间内传递信息的精髓，便于读者快速了解新闻的核心内容。随着深度学习技术的发展，基于神经网络的抽象式摘要生成方法逐渐成为主流，其能够更灵活地处理复杂的语言结构和语义关系，生成更自然流畅的摘要。

2.2 自然语言处理技术的发展与应用

自然语言处理作为人工智能领域的重要分支，致力于研究计算机与人类语言之间的交互，涵盖了语言理解、语言生成、文本分析等多个方面。近年来，深度学习尤其是神经网络的应用，极大推动了 NLP 技术的发展。在文本生成、文本摘要等任务中，深度学习模型的表现优于传统的规则驱动模型，成为了学术界和工业界的研究热点。

在自动化摘要生成方面，NLP 技术的应用已经从早期的基于规则的模型发展到如今的基于神经网络的深度学习模型。例如，长短期记忆网络 (LSTM)、卷积神经网络 (CNN) 以及近年来表现优异的变换器 (Transformer) 模型，均已被广泛应用于文本摘要生成任务中。这些技术通过对大规模语料的训练，使得模型能够学习到语言的深层语法、语义信息，提升了自动化摘要的质量。

2.3 新闻编辑场景中的自动化摘要需求

新闻行业对自动化摘要生成有着极高的需求，尤其是在新闻传播的实时性和广泛性要求下，如何快速、准确地生成新闻摘要成为了关键问题。传统的人工摘要生成虽然能够保证摘要的质量，但面对海量的新闻文本，人工工作量巨大，无法满足快速传播的需求。通过自动化技术生成摘要，可以大幅提高工作效率，保证新闻内容的及时性。

然而，新闻摘要生成的难度较大，主要体现在以下几

个方面。首先，新闻文本内容通常涉及多种信息类型，包括事实、数据、评论等，如何准确提取新闻的核心信息并生成简洁明了的摘要，要求模型具备较强的理解能力。其次，新闻摘要需要具备良好的连贯性和语法结构，使得读者能够轻松理解摘要的内容。此外，新闻领域的文本内容具有较强的时效性和领域性，如何在自动化摘要生成中考虑时效性和背景信息，也是一个亟待解决的问题。

3 自动化摘要生成算法的分类与特点

3.1 提取式摘要生成算法

提取式摘要生成算法是自动化摘要生成任务中最早应用的方法之一，其核心思想是从原文中提取出最具代表性、最关键的句子或段落，直接拼接成简短的摘要。这类算法的优势在于简便、高效，能够快速从大量文本中生成简明扼要的摘要。常见的提取式算法包括基于频率的词汇选择算法 (如 TF-IDF)、图模型算法 (如 TextRank)、以及支持向量机 (SVM) 等。

TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) 是一种基于词频与逆文档频率的权重计算方法，能够有效识别文本中最具代表性的关键词或句子，进而选取最具信息量的部分作为摘要内容。TextRank 算法则通过构建句子之间的图模型，将句子视作节点，句子之间的相似度作为边，通过图的结构计算出各个句子的“重要性”，从而选取权重较大的句子作为摘要。支持向量机 (SVM) 则是通过训练样本中的正负样本，利用分类算法识别最具代表性的句子，来生成摘要。

3.2 抽象式摘要生成算法

与提取式摘要不同，抽象式摘要生成算法更侧重于理解和概括原文的核心内容，生成具有创新性和概括性的摘要。这类算法的目标不仅仅是从原文中提取信息，而是通过深度理解原文，生成新的、简洁的内容。基于深度学习的抽象式摘要生成算法，特别是使用神经网络模型，如长短期记忆网络 (LSTM)、循环神经网络 (RNN) 以及变换器 (Transformer) 等，已经在自动化摘要生成领域取得了显著的进展。

深度学习模型可以通过大规模的训练数据学习语言的深层次语法结构和语义关系，从而生成更具概括性和创新性的摘要。例如，LSTM 和 RNN 网络通过逐步处理输入文本中的每个单词，并且能够捕捉到文本中的长程依赖关系，使得生成的摘要不仅能准确反映文章的主要信息，还能灵活调整表达方式，形成创新性的总结。近年来，Transformer 模型凭借其并行处理能力和自注意力机制，取得了更为出色的表现，尤其在处理复杂语法结构和长文本时，能够更好地捕捉文本中的深层次语义关系，生成更加准确和流畅的摘要。

然而，抽象式摘要生成模型也面临一些挑战。首先，这类模型通常需要较大的计算资源和较长的训练时间，这对

于资源有限的应用场景可能是一个障碍。其次，尽管神经网络模型能够学习到更深层的语义关系，但在处理复杂的语法结构和长文本时，仍然存在一定的困难。模型可能无法完美地理解长篇文章中的细节，或者可能出现生成的摘要偏离原文的情况，影响摘要的准确性和可信度。

3.3 混合型摘要生成算法

近年来，结合提取式和抽象式摘要生成的混合型算法逐渐成为研究的热点。混合型摘要生成算法尝试融合提取和生成两种方法的优点，通过首先从原文中提取出重要的信息，然后通过生成模型对提取的内容进行优化、改写，最终生成一个更加简洁、流畅且具有创新性的摘要。

这种算法的基本流程通常是先使用提取式方法进行初步的摘要生成，通过识别出文本中最关键的句子或段落，构建一个粗略的摘要。接着，利用生成模型对这个粗略摘要进行优化和再生成，使其更具连贯性、简洁性和创新性。通过这种方式，混合型算法能够在提取式算法的高效性和抽象式算法的创新性之间找到平衡。混合型算法通常能够生成质量更高的摘要，避免了纯粹提取式方法中可能出现的重复性和信息不连贯的问题，同时又弥补了纯粹抽象式方法中计算资源需求过大和长时间训练的问题。

然而，混合型算法也面临着一定的挑战。首先，这种方法的计算复杂度较高，涉及到提取和生成两个步骤，需要消耗较多的计算资源。其次，尽管混合型算法在提高摘要质量方面表现出了较好的性能，但其仍然存在一定的优化空间，尤其是在自动化摘要的准确性、连贯性和创新性方面。随着技术的不断进步，混合型算法有望进一步提高其效率和准确性，为自动摘要生成提供更优的解决方案。

4 自动化摘要生成在新闻编辑中的性能评估

4.1 评估指标

自动化摘要生成算法的性能评估通常依赖于多个指标，包括抽取信息的准确性、生成摘要的简洁性、连贯性以及语法的流畅性等。常用的评估指标包括 ROUGE (Recall-Oriented Understudy for Gisting Evaluation)、BLEU (Bilingual Evaluation Understudy) 等，这些指标能够有效衡量生成摘要与人工摘要的相似度。

ROUGE 是目前最为常用的自动化摘要评估指标，主要通过计算生成摘要与人工摘要之间的重叠度，如 n -gram 重叠、最长公共子序列等。ROUGE 分为多个版本，包括 ROUGE-N、ROUGE-L 等，分别衡量不同类型的重叠信息。通过 ROUGE 指标，研究者可以客观评估自动化摘要生成的质量和效果。

4.2 算法性能对比

在实际应用中，不同算法在新闻摘要生成中的表现差异较大。基于深度学习的抽象式算法通常能够生成更加简洁且有创新性的摘要，但由于其计算复杂度较高，训练和推理时间较长，因此在实时性要求较高的新闻编辑场景中，可能存在一定的性能瓶颈。而提取式摘要生成算法虽然计算效率较高，但生成的摘要缺乏创新性和深度，往往无法完全体现新闻的核心价值。混合型算法在性能上表现出较好的平衡，能够在保证摘要质量的同时提高计算效率，适应新闻编辑场景的需求。

4.3 应用案例分析

通过具体的案例分析，本文评估了不同算法在新闻编辑中的实际应用效果。以一组新闻数据集为例，分别使用提取式、抽象式和混合型算法生成摘要，并通过 ROUGE 评估指标对比其生成效果。结果表明，抽象式算法在摘要的创新性和简洁性上表现优越，但在处理长文本时仍存在一定的不足。提取式算法在精度和效率上表现较好，适用于时间紧迫的新闻编辑场景。混合型算法则在各方面表现均衡，尤其在处理复杂语境和多样化新闻内容时，能够生成较为理想的摘要。

5 结语

自然语言处理驱动的自动化摘要生成算法在新闻编辑场景中的应用，已经取得了显著的进展。通过各种算法的比较与评估，本文总结了不同算法的优缺点，并探讨了其在实际应用中的效果和改进空间。未来，随着 NLP 技术的进一步发展，自动化摘要生成算法将变得更加智能和高效，能够更好地适应新闻行业对摘要生成质量和时效性的要求。通过结合领域知识、优化算法模型，未来的摘要生成技术将能够为新闻编辑提供更加精确、创新和高效的支持，推动新闻行业的智能化发展。

参考文献

- [1] 孙财茂.材料科学文本挖掘软件的开发及其应用于新型低热导率材料预测[D].吉林大学,2024.
- [2] 边慧聪.基于深度强化学习的游戏阵容角色推荐方法研究[D].齐鲁工业大学,2024.
- [3] 毛寅辉.基于图卷积网络的短文本分类方法研究[D].大连交通大学,2024.
- [4] 袁琳.基于图模型表达的报道性新闻自动摘要研究[D].中国农业科学院,2023.
- [5] 黄蕙.融合句子情感的新闻文档自动摘要提取[D].北京印刷学院,2023.

Analysis of the role of the first dual-polarization X-band weather radar in meteorological disaster prevention, mitigation and relief in Tibet

Luozhui Dawaciren* Lunzhuzhuoma Cirendanzhen Gesangciwang

Lazi County Meteorological Bureau, Lazi, Tibet, 858100, China

Abstract

With the increasing frequency of meteorological disasters, especially the rise in extreme weather events such as heavy rain, thunderstorms, hail, and blizzards, enhancing meteorological monitoring and early warning capabilities has become particularly important. Due to its unique geographical environment and climate conditions, Tibet is often affected by complex weather systems, posing significant challenges to local agricultural production, people's lives, and socio-economic development. In recent years, the deployment of Tibet's first dual-polarization X-band weather radar has provided strong technical support for meteorological monitoring and disaster prevention in the region. This paper primarily analyzes the role of the dual-polarization X-band weather radar in meteorological disaster prevention, mitigation, and relief in Tibet, exploring its advantages in monitoring, warning, and emergency response to heavy rain, thunderstorms, hail, and blizzards, as well as its contributions to meteorological disaster prevention. Through case studies, this paper highlights the unique value of the dual-polarization radar in improving weather forecast accuracy, disaster response speed, and regional disaster management, and discusses potential directions for future technological advancements and applications.

Keywords

dual-polarization X-band weather radar, meteorological disaster prevention and mitigation, meteorological disasters, snow in Tibet

西藏首部双偏振 X 波段天气雷达对气象防灾减灾救灾中的作用分析

落追 达瓦次仁* 伦珠卓玛 次仁旦珍 格桑次旺

西藏自治区拉孜县气象局, 中国·西藏 拉孜 858100

摘 要

随着气象灾害的日益频发, 尤其是暴雨、雷电、冰雹、暴雪等极端天气事件的增加, 加强气象监测和预警能力显得尤为重要。西藏地区由于其特殊的地理环境和气候条件, 常常受到复杂天气系统的影响, 给当地的农业生产、人民生活和社会经济发展带来极大挑战。近年来, 西藏首部双偏振X波段天气雷达的投入使用为该地区气象监测与灾害防治提供了强有力的技术支持。本文主要分析了双偏振X波段天气雷达在西藏地区气象防灾减灾救灾中的作用, 探讨了该雷达在暴雨、雷电、冰雹、暴雪等气象灾害监测、预警和应急响应中的优势及其对气象灾害防治的贡献。通过实际应用案例分析, 本文指出双偏振雷达在提升天气预报精度、灾害响应速度以及区域灾害管理中的独特价值, 并探讨了未来技术提升和应用的可能方向。

关键词

双偏振X波段天气雷达; 气象防灾减灾; 气象灾害; 暴雪西藏

1 引言

气象灾害, 尤其是暴雨、雷电、冰雹和暴雪等极端天气事件, 不仅对人民生活造成直接威胁, 还给各类社会经济活动带来了极大的不利影响。在全球气候变化的大背景下, 气象灾害的发生频率和强度呈现逐渐增加的趋势, 气象监测技术的不断发展为防灾减灾工作提供了重要支持。对于西藏这样一个特殊的高原地区, 复杂多变的气候条件使得气象灾害防治工作更加困难。该地区地理环境复杂, 气候系统特殊, 导致天气变化非常迅速且多变, 给地方政府和气象部门的灾

【课题项目】西藏自治区自然科学基金项目资助《西藏首部双偏振 X 波段天气雷达对预报预警业务中的作用及效应分析》(项目编号: XZ202401ZR0020)。

【作者简介】落追(1993-), 男, 藏族, 中国西藏拉孜人, 本科, 工程师, 从事预报预警、防灾减灾研究。

【通讯作者】达瓦次仁(1995-), 男, 藏族, 中国西藏拉孜人, 本科, 工程师, 从事预报预警、防灾减灾研究。

害预警和应急响应带来了极大的挑战。

随着气象技术的发展,传统的天气雷达已逐渐不能满足复杂气象现象的监测需求。近年来,双偏振天气雷达技术逐步得到了广泛应用。双偏振 X 波段天气雷达作为一种新型的气象监测设备,凭借其优异的探测能力、较高的空间分辨率和多角度的信息获取,成为提升气象灾害预警能力的重要工具。尤其是在西藏地区,双偏振 X 波段雷达能够有效弥补传统雷达技术在高原地区的不足,为气象灾害的防治提供了新的技术支持。本文将从雷达技术的工作原理出发,结合西藏地区的实际气象特点,分析双偏振 X 波段雷达在气象防灾减灾救灾中的应用效果与作用,并探讨其未来发展的前景。

2 双偏振 X 波段天气雷达的工作原理及其优势

2.1 双偏振雷达技术概述

双偏振天气雷达是通过发射和接收不同偏振方式的电磁波来对气象目标进行探测的雷达系统。传统的单偏振雷达只能接收一种偏振态的回波信号,这种方法无法提供关于降水粒子形态、大小、分布等详细的气象信息。而双偏振雷达通过同时发射水平和垂直两种偏振信号,并接收其回波信号,能够获取更多关于气象目标的属性信息。例如,双偏振雷达可以区分雨滴、雪花、冰雹等不同的降水粒子,并通过分析其偏振特性提供更为准确的降水强度、粒度分布等数据。

双偏振 X 波段雷达相比于传统的 C 波段雷达,其波长较短,能够提供更高的空间分辨率。这意味着 X 波段雷达在较小的范围内能够精确探测天气现象,尤其在城市和高原等复杂地形地区, X 波段雷达能够更清晰地捕捉到小范围内的气象变化。由于 X 波段雷达的波长较短,它也可以在较短的距离内进行精确的探测,特别适用于对暴雨、冰雹等短时间强烈天气的监测。

2.2 双偏振雷达的优势

双偏振 X 波段雷达相对于传统天气雷达在多个方面具有显著优势。首先,它能够提供更多的信息,比如降水粒子形态、粒径分布、雷暴强度等,可以帮助气象部门更准确地判断天气情况。其次,双偏振雷达对降水强度、雷电活动、冰雹等极端天气现象具有更好的探测能力,可以显著提高灾害的预警时效。最后,双偏振雷达由于其较高的空间分辨率,能够更好地识别高山和复杂地形下的局部天气现象,对于西藏等地的复杂气候条件尤为适用。

3 西藏地区气象特点与气象灾害的防治需求

3.1 西藏地区的气象特点

西藏地区位于青藏高原,是世界上最高的地区之一,其独特的地理位置和高海拔环境赋予了西藏特殊的气候特征。西藏的气候条件受到海拔、地形、季节和大气环流的综合影响,因此具有极强的局部性和复杂性。由于高原地区的

气压低、空气稀薄,气温变化剧烈,西藏的天气系统相较于其他地区更为多变且难以预测。

西藏的降水大多集中在夏季,受季风影响,西藏南部和东部的降水较为集中且强度较大,尤其是在梅雨季节,暴雨成为常见现象。然而,西藏的降水量总体偏低,西藏的高海拔地区,特别是北部地区,常常是干旱的,降水稀少,这导致雪灾成为频发的气象灾害之一。特别是在冬季,西藏的气候寒冷,降水主要以雪的形式出现,冰雪天气不仅影响了交通和物流,也对农业生产带来不小的挑战。

除了暴雨、暴雪,西藏的天气现象还包括雷电、冰雹等极端气象灾害。由于高原气候的剧烈变化,局部天气系统往往变化迅速,极端天气事件发生频率较高,且这些天气现象往往伴随着山洪、滑坡等次生灾害的发生,严重影响民生和社会经济。西藏地区的气候差异性也比较大,低海拔地区温暖湿润,而高海拔地区寒冷干燥,二者之间的温差和降水差异明显,这种差异对气象监测提出了更高的要求。

西藏的复杂地形和特殊气候也导致了传统气象观测手段的局限性,许多地区难以实施有效的气象观测和灾害预警。因此,提升气象灾害的监测和预警能力,采用更先进的技术手段来应对气象灾害,成为西藏地区亟待解决的问题。

3.2 气象灾害防治的需求

西藏地区气象灾害频繁,特别是暴雨、暴雪、雷电、冰雹等极端天气频发,给人民生活和社会经济带来了巨大的压力和挑战。每年,因气象灾害引发的农作物损失、交通中断、基础设施破坏等问题,直接影响到当地的经济发展和人民的日常生活。西藏地理位置的特殊性和气候条件的多样性使得气象灾害的防治工作更加复杂,因此急需通过科技手段提高防灾减灾的能力。

西藏地区的气象灾害防治需求集中体现在几个方面。首先,极端天气的监测能力亟需增强。西藏高海拔地区的极端天气事件,例如暴雪、冰雹等气象灾害,由于气候的特殊性,传统的气象设备在这些地区的监测效果有限,特别是在偏远山区,气象观测站点稀缺,导致对气象变化的预警滞后,难以及时发现和应对突发的极端天气事件。因此,需要引入更加精确和敏感的气象监测设备,如高精度卫星气象监测仪器、自动气象观测站和移动气象监测平台等,加强对暴雪、冰雹等特殊天气的探测能力,及时提供准确的气象数据。

其次,提高气象灾害的预警时效也是一项重要需求。在面对快速变化的气象灾害时,及时发布灾害预警能够大大减少灾害带来的损失。目前,西藏地区的气象灾害预警能力相对较弱,部分地区在暴雨、暴雪等极端天气来临前未能及时发布预警,导致灾害发生后反应滞后。为了缩短预警时效,需要加快气象数据的采集和处理速度,利用大数据和人工智能等技术手段,提升预警系统的反应能力和精准度。同时,强化地方政府和相关部门在灾害预警发布后的迅速响应,也是提高防灾减灾能力的关键。

最后,提高灾害应急响应速度至关重要。西藏由于地理环境复杂,交通运输困难,一旦发生重大气象灾害,快速的应急响应就显得尤为重要。气象灾害应急响应不仅要求有完善的应急预案和协调机制,还需要快速高效的物资调配与人员部署。通过加强地方应急体系建设、完善基础设施和提升交通条件,能有效确保政府和应急部门能够快速应对突发气象灾害,减少人员伤亡和财产损失。

总的来说,西藏地区气象灾害防治需求日益迫切,随着气候变化和极端天气事件的增多,加强气象监测、预警和应急响应能力,将有效提升西藏地区应对气象灾害的整体能力,保障人民生活安全与社会稳定。

4 双偏振 X 波段雷达在气象防灾减灾中的应用

4.1 暴雨监测与预警

暴雨作为西藏地区常见的极端天气事件,给农业生产和基础设施带来了极大的威胁。双偏振 X 波段雷达通过对降水强度、粒度分布和粒形的精确探测,能够在暴雨发生前提供更为准确的预警。通过雷达回波的分析,气象部门能够精确判断暴雨的发生地点、强度及其发展趋势,从而为地方政府和灾害防治部门提供及时的决策依据,帮助其做好防灾减灾工作。

4.2 雷电监测与灾害预防

雷电是西藏地区另一种常见的极端天气现象,雷电的发生常常伴随着暴雨、冰雹等天气,具有较强的危害性。双偏振雷达能够通过分析降水粒子和电场的变化,提前识别雷电发生的区域和强度,并通过实时监控提供雷电预警。雷电监测技术的提升有助于减少因雷击引发的火灾、电力中断等灾害,提高防灾减灾的效能。

4.3 冰雹与暴雪监测

冰雹和暴雪在西藏地区的山区频繁发生,这些灾害不仅对农作物造成严重损害,还可能引发交通事故和基础设施损坏。双偏振 X 波段雷达通过其对降水粒子大小和形态的精确识别,能够有效监测冰雹的发生,并通过探测暴雪的强度和覆盖范围,提供及时的预警。这使得西藏地区的气象灾害预警系统能够在面对这些极端天气时,做出更为精准的响应。

5 双偏振 X 波段雷达的挑战与未来发展方向

5.1 技术适应性与成本问题

双偏振 X 波段雷达在气象防灾减灾中的应用具有显著优势,尤其是在降水量、风速、雷暴等气象现象的监测中,能够提供更加精确和细致的数据。然而,尽管其技术具有较高的应用价值,技术适应性和高昂的建设及维护成本依然是

其推广应用中的主要障碍。首先,双偏振 X 波段雷达的技术要求较高,其安装、维护和运行需要精密的技术支持,操作人员必须具备一定的专业技能才能确保设备的正常运行。这使得其应用的普及受到限制,尤其在一些技术力量薄弱的地区,可能难以承受高昂的设备安装和维护费用。

此外,初期投入的高成本是另一个不容忽视的难题。雷达系统的购买、建设、调试和维护均需要大量的财政支出,这对于一些地方政府或部门来说可能会形成较大的经济压力。因此,政府和相关部门需要加强对双偏振 X 波段雷达技术的投入和支持,不仅要推动设备的技术更新和设施建设,还需要考虑如何降低运营和维护成本,制定合适的财政补贴或技术支持政策,以确保该技术能够在各地区得到广泛应用。

5.2 数据处理与集成的挑战

双偏振 X 波段雷达能够生成大量的高分辨率气象数据,涵盖降水量、风速、温度等多方面信息,这为气象预警和灾害防治提供了宝贵的数据支持。然而,随之而来的挑战是如何快速、高效地处理和分析这些大量的数据。雷达系统的数据处理能力要求极高,尤其在实时性和准确性方面,需要依赖强大的计算平台和智能算法来处理数据。

6 结语

西藏首部双偏振 X 波段天气雷达的投入使用,极大提升了西藏地区气象灾害的监测与预警能力。该技术在暴雨、雷电、冰雹、暴雪等极端天气的监测中,展现出了显著的优势,能够提供更为精准的预警,为气象防灾减灾工作提供了强有力的技术支持。随着技术的不断发展,未来双偏振 X 波段雷达将在更多的领域发挥重要作用,助力西藏地区在应对气象灾害中的能力提升。为了进一步发挥该技术的优势,未来应加大对雷达系统的投入,推动数据处理技术的发展,提高其应用的普及性和效率。

参考文献

- [1] 中国气象局.全国高影响天气监测预报服务技术复盘[M].气象出版社:202308.350.
- [2] 《中国气象发展报告2022》编委会.中国气象发展报告[M].气象出版社:202212.411.
- [3] 中国气象局.《气象高质量发展纲要(2022—2035年)》辅导读本[M].气象出版社:202209.302.
- [4] 张小曳,李泽椿,端义宏.自然灾害风险防控科技支撑体系发展战略研究[M].气象出版社:202111.105.
- [5] 《中国气象防灾减灾》编委会.中国气象防灾减灾[M].气象出版社:202111.300.

Design and research of virtual try-on system based on diffusion model

Quansheng Wang Meina Zhang*

Liaoning University of Science and Technology, Anshan, Liaoning, 114051, China

Abstract

This paper presents an intelligent virtual try-on system based on diffusion model, which aims to break through the limitations of traditional virtual try-on technology in the aspects of reality, diversity and user experience. In the process of research, we plan and design a new style of dual-path diffusion architecture, which focuses on half-body and full-body fitting scenes to make optimization processing respectively. This system integrates the OpenPose human pose estimation module with the fine human analysis module, and achieves the natural alignment state of clothing and human body by generating accurate clothing region masks. Experimental results show that, compared with some existing methods, our system has the ability to generate higher quality and more realistic fitting results while maintaining the identity characteristics of the model, especially in dealing with complex textures and wrinkles.

Keywords

Diffusion model, human pose, garment alignment, Generative AI

基于扩散模型的虚拟试衣系统的设计与研究

王泉盛 张美娜*

辽宁科技大学, 中国 · 辽宁 鞍山 114051

摘 要

本文拿出了一种依据扩散模型打造的智能虚拟试衣系统, 其目的在于突破传统虚拟试衣技术在真实感、多样感以及用户体验等层面存在的局限之处。在研究进程当中, 我们规划设计出了一种全新样式的双路径扩散架构, 该架构分别着眼于半身和全身试衣场景来做出优化处理。此系统将OpenPose人体姿态估计模块与精细人体解析模块整合到了一起, 借助生成精准的服装区域掩码这一方式, 达成了服装和人体的自然对齐状态。实验结果显示, 跟现有的一些方法相互对比来看, 本系统在维持模特身份特征的同时, 有能力生成质量更高且更加逼真的试衣成效, 尤其在应对处理复杂纹理以及褶皱方面, 其表现格外突出。

关键词

扩散模型; 人体姿态; 服装对齐; 生成式AI

1 引言

随着电子商务不断地快速发展起来, 虚拟试衣技术也渐渐变成了能够提升在线购物体验的一项颇为重要的工具^[1]。不过, 传统的虚拟试衣技术其实是面临着不少挑战的, 这里面主要存在着像是服装和人体的匹配精度不高、没办法很准确地去模拟服装所具有的物理特性, 还有就是个性化方面的需求也难以很好地满足等一系列的问题。传统的那些方

法主要是依靠图像合成以及三维建模来开展相关工作的, 可往往就是没办法真实地把试穿的效果给呈现出来, 如此一来也就使得用户在体验方面表现得不是很好。

近些年来, 扩散模型于图像生成这一领域当中获得了颇为重要的突破。与传统的生成对抗网络相比, 扩散模型所生成出来的图像, 其质量明显更高, 而且图像的细节之处也处理得更为细致。该模型采取的方式是逐步往里面添加噪声, 然后再逆向将清晰的图像给恢复出来, 通过这样的操作过程, 其展现出了极为强大的图像生成方面的能力。在虚拟试衣这个领域里面, 扩散模型给生成那种精准的人体和服装相互匹配的效果带来了全新的可能性, 它能够以更好的方式去模拟服装所具有的那种自然贴合的感觉以及动态呈现出来的效果, 如此一来, 便能够对传统技术所存在的不足之处起到弥补的作用。

【基金项目】2025 年辽宁科技大学大学生创新创业训练计划项目经费支持。

【作者简介】王泉盛 (2005-), 男, 中国山东潍坊人, 在读本科生, 从事计算机视觉研究。

【通讯作者】张美娜 (1981-), 女, 中国辽宁鞍山人, 硕士, 副教授, 从事自然语言处理, 软件工程研究。

2 深度学习在虚拟试衣中的应用

在深度学习不断发展的进程中，虚拟试衣技术慢慢开始引入那些较为先进的神经网络模型^[3]，如此一来，试穿效果在准确性以及真实感方面都有了明显的提升。

GAN 系列模型已经在虚拟试衣领域得到了颇为广泛的运用。这些模型能够生成出来的图像和真实试穿效果是比较相近的，如此一来便使得服装和用户体型之间的匹配程度得到了提升。GAN 可以依据用户图像以及服装相关信息去生成那种具有较高真实性的虚拟试穿图像，通过这样的方式也就提升了用户在体验方面的感受。

注意力机制于服装迁移所起的作用在于：注意力机制应用于深度学习之时，对提升模型处理复杂输入数据的能力是有帮助的。在虚拟试衣这一场景下，注意力机制能够助力模型更为妥善地聚焦于图像里服装以及人体的关键区域，从而达到更为精准的服装迁移与适配操作。

3 扩散模型研究进展

扩散模型的基本原理在于，它属于一种生成模型，其运作方式是逐步往图像里添加噪声，之后再凭借逆向的过程来把图像恢复到清晰的状态。相较于传统的生成对抗网络，也就是 GAN 而言，扩散模型在生成图像时，于图像的细节呈现以及质量把控这两方面，都展现出了更为突出的能力。经过长时间不断地迭代操作，扩散模型所生成出来的图像能够达到更加清晰的程度，看上去也更为自然，并且还具备着很高的细节度。

4 人体姿态估计与人体解析技术

人体姿态估计技术的运作方式是通过图像里关节点位置加以分析，进而实现对人体具体姿态以及动作的识别。此技术能够助力虚拟试衣系统去捕捉用户处于不同姿势之时的体型方面的变化，以此来达成对服装穿着效果的精确模拟。

人体解析技术会进一步对人体的各个部位加以分析，像头部、躯干、四肢等部位，从而提取出更为精细的体型特征。在虚拟试衣中，上述这些信息对生成契合的服装效果来讲是极为重要的，其能够助力服装和用户的体型达成更为精准的匹配状态。

5 系统的设计与方法

5.1 系统的整体架构

该虚拟试衣系统在整体架构方面选用了模块化设计方式，其借助多个功能模块彼此协同运作的模式，来给予精准且高效的虚拟试衣感受。此系统的整体架构包含了如下几个较为关键的部分：

人体姿态估计模块（OpenPose）这一模型，可用来提取模特图像里面的人体关键点相关信息。而这些所提取出来的关键点，会充当后续开展服装试穿流程之时的一种参考依据，其目的在于保障服装和人体之间能够达到较好的贴合程度。

人体解析这一模块的主要职责在于对人体图像展开分析，从中提取出关于用户体型的具体详尽信息。在结合姿态估计所得到的数据之后，系统便能够较为精准地对用户的体型特征予以识别，进而实现对服装匹配效果的优化提升。

服装区域掩码生成这一模块，主要是运用深度学习方面的相关算法来生成服装区域的掩码。通过该操作，能够把服装图像里的一些相关区域和背景分离开来，如此一来，便为后续的合成操作提供了便利条件。

双路径扩散模型^[2]构成了该系统极为关键的核心图像生成模块。在这一系统当中，借助半身试衣模型以及全身试衣模型，系统会依据用户上传的模特图像以及服装图像，进而生成虚拟试穿图像。

多样性采样及可控生成机制的作用在于它能够让用户依照自身的具体需求，对试穿效果所涉及的样式、颜色以及贴合度等各类参数加以调节，进而生成多种多样且各不相同的虚拟试穿效果。

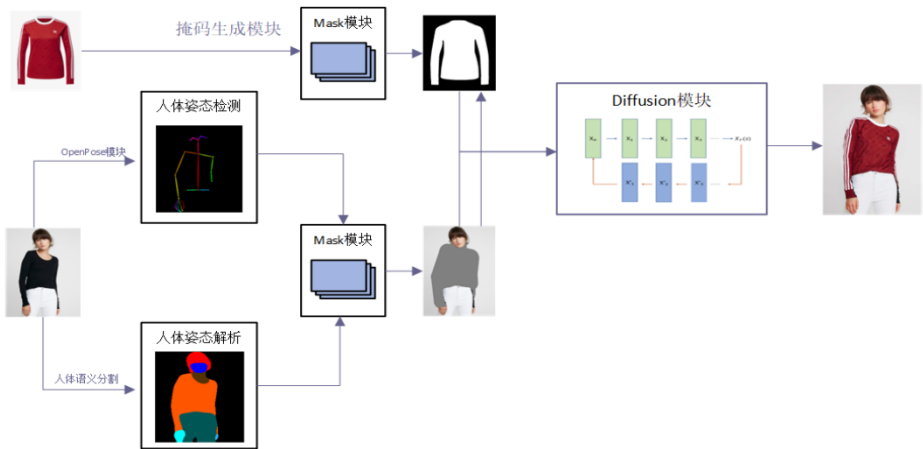


图 1 基于扩散模型的虚拟试衣方法架构

5.2 人体姿态估计模块

OpenPose 的工作流程大体上能够划分成若干主要步骤，这其中涵盖了输入预处理环节、人体姿态估计环节、热图处理环节、峰值检测环节以及姿态连接环节。而各个环节其具体的操作过程如下所示。

5.2.1 输入预处理

用户所上传的图像，第一步是要经过预处理操作^[7]，预处理涵盖了对图像做缩放处理以及对其颜色格式加以转换等内容。具体来讲，要对图像的分辨率做出调整，比如说调整成 384x512 这样的规格，与此同时，还要对图像的颜色进行标准化的处理。

5.2.2 人体姿态估计

在经过预处理的图像之上，OpenPose 借助卷积神经网络来生成一组热图，这里的每一个热图都是用来呈现图像里某个关节其概率的具体分布情况的。在这些热图当中，每一个像素所具有的值其实就意味着该位置出现特定关节的可能性大小。经过好几个阶段所开展的卷积以及池化相关操作之后，该模型最终成功生成能够涵盖所有关节的多个热图。

5.2.3 热图处理与峰值检测

在生成出来的热图中，运用高斯滤波器来对它加以平滑方面的处理，其目的在于能够减少其中存在的噪声，同时还可以提升关键点所具有的精度。高斯滤波器具体的公式如下所示：

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

$G(x, y)$ 所表示的是高斯滤波器具体的值， σ 指的是标准差。

经过这样一番处理之后，系统便能够精准地提取出有关键点所在的精确位置。在此之后，系统会运用峰值检测算法，在每一个关节所对应的热图当中去寻觅局部的最大值。

$$P(x, y) = \text{True} \quad \text{if} \quad \forall (x', y') \in N(x, y), H(x, y) > H(x', y') \quad (2)$$

在这之中， $N(x, y)$ 所代表的是处于点 (x, y) 邻域范围内的其他一些点， $H(x, y)$ 是热图在这个相应点上所具有的值。

5.2.4 骨骼连接

当关键点被检测出来以后，系统就会依照骨骼结构所具有的逻辑关系，把这些检测到的点一一连接起来，进而形成一个完整的姿态。而这一连接的过程是能够凭借下面所给出的公式来加以描述的，假设存在两点，分别记为 $A(x_1, y_1)$ 以及 $B(x_2, y_2)$ ，那么连接这两点的直线段便可以用如下的形式来表示：

$$\text{Line} = \{(x, y) | x = x_1 + t(x_2 - x_1), y = y_1 + t(y_2 - y_1), 0 \leq t \leq 1\} \quad (3)$$

这里面， t 属于一个参数，其作用在于表明处在连线的各个点的相应位置。

5.3 人体解析模块

人体解析模块着重于对用户体型详细特征予以分析并提取出来。它运用了一个依据 ResNet 架构搭建而成的深度神经网络^[3]，借助将多个技术，像 PSP 模块、ASPP 模块以及边缘学习模块等相结合的方式，来解析人体图像。

5.3.1 上下文信息融合

PSP 模块以及 ASPP 模块借助多尺度处理的方式，把不同尺寸的各类信息融合起来，以此强化模型针对复杂场景予以理解的能力，特别是在对人体细节部分展开处理的时候，其效果更为明显。

(1) PSP 模块中的金字塔池化

将输入特征图按照不同的尺寸来开展池化操作，这里分别运用尺寸为 1x1、2x2、3x3 以及 6x6 的池化窗口。倘若输入特征图其尺寸是 $H \times W$ 的话，那么在完成池化之后，所输出的特征图尺寸便会变为 $H' \times W'$ ，相应公式如下：

$$H' = \frac{H}{S}, W' = \frac{W}{S} \quad (4)$$

(2) ASPP 模块中的膨胀卷积

膨胀卷积在运作过程中，会对卷积核的感受野予以扩展，如此一来，它便能够抓取到更多的上下文方面的信息。假定卷积核其大小设定为 $k \times k$ ，而相应的膨胀率确定为 d 的话，那么经过扩展之后所形成的感受野则是：

$$\text{dilated size} = k + (k - 1) \times (d - 1) \quad (5)$$

借助这样的方式，ASPP 模块便能够对多尺度的信息予以捕捉，进而在复杂的图像当中提取出更多具备实用价值的特征。

5.3.2 边缘特征提取

边缘学习模块对图像里人体边缘的提取能力有了更进一步的强化，以此来保证服装和人体轮廓能够达成精准的匹配。

边缘卷积这一操作，其主要方式是针对图像里的每一个像素去计算它的梯度，以此来把图像当中的边缘信息提取出来。而关于梯度操作可以通过特定方式来进行表示的，具体可表述为：

$$G(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2} \quad (6)$$

在这里面， $G(x, y)$ 所代表的是图像处于位置 (x, y) 之时的边缘强度情况，图像在 x 方向以及 y 方向上的梯度。

5.4 双路径扩散模块

本系统精心创设了一个双路径扩散模型^[2]，这个模型一方面可应用于半身试衣场景，另一方面能用于全身试衣情境。该模型会把生成的服装图像和用户的体型相互融合起来，以此达成高度贴近真实状况的虚拟试衣成效。

5.4.1 试衣模型的设计

半身试衣模型运用了条件扩散网络，把用户的上身图

像以及服装图像输入进去之后,便能生成那种虚拟试穿效果,且该效果呈现出自然贴合的状态。其具体操作步骤如下:

起初,用户所上传的上半身图像以及服装图像,会依照自定义的一套处理流程来展开预处理操作,这里面涉及到对图像尺寸的调整以及使其达到标准化的状态。图像在输入的时候,会借助 AutoProcessor 与 CLIPVisionModel 来完成编码工作,进而从中提取出图像所具有的嵌入特征。随后依靠 UNetGarm2DConditionModel 模型,服装图像的相关特征会被提取出来,并且会和人体图像的特征相互融合到一起,这样便能够生成出初步的虚拟试穿图像。关于扩散过程,其数学表达式如下:

$$\mathbf{x}_t = \mathbf{x}_{t-1} + \Delta_t(\mathbf{y}) \quad (7)$$

其中, $\mathbf{x}_t$ 是扩散的当前图像所处的状态, $\mathbf{x}_{t-1}$ 则是前

一个步骤呈现出来的状态,表示的是在每一个具体的时间步骤 t 上所发生的噪声添加或者移除这样的过程。

5.4.2 多样性采样与可控生成机制

为了让生成结果具备更多样性,同时提升用户与之交互的程度,本系统特别设计出了多样性采样机制以及可控生成机制。用户能够依照自身的实际需求,对生成图像的风格、色彩、款式等诸多参数加以调整,如此一来,便可以获取到多种多样的虚拟试穿效果。在多样性采样机制方面,系统会依据如下公式来对生成过程里的样本采样做出相应调整:

$$P(\mathbf{z}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\mathbf{z}-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (8)$$

在这当中, μ 所代表的是生成分布的均值,而 σ 代表的则是其标准差。

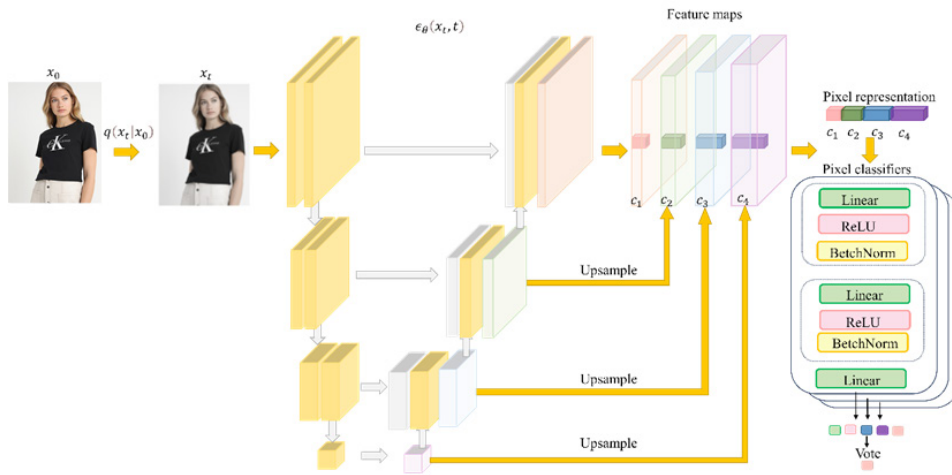


图2 扩散模型结构示意图

6 实验与结果分析

就生成图像的质量来讲,我们运用 FID 以及 SSIM 对双路径扩散模型所生成的服装图像展开评估。实验得出的结果表明,在诸多评估指标的衡量之下,该模型展现出了出色的表现。从性能层面来看,双路径扩散模型有着比较高的生成速度,同时其计算成本也相对较低。

从表格呈现的评估指标能够观察到,本方法(Ours)在生成图像的质量,结构一致性方面以及感知自然度等方面,全都有着出色的表现。相较于其他的一些方法而言,本方法在生成图像时所呈现出的真实感以及细节的保真度上,是具备着明显优势的,图像的结构以及纹理都维持了更高度的一致性。

表1 试衣效果定量指标评价结果

评价指标	HR-VITON	GP-VTON	VITON-HD	Ours
KID ↓	16.77	15.52	18.63	10.36
FID ↓	12.58	10.86	13.90	9.52
SSIM ↑	0.855	0.887	0.864	0.885
LPIPS ↓	0.091	0.071	0.098	0.064

7 结语

此研究推出一种依托扩散模型构建的智能虚拟试衣系统,鉴于传统虚拟试衣技术在真实感层面、多样性表现以及用户体验环节存在诸多问题,特意设计了双路径扩散模型,且对其做了相应优化。实验得出的结果显示,跟现有的一些方法相互对比来看,该系统于生成质量方面、细节保真程度方面以及感知自然的程度方面,均能够获取颇为显著的提升,尤其在处置那些有着复杂纹理以及服装细节的情况时,展现出较为强劲的优势。该系统一方面给时尚零售领域引入了技术层面的创新之举,另一方面也为日后虚拟试衣系统的发展给予了全新的思路以及技术层面的路径选择。

参考文献

- [1] 崔馨心,朱琳.元宇宙虚拟试衣的应用价值与前景分析[J].中国服饰,2024,(09):56-58.
- [2] 陈相宜.基于外观流和扩散模型的虚拟试衣[J].现代信息科技,2025,9(05):17-24.
- [3] 杨浩哲,郭楠.基于图像的虚拟试衣综述——从深度学习到扩散模型[J/OL].计算机工程与应用,1-21[2025-04-03].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20241209.1400.008.html>.

Research and application of “electronic fence” in Balasul coal mine

Wei Feng Liming Chen Jianqiang Liang Xin Li Jiang Liu

Balasu Coal Mine, Yuyang District, Yulin City, Shaanxi Province, Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract

The underground mine personnel-machine collision prevention system, commonly known as the “electronic fence,” is key to addressing safety issues in complex underground environments. By integrating advanced technologies such as UWB precise positioning and AI intelligent video, it achieves monitoring of personnel and equipment locations, hazard prediction and alarm, and equipment locking control in hazardous areas. This paper delves into the design principles, architecture, functions, and technical parameters of the system, compares its advantages and disadvantages with similar technologies both domestically and internationally, and elaborates on the system’s innovative points and practical application effects. The system effectively reduces the risk of human-machine collisions, enhances safety management levels in coal mines, and offers significant social and economic benefits, providing strong technical support for the intelligent construction of coal mines.

Keywords

AI intelligent video; man-machine collision prevention system; UWB precise positioning; dynamic time slot protocol mechanism

巴拉素煤矿井下“电子围栏”的研究与应用

冯伟 陈立明 梁建强 李鑫 刘江

陕西榆林榆阳区巴拉素煤矿，中国·陕西 榆林 719000

摘 要

煤矿井下人机防碰撞系统也就是人们口中所说的“电子围栏”，该系统是解决井下复杂环境下人机安全问题的关键。通过综合运用UWB精确定位、AI智能视频等先进技术，实现对井下危险区域的人员和设备位置监测、危险预判报警及装备闭锁控制。本文深入探讨了系统的设计原则、架构、功能、技术参数等内容，对比分析了与国内外同类技术的优劣，详细阐述了系统的创新点和实际应用效果。该系统能有效降低人机碰撞风险，提高煤矿安全生产管理水平，具有显著的社会和经济效益，为煤矿智能化建设提供了有力的技术支撑。

关键词

AI智能视频；人机防碰撞系统；UWB精确定位；动态时隙协议机制

1 引言

随着煤矿自动化技术的飞速发展，大型装备如连续采煤机、掘锚一体机等在井下采掘工作面的广泛应用，极大地提高了煤矿生产效率。然而，井下作业环境恶劣，空间狭小、光线不足、噪声大且粉尘多，操作人员视线和听力受限，大型装备作业时极易引发碰撞、挤压等事故，严重威胁着矿工的生命安全和煤矿的安全生产。

国内外厂家在人机防碰撞探测技术方面进行了诸多探索，主要包括雷达探测技术、视频摄像智能分析技术、RFID或蓝牙定位技术、电磁探测技术以及UWB精确定位技术等。但这些技术各自存在局限性，如雷达和视频摄像智能分析技术在昏暗粉尘环境中效果不佳，电磁探测和RFID

技术探测距离有限等。因此，开发一种适用于井下复杂环境的人机防碰撞系统具有重要的现实意义。

2 系统功能设计

2.1 目标与需求

采用国内领先的UWB精确定位、AI智能视频等技术。UWB精确定位技术具有低功耗、抗干扰能力强、覆盖距离大、定位精度高等优点，能够在井下复杂环境中实现精确的人机位置监测。AI智能视频技术则可以对重点区域的视频监控数据进行智能分析，预判危险情况。实现对煤矿井下危险区域的人机位置精确监测，提前预判危险并报警，主动控制装备闭锁，避免事故发生。同时，将报警日志和相关视频资料上传到地面数据库备份，为安全警示和违规作业回溯提供依据。

2.2 系统架构与设计

系统由一主多从结构的KJ69J-D5读卡器、车辆定位卡、

【作者简介】冯伟（1982-），男，中国安徽淮南人，硕士，工程师，从事煤矿信息化、智能化管理研究。

人员定位卡、信息化矿灯、声光报警器、通信信号装置主机、远程控制开关、红外热像仪（或摄像机）、本安电源、闭锁控制装置，以及监控中心设备、传输网络和前端设备组成。

KJ69J - D5 读卡器用于和各类型定位卡进行精确定位，并可通过与其他设备的连接实现语音报警、远距离控制、数据上传等功能。

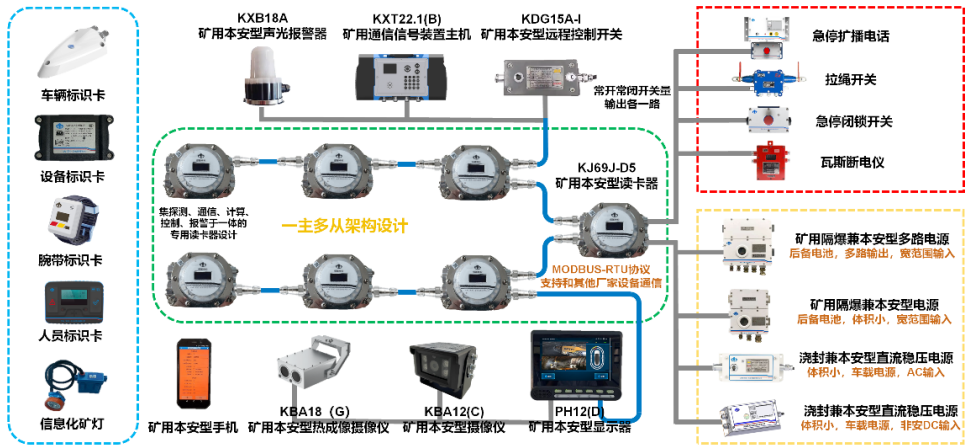


图 1 系统架构图

设计思路遵从以下原则：

- (1) 架构合理：系统架构设计充分考虑井下复杂环境和实际应用需求，采用一主多从结构的 KJ69J - D5 读卡器等设备，确保系统的稳定性和可靠性。
- (2) 安全可靠：以保障井下安全生产为出发点，通过先进的技术和算法，提高系统的危险预判和报警能力，确保在危险情况下能够及时控制装备闭锁。
- (3) 先进高效：采用多读卡器综合定位方法，结合动态时隙协议机制和轨迹平滑算法，在保障危险闭锁成功率的同时大大降低误触发概率，提高系统的响应速度和准确性。
- (4) 成本节约：依靠专为电子围栏设计的集合探测、计算、控制、报警为一体的读卡器设计，最大程度地简化系统架构，为煤矿节约了成本。

2.3 系统功能实现

停机控制功能：启机时，若停机区域存在作业人员，设备不允许启机；作业时，作业人员闯入停机区域，设备主动停机。

双向报警功能：危险和警报区域存在人员时，系统会发出双向报警，即机车端读卡器进行声光报警，同时危险区域人员所携带的标识卡或矿灯也会有报警提示。

白名单功能：可以通过手机 APP 将本机操作人员、检修人员加入本车的白名单中，白名单成员不触发本机的报警和停机。

司机检测功能：通过手机 APP 设置驾驶室区域范围，人员进入驾驶室范围被系统认为是本机司机，该人员不再触发本机的报警和停机，还可设置司机离岗闭锁。

系统旁路功能：装备检修或系统故障时，可以在手机 APP 中关闭系统，保障生产作业。

手机 APP 控制功能：可以通过手机 APP 连接读卡器，实现配置参数、编辑语音内容、更改白名单等功能。

语音报警功能：连接声光报警器或广播后，人员进入停机区和预警区可以播报语音，不同区域语音播报内容可分开设置。

数据上传功能：可通过 UWB、WIFI 等方式无线连接井下定位通信基站，将数据上传至地面调度中心。

视频显示功能：红外热像仪（或摄像机）可以连接显示器，让司机在驾驶室观察到装备盲区影像。

3 系统应用

3.1 系统应用地点

系统适用于多种井下作业地点，包括掘进工作面的各类装备、给料破碎机、连运头车、矿井主运输和采区带式输送机驱动部分和机尾滚筒、溜煤眼或煤仓上、下口、密闭墙、采煤工作面转载机等。

3.2 系统实施

3.2.1 掘进工作面装备方案

在掘进装备、锚护装备、辅助作业装备上安装 KJ69J - D5 读卡器，人员佩戴标识卡或信息化矿灯。通过读卡器与人员携带的定位设备进行测距，结合预设的报警和危险距离进行本地计算分析预判。现场人员进入报警区域时，读卡器自带声光报警；进入危险区域时，控制装备停机闭锁。同时，在装备司机驾驶室的另一侧安装摄像机，显示器安装在司机视野范围内，便于司机观察盲区影像。如需上传数据，显示器可通过 4G 或 WIFI 和井下基站进行通信。

3.2.2 固定场所方案

在溜煤眼、煤仓上下口等危险场所安装 KJ69J - D5 读卡器，人员佩戴标识卡或信息化矿灯。同样通过测距和预设距离进行分析预判，实现报警和停机闭锁功能。在固定区域安装具有 AI 智能识别算法的红外热像仪，朝向危险区域范围或出入口，可识别人员越界并报警。热像仪可通过千兆电口或光口接入环网将数据上传到地面服务器。

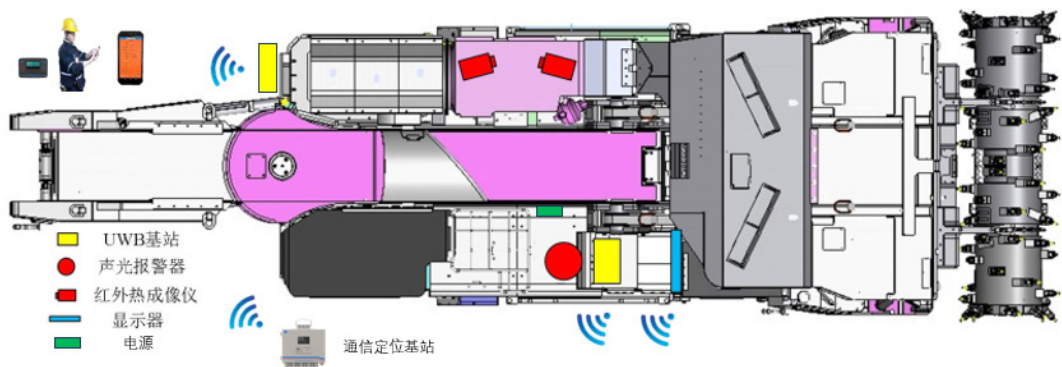


图 2 掘锚一体机设备布置图



图 3 人员限入信号覆盖范围示意图

4 结论与展望

本矿井下人机防碰撞系统通过先进技术与创新设计，成功解决了井下复杂环境中的人机安全问题，在实际应用中展现出卓越性能与显著成效。该系统在矿井下的应用实现了多种现场应用场景，涵盖掘进装备、锚护装备、辅助作业车辆的人员接近检测及主动拒止，综采面液压支架人员定位及联动闭锁，综采面转载机部分违规翻越报警及自动闭锁，溜煤眼等危险区域人员限入报警等。

针对井下采掘工作面环境恶劣、大型装备安装位置有限的难题，项目组开展了一系列针对性设计与研发工作。设计了小型化、轻量化的信息测控一体装置，此装置集探测、计算、控制、报警等多种功能于一体，能够完美适配井下各种复杂场景的应用需求。同时，为满足客户多样化需求，研制了信息化矿灯、定位标识卡、定位腕卡等穿戴式单兵装备。

车载显示装置可让司机在驾驶室清晰观察装备四周人员分布及位置信息，而手持式控制终端则具备远程观察数据、修改配置参数、巡检设备状态等功能，适用于人机遥控作业场景。在产品研制过程中，通过 PCB 堆叠方式充分利用内部空间，在音腔处使用防水膜处理，使整机达到 IP67 防护等级，有效提高了系统的集成度和防护等级。

该系统的核心功能是实现井下人机防碰撞。当井下人员接近作业车辆时，系统会及时发出声光报警信号，在紧急情况下还能控制车辆停机闭锁，这一功能极大地降低了人机碰撞风险，对提高煤矿安全生产管理水平起到了关键作用。从现场应用实施效果来看，人机防碰撞系统具有全方位覆盖井下大型装备四周的能力，人员接近检测误报率极低，在危险情况下主动闭锁响应速度快，系统可靠性高。这些优点使得井下人机作业事故发生率大幅降低，为煤矿安全生产提供了坚实保障。此外，系统触发安全报警数据会自动上传并记录到地面服务器，这些数据为井下人机安全作业教育工作提供了宝贵的素材，有力推动了井下人机安全作业技术的进步。为我矿的安全发展和智能化建设提供了有力的支持。

参考文献

[1] 王小波,张在琛,胡成博,等,一种改进的UWB空间定位方法研究[J].电力工程技术,2018,36(03):72-76.

[2] 孙继平,李晨鑫,基于TOA技术的煤矿井下人员定位精度评价方法[J].煤炭科学技术,2014,42(03):66-68.

[3] 孙继平,冯德旺,郑召文,任锦彪.矩形巷道导波特性的等效传输线法分析[J].煤炭学报,2008,33(12):1438-1441.