



06  
2025

Information Science and Engineering Research

# 信息科学与工程研究

Volume 6 Issue 6 June 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.

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



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

出版格式要求:

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

出刊及存档:

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

作者权益:

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

评审过程:

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

# 信息科学与工程研究

Information Science and Engineering Research

主 编

陈惠芳

浙江大学，中国

编 委

彭照阳 Zhaoyang Peng

李 砚 Yan Li

朱朝阳 Chaoyang Zhu

房锐波 Ruibo Fang

张 力 Li Zhang

- 1 抗高过载电容式加速度传感器设计与优化  
/ 任建军 杨雁宇
- 5 大数据时代数据安全治理的网络安全策略探讨  
/ 江均勇
- 8 基于 AI 的通信综合代维故障预测与智能调度系统研究  
/ 党权
- 11 一种星地融合网络下的资源调度方法的研究  
/ 李超 谭景阳 糜佳佳
- 14 车载蓝牙协议与应用研究  
/ 彭程 叶明 孙博
- 17 智能化技术在地铁信号系统维护中的运用策略思考  
/ 王绪鹏
- 20 档案全文检索统一服务平台设计与实践  
/ 杨建钦
- 23 信息化背景下林业经济转型升级的思考  
/ 荣傲登
- 26 智能消防：AI 技术在消防领域的创新应用研究  
/ 吴创南
- 29 基于改进樽海鞘群算法的货位作业排序问题研究  
/ 谈子健
- 32 轨道交通客运营营销中的大数据应用与精准营销策略  
/ 董丽思 王迎春
- 35 基于 MATLAB 的数字图像边缘检测设计  
/ 肖冠霖 曲宁
- 38 智能仓储管理系统与生产管理系统的集成研究  
/ 代申
- 41 5G 无线通信与光通信技术的融合及其应用研究  
/ 林焱
- 44 面向高可靠性的智慧电厂计算机运维软件维护方法及实现路径  
/ 刘思聪
- 47 基于 5G-A 专网技术的高性能移动场景应用探讨  
/ 陈向荣 邢彪
- 50 计算机视觉技术在智能化农业机械中的应用  
/ 陈娟 曹志鹏
- 53 5G 通信中无线传输技术的应用探讨  
/ 王志华
- 56 基于 MR 位置分布的无线网覆盖精准度优化研究  
/ 田超 吕仪生 江磊 朱元德
- 60 地磅、物联网与传感器的技术原理、系统设计与应用分析  
/ 姚平
- 64 信息化装备软件任务测试场景模型构建方法研究  
/ 王梅晨 许兆伟 闫然 张凯
- 68 STM32 驱动下的智能消毒机精准监测与控制技术研究  
/ 赵瑞兴 徐振恺 李佳宁 徐志远
- 71 基于 STM32 和 OpenMV 的智能泊车系统设计  
/ 罗潜 颜同宇 凌宏浩 陈燕辉 陈志伟
- 74 少儿编程课程教学设计研究  
/ 吴瑜鹏 王佳妮 柳雨欣 刘欣语 柴雪萍
- 77 铁路信号设备智能维护检修技术应用与优化研究  
/ 高彪 耿刘云
- 80 计算机科学技术在网络信息传输与数据存储中的应用  
/ 金鹏飞
- 83 基于动态功率共享技术提升 5G 网络效能  
/ 祝海亮 蔡小峰 崔庆勇 季凯 许艳秋
- 86 基于激光雷达的跑步机脚步速度感知方法研究  
/ 刘卓 张寄望
- 89 VR 头显手柄感知的体转检测控制法  
/ 张寄望
- 92 城市轨道交通主数据管理平台建设契机与规划  
/ 赵佳佳
- 95 人工智能驱动的工业敏感数据异常行为识别与安全管控技术研究  
/ 吴慧明 金华松

- 1 Design and Optimization of Anti high Overload Capacitive Acceleration Sensor  
/ Jianjun Ren Yanyu Yang
- 5 Discussion on Cybersecurity Strategies for Data Security Governance in the Era of Big Data  
/ Junyong Jiang
- 8 Research on AI based Communication Integrated Maintenance Fault Prediction and Intelligent Scheduling System  
/ Quan Dang
- 11 A Study on Resource Scheduling Methods in Satellite-Terrestrial Integrated Networks  
/ Chao Li Jingyang Tan Jiajia Mi
- 14 Research on Bluetooth protocol and application in car  
/ Cheng Peng Ming Ye Bo Sun
- 17 Thought on the application strategy of intelligent technology in subway signal system maintenance  
/ Xupeng Wang
- 20 Design and practice of unified service platform for full-text retrieval  
/ Jianqin Yang
- 23 Thoughts on the Transformation and Upgrading of Forestry Economy under the Background of Informatization  
/ Aodeng Rong
- 26 Intelligent fire protection: Research on innovative application of AI technology in the field of fire protection  
/ Chuangnan Wu
- 29 Research on the sorting problem of cargo location operations based on improved bottle sea sheath group algorithm  
/ Zijian Tan
- 32 The Application of Big Data and Precise Marketing Strategies in Rail Transit Passenger Transport Marketing  
/ Lisi Dong Yingchun Wang
- 35 Design of edge detection for digital images based on MATLAB  
/ Guanlin Xiao Ning Qu
- 38 Research on the Integration of Intelligent Warehouse Management System with Hydropower Production Management System  
/ Shen Dai
- 41 Research on the integration and application of 5G wireless communication and optical communication technology  
/ Yan Lin
- 44 Maintenance methods and implementation paths of computer operation and maintenance software for smart power plants with high reliability  
/ Sicong Liu
- 47 Discussion on high performance mobile application based on 5G-A dedicated network technology  
/ Xiangrong Chen Biao Xing
- 50 Application of Computer Vision Technology in Intelligent Agricultural Machinery  
/ Juan Chen Zhipeng Cao
- 53 Discussion on the application of wireless transmission technology in 5G communication  
/ Zhihua Wang
- 56 Research on optimization of wireless network coverage accuracy based on MR location distribution  
/ Chao Tian Yisheng Lv Lei Jiang Yuande Zhu
- 60 Technical principle, system design and application analysis of scale, Internet of Things and sensors  
/ Ping Yao
- 64 Research on the construction method of software task test scenario model for information equipment  
/ Meichen Wang Zhaowei Xu Ran Yan Kai Zhang
- 68 Research on precision monitoring and control technology of intelligent disinfection machine driven by STM32  
/ Ruixing Zhao Zhenkai Xu Jianing Li Zhiyuan Xu
- 71 Design of Intelligent Parking System Based on STM32 and OpenMV  
/ Qian Luo Tongyu Yan Honghao Ling Yanhui Chen Zhiwei Chen
- 74 Research on teaching design of children's programming courses  
/ Yupeng Wu jiani Wang Yuxin Liu Xinyu Liu Xueping Chai
- 77 Research on the Application and Optimization of Intelligent Maintenance and Overhaul Technology for Railway Signal Equipment  
/ Biao Gao Liyun Geng
- 80 Applications of computer science technology in network information transmission and data storage  
/ Pengfei Jin
- 83 Improve 5G network efficiency based on dynamic power sharing technology  
/ Hailiang Zhu Xiaofeng Cai Qingyong Cui Kai Ji YanQiu Xu
- 86 Research on Running Speed Sensing Method for Treadmill Based on LiDAR

- / Zhuo Liu Jiwang Zhang
- 89 Body rotation detection control method for VR headset controller perception
- / Jiwang Zhang
- 92 Opportunities and planning for the construction of urban rail transit master data management platform
- / Jiajia Zhao
- 95 Research on anomaly behavior recognition and security control technology of industrial sensitive data driven by artificial intelligence
- / Huiming Wu Huasong Jin

# Design and Optimization of Anti high Overload Capacitive Acceleration Sensor

Jianjun Ren Yanyu Yang

Xi'an Institute of Mechanical and Electrical Information Technology, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

## Abstract

In response to the problem of damage to the upper and lower boards due to electrostatic adsorption in high overload environments, complex processing technology, inability to overcome alignment errors, and low sensitivity of capacitive accelerometers commonly used in all electronic fuses, a structure of anti overload capacitive accelerometer with a range of  $\pm 100\text{g}$  is proposed. This structure adopts a "sandwich" structure of glass silicon glass, and adds a "protective platform" structure on the mass block to avoid the problems of cantilever beam damage and upper and lower plate adhesion caused by excessive displacement of the mass block in high overload environments, resulting in sensor failure. MEMS processing technology is also designed to overcome alignment errors. The verification test shows that the sensor range is  $\pm 100\text{g}$ , the output sensitivity is  $13.5 \mu\text{v/g}$ , the operating frequency is  $6.2\text{KHz}$ , and it works normally under high overload of  $10000\text{g}$ . Therefore, the anti high overload capacitive accelerometer meets the requirements for the use of fully electronic fuses.

## Keywords

fuse; Electronic security system; Capacitive accelerometer; Anti high overload

# 抗高过载电容式加速度传感器设计与优化

任建军 杨雁宇

西安机电信息技术研究所, 中国·陕西 西安 710065

## 摘要

针对全电子引信常用的电容式加速度传感器在高过载环境下, 上下级板由于静电吸附而损坏, 加工工艺复杂, 无法克服对准误差, 造成传感器灵敏度低的问题, 提出了一种量程为  $\pm 100\text{g}$  抗过载电容式加速度传感器结构。该结构采用玻璃-硅-玻璃的“三明治”结构, 并在质量块上加“防护台”结构, 避免了在高过载环境质量块位移过大而引起悬臂梁损坏以及上下极板黏附, 造成传感器失效的问题, 并设计了MEMS加工工艺, 克服了对准误差。验证试验表明: 传感器量程为  $\pm 100\text{g}$ , 输出灵敏度为  $13.5 \mu\text{v/g}$ , 工作频率为  $6.2\text{KHz}$ , 并在  $10000\text{g}$  的高过载下正常工作。因此该抗高过载电容式加速度传感器满足全电子引信的使用要求。

## 关键词

引信; 电子安全系统; 电容式加速度传感器; 抗高过载

## 1 引言

电子安全系统是引信安全系统继机械式、机电式之后的第三代安全系统。相比而言, 电子安全系统具有安全性、高可靠性, 可测试性等特点, 实现了引信的智能化, 性能最优化的要求<sup>[1]</sup>。随着电子安全系统的逐渐普及, 其工作环境越来越复杂, 而加速度传感器作为电子安全系统重要组成部分, 其可靠性关乎引信的解保以及能否正常起爆等功能<sup>[2]</sup>。

对全电子引信常用的电容式加速度传感器在  $10,000\text{g}$  高过载环境下损坏以及加工工艺复杂, 无法克服对准误差, 造成传感器灵敏度低的问题, 提出了一种量程为  $\pm 100\text{g}$  抗过

载电容式加速度传感器结构。

## 2 电容式加速度传感器工作原理

电容式加速度传感器实际上是利用惯性质量块在加速作用下被检测极板间间隙发生变化而引起等效电容的变化来测定加速度。电容式加速度传感器的结构示意图如图 1 所示, 1 和 4 为固定极板, 2 为质量块。在静止状态时, 中间极板与固定极板间的电容都为  $C_0$ , 当感受到外界加速度时, 中间极板发生位移, 两个等效电容发生变化, 一个增大  $\Delta C$ , 一个减小  $\Delta C$ , 电容变化量为:

$$\Delta C \approx C - C_2 = (C_0 + \Delta C) - (C_0 - \Delta C) = 2\Delta C$$

通过传感器得灵敏度可得外接加速度:

$$a = \frac{\Delta C}{s}$$

【作者简介】任建军 (1991-), 男, 中国山西运城人, 硕士, 工程师, 从事传感器设计研究。

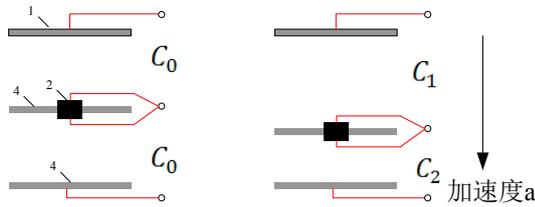


图 1 电容式加速度传感器结构示意图

### 3 抗高过载电容式加速度传感器

#### 3.1 抗高过载电容式加速度传感器结构设计

本文提出的抗高过载电容式加速度传感器结构采用玻璃-硅-玻璃的“三明治”结构。其中，硅结构采用四端悬臂梁结构，质量块上下表面的电极板为运动的电极板，上下玻璃基板为固定的电极板，如图 2 所示，“防护台”在质量块的四角，主要是在高过载环境下限制质量块位移过大造成

悬臂梁断裂，以及上下极板黏附<sup>[3]</sup>。

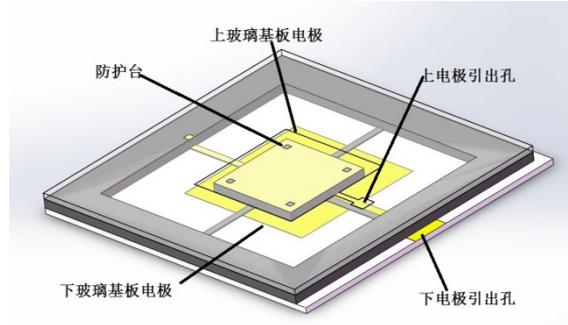
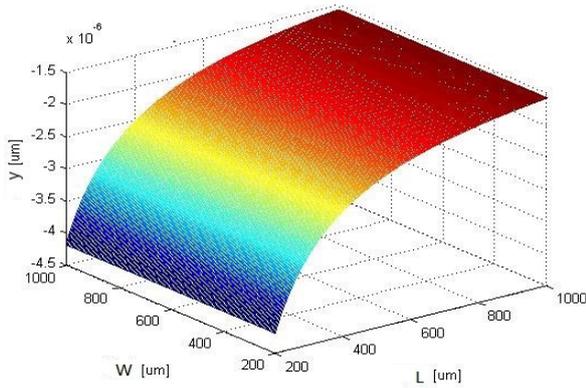
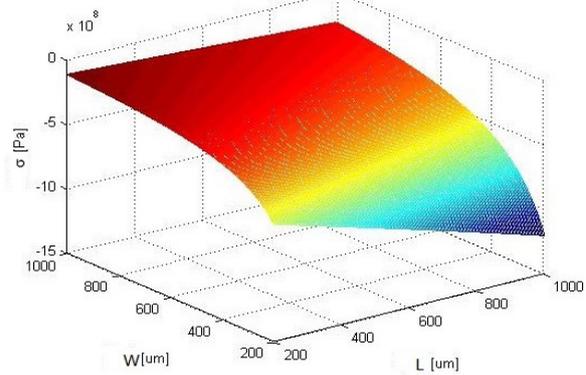


图 2 电容式加速度传感器结构图

根据四端固支的梁岛型结构的力学特性结合结构的挠度微分方程，利用 Matlab 软件求解，得到悬臂梁尺寸与挠度、应力的关系如图 3 所示。



a 挠度与梁长、梁宽的关系



b 应力与梁长、梁宽的关系

图 3 挠度、应力与梁长、梁宽关系

通过图 3 梁长、梁宽与结构最大应力和挠度的关系，从而可以看出结构参数对结构应力和挠度是相互制约的<sup>[6]</sup>。从结构最大应力、挠度和梁长、梁宽的关系曲面中可以看出，在相同载荷作用下，随着梁长度的增加，梁上最大应力增加，挠度减少；随着梁宽增加，梁上最大应力减小，挠度增加。综合各个因素，得到传感器具体尺寸如表 1 所示。

表 1 芯片敏感结构尺寸

	质量块	梁	边框	防护台
长 (μm)	3200	1200	7000	100
宽 (μm)	3200	120	700	100
厚 (μm)	300	60	305	1~2

#### 3.2 抗高过载电容式加速度传感器结构应力分析

根据传感器敏感元件尺寸进行有限元分析，即在对加速度计的敏感方向 Z 方向施加 10000g 的加速度冲击信号后，

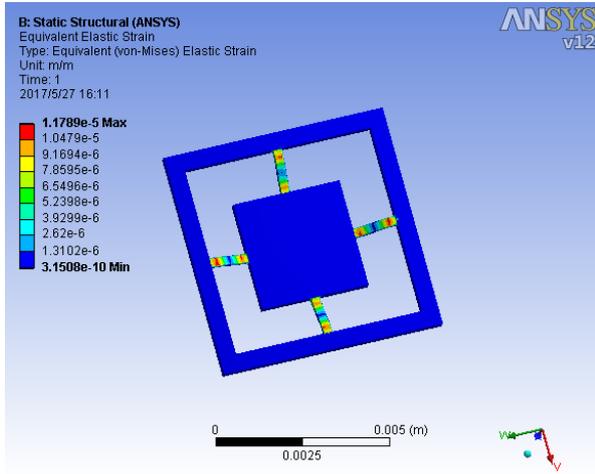
传感器敏感结构的等效应力、位移分布图如图 4 所示。

图 4 (a) 为：传感器在 10000g 冲击信号的作用下，端部应力为 11.34MPa，远小于双硅片的最大许用应力 (80 ~ 120MPa)；图 4 (b) 为，在 10000g 冲击信号的作用下，传感器质量块的最大位移达到 6.5 μm，防护台未与玻璃基板贴合；电容变化量为 14.09pF，灵敏度为 0.2818pF/g；质量块防护台限制了其位移，防止中间极板与上下极板贴合造成传感器损坏<sup>[4]</sup>。

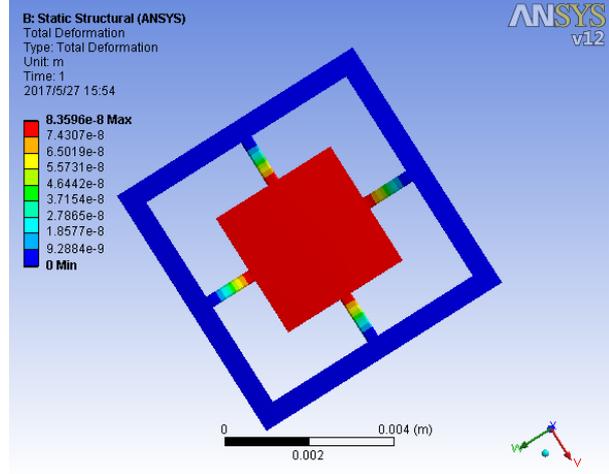
分别对传感器施加 20g、50g、80g、100g (传感器的设计量程值) 冲击信号，最大应力、等效位移、电容变化均成线性变化关系，如表 2 所示。所以，因此传感器的灵敏度也成线性变化关系。

#### 3.3 抗高过载电容式加速度传感器模态分析

由 ANSYS 有限元分析软件对优化过后的传感器结构进行模态分析，如表 3 所示。



a 敏感结构在 10000g 过载下的等效应力分布图



b 敏感结构在 10000g 过载下等效位移分布图

图 4 传感器静力学仿真

表 2 不同冲击条件下最大应力、等效位移、电容变化表

	20g	40g	60g	80g	100g
最大应力 (mpa)	2.28	4.56	6.85	9.12	11.34
等效位移 (μm)	1.28	2.57	3.85	5.14	6.43
电容变化 (pF)	5.63	11.27	16.90	22.54	28.18

表 3 各阶振动频率 (kHz)

模态	1	2	3	4	5	6
频率	6.2	10.6	10.6	21.6	83.1	83.1

由仿真结果得出，传感器的二阶振动频率远大于一阶振动频率，可以有效地避免各频率阶段间相邻过密导致的加速度传感器耦合振动的问题，有效的提高了传感器的稳定性和抗干扰性。

#### 4 试验验证测试

加工出的传感器芯片结构如图6所示，尺寸如硬币大小。

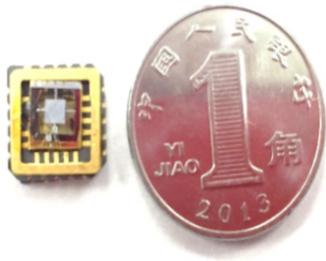


图 9 传感器封装结构图

##### 4.1 静态电容测试

采用 HP-4284A 阻抗分析仪对传感器进行初始电容测试，因此采用重力场静态翻滚实验来测试传感器的静态电容，测试结果如图 7，由图可得，该传感器的静态电容为 14.09pF。

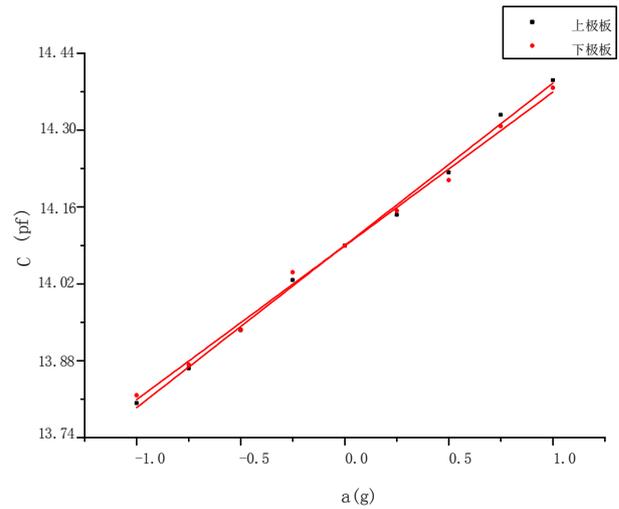


图 7 初始电容测试结果

##### 4.2 动态测试

使用离心机对传感器进行动态测试，测试加速度为 10g、20g、30g、40g、50g，测试结果如表 4 所示，所使用的电路放大倍数为 185 倍，最后求得该加速度计的灵敏度为 13.5 μv/g。

表 4 离心机测试结果

加速度/g	10	20	30	40	50
输出电压/v	2.431	2.456	2.481	2.506	2.531

##### 4.3 验证试验

常规火炮在出膛瞬间膛内过载以及打水泥靶时着靶时刻过载往往达到 10,000g~20,000g，电容式加速度传感器在这种恶劣环境下还要实时输出有效信号，因此对高过载能力要求极高。因此使用 Hopkinson 杆对加速度传感器在高冲击载荷作用下进行了测试，在高过载下传感器输出曲线如图 8 所示。

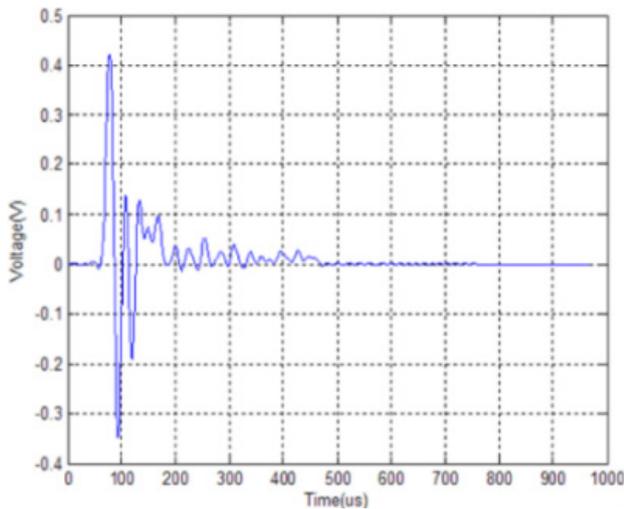


图8 传感器输出曲线

从图8实测的试验曲线得出,冲击过载数据超过了10000g,试验后对传感器进行测试,加速度传感器正常输出。结果表明:传感器能够抗10000g的冲击过载,能够可靠工作,使得引信能够在复杂的弹上环境正常解保。

## 5 加速度传感器的可靠性优化

### 5.1 敏感结构可靠性优化

仿真分析和实验验证表明,传感器失效的重要原因之一为传感器悬臂梁的固支端(根部)容易产生裂纹甚至断裂,从而造成传感器失效。造成这一问题的主要原因是悬臂梁结构在冲击载荷作用下产生了应力集中现象。

为解决这一问题,本文对加速度传感器的结构进行了优化,如图9所示。在梁的固支端的直角处增加了“倒角”结构。通过ANSYS分别对有“倒角”结构和无“倒角”结构进行路径分析,其中圆圈标注尖峰为传感器敏感结构悬臂梁根部最大应力,结构优化前,梁根部应力集中,最大为40Mpa,优化后根部应力最大为3040Mpa。在相同冲击作用下,倒角结构有效避免了在梁的端部和根部处的应力集中问题,使得悬臂梁在冲击载荷作用下出现的应力集中问题得到改善,从而增加了传感器的可靠性<sup>[5]</sup>。

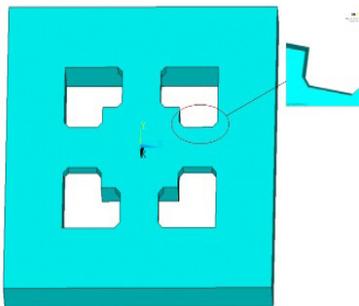


图9 “倒角”结构示意图

### 5.2 封装结构可靠性优化

高g值加速度传感器在高过载情况下主要的失效模式中还有引线键合失效,主要是由于连接线在高冲击下产生相对错动,进而导致引线断裂。针对这一问题,对传感器的封装结构进行了优化设计。主要分为两点:高g值加速度传感器芯片与转接板采用无引线互连;对传感器整体结构进行三层键合,并用灌封胶对传感器整体进行包装,使其固化成块。

无引线互连技术,就是采用银粉导电胶制作导电带实现敏感芯片与转接板的无引线互连,采用厚膜技术中的丝网印刷工艺进行导电胶的涂抹,使得导电带能够区分敏感结构上的电极点,从而完成敏感芯片与转接板的连接。

采用无引线互联技术,在高过载环境下就克服了引线键合断裂的问题,其次对传感器的结构封装采用(玻璃-硅-玻璃)三层键合,并使用灌封胶使其固化成整体,避免了连接线在高过载情况产生相对错动而断裂,进而提高了器件可靠性。

## 6 结论

本文提出了一种量程为 $\pm 100g$ 的抗高过载电容加速度传感器,该结构采用玻璃-硅-玻璃的“三明治”结构,并在质量块上加“防护台”结构,避免了在高过载环境质量块位移过大而引起悬臂梁损坏以及上下极板黏附,造成传感器失效的问题,并在结构上增加对准标记,在上下极板与硅极板阳极键合过程中增加对准工艺,克服了对准误差,进而提高了传感器的灵敏度。验证试验表明:传感器量程为 $\pm 100g$ ,输出灵敏度为 $13.5 \mu v/g$ ,工作频率为 $6.2kHz$ ,并在10000g的高过载下正常工作。并对传感器结构进行优化,采用无引线互联技术,在高过载环境下就克服了引线键合断裂的问题,其次对传感器的结构封装采用(玻璃-硅-玻璃)三层键合,并使用灌封胶使其固化成整体,避免了连接线在高过载情况产生相对错动而断裂,进而提高了器件可靠性。因此该抗高过载电容式加速度传感器满足引信在火炮出膛时刻以及着靶时刻采集有效信号的使用要求。

### 参考文献

- [1] 席占稳. 传感器在引信中的应用研究[D]. 南京理工大学, 2003.
- [2] 屈新芬, 苏伟. 侵彻武器用MEMS大g值加速度计. 电子技术参考, 2002, (2): 27-31.
- [3] 王辅楠, 娄文忠. 微机电技术在引信中的应用综述[J]. 探测与控制学报, 38(3): 22-28, 2016.
- [4] 陈艳香, 石云波, 智丹, 杨志才, 冯恒振. SiC高温高量程加速度传感器的仿真与分析[J]. 传感技术学报, 2015, 10: 1471-1475.
- [5] 冯建斌. 电容式加速度传感器的优化设计[D]. 大连理工大学, 2014.

# Discussion on Cybersecurity Strategies for Data Security Governance in the Era of Big Data

Junyong Jiang

Shanghai Digital Security Technology Co., Ltd., Shanghai, 200000, China

## Abstract

Driven by the rapid development of the information age, China has also entered the era of big data. The development speed of the Internet of Things, industrial Internet and other technologies has been significantly enhanced. At the same time, the application of big data technology in people's production and life has become increasingly widespread and in-depth, which has also given rise to big data information processing tools such as Hadoop, Hive, Spark and flink. As well as the circulation of data elements and the application of data through large model training, the application value of data information has been enhanced. The geometric explosive growth of data information has brought about more serious data security problems, and phenomena such as data theft and misappropriation have become increasingly common. Therefore, in the context of the big data era, while emphasizing the exploration of data potential, it is also necessary to continuously enhance data security awareness, adopt effective network security strategies to strengthen data security governance, safeguard people's privacy security and prevent the leakage of enterprise business information, and improve the level of data security governance and network security in the big data era. Based on this, the article provides a relevant overview of big data, analyzes the common network security problems in data security governance in the era of big data, and then effectively discusses the relevant response strategies for reference.

## Keywords

The era of Big Data Data security governance Cyber security Strategy

## 大数据时代数据安全治理的网络安全策略探讨

江均勇

上海数字安全科技有限公司, 中国·上海 200000

## 摘要

在信息化时代快速发展的推动下,我国也进入了大数据时代,物联网、工业互联网等的发展速度也得到了大幅提升,同时大数据技术在人们的生产、生活中的应用也越发广泛、深入,也催生了Hadoop、Hive、Spark、flink等大数据信息处理工具,以及数据要素流通、大模型训练对数据的应用,提高了数据信息的应用价值。数据信息的几何式暴增带来了更为严峻的数据安全问题,数据遭到窃取、盗用等现象越发常见。因此,大数据时代背景下,在重视对数据潜力的挖掘的同时,也必须不断强化数据安全意识,采用有效的网络安全策略强化数据安全治理,保障人们的隐私安全与避免企业商业信息的泄漏,提高大数据时代数据安全治理与网络安全水平。基于此,文章对大数据进行了相关概述,分析了大数据时代数据安全治理中常见的网络安全问题,进而对相关应对策略进行了有效探讨,以供参考。

## 关键词

大数据时代; 数据安全治理; 网络安全; 策略

## 1 引言

在计算机技术,尤其是互联网技术、大数据技术、云计算等现代信息技术的快速发展推动下,各个领域的信息化发展水平也得到了大幅提升,互联网网络成为人们生产生活不可或缺的重要元素,随着信息化与数字化的深入发展与广泛普及,各个行业、领域的数据呈现出暴涨发展趋势,

其中涉及许多隐私、敏感数据信息,成为“有心之人”争相获取的对象,也成了许多企业、个人的隐患所在。因此,大数据时代背景下的数据安全已然成为社会各界广泛关注与高度重视的话题。人们的生产、生活对于计算机网络的依赖性不断增强,许多数据的整合、分析、利用都需要借助计算机网络技术来完成。信息化建设也成了现代企业提高核心竞争力,创造新的利润增长点,推动企业实现持续发展的重要战略。面对复杂的发展形势,大数据技术等现代信息技术的价值创造,必须以高水平的数据安全、网络安全为前提。因此,加强对大数据时代数据安全治理的网络安全策略探讨有着十分重要的现实意义。

【作者简介】江均勇(1981-),男,中国重庆人,硕士,技术总监,从事云计算、大数据、网络安全、数据安全、人工智能及人工智能安全研究。

## 2 大数据的相关概述

就广义而言,大数据指的是对大量互联网数据的处理的统称。而在信息科技领域,大数据则是指从某一数据源中快速便捷地、不间断地、大量地获取不重复的数据信息,这一技术的应用成为推动互联网进入新一轮革命的重要推手,分布式计算框架也成了互联网行业对于大数据处理技术应用的主流框架。在信息化发展的当下,大数据的发展趋势较为明显。数据科技也成了互联网发展的重要方向,同时也凸显出了大数据在互联网发展中的重要性。企业基于大数据进行可用信息的精确筛选,以此准确甄别其潜在客户,掌握客户需求变化等。此外,电子政务、电子商务、智慧交通、科教领域等,大数据都有着十分重要的应用。尤其是基于互联网对信息数据发展起来的电子商务,在大数据的助推下,实现了划时代意义的转型。大数据技术在电子商务中的应用,实现了对用户需求的精准分析,以及能够在大量数据中挖掘出准确的竞争情报的功能,使得电子商务企业占据明显的市场优势。但同时这些企业也面临着信息泄露、盗用、窃取等数据安全治理问题。可以说,大数据背景下各个行业领域的发展迎来了新的机遇与契机,但同时也带来了严峻的数据安全治理和网络安全问题,稍有不慎,企业也会陷入万劫不复的绝境。

## 3 大数据时代数据安全治理网络安全面临的主要问题

### 3.1 缺乏安全意识的人为因素引起的安全问题

在大数据时代背景下,只要人们接触互联网,就可能出现个人或者集体信息暴露的情况。由此可见,大数据背景下的网络安全治理最不容忽视的便是人为因素。比如,某些网络平台的注册登录,或者是通讯工具上的聊天,都可能会出现个人身份证、家庭住址、手机号等重要信息在网络中暴露、流传,进而使得人们的信息、财产安全等受到不确定威胁的情况。即便是现行的网络系统“承诺”会保护个人信息,但是这也并非“百分百”的安全,尤其是个人信息保护意识普遍欠缺的当下,许多诸如弱口令等的行为,为不法分子盗取信息提供了可乘之机,许多个人信息安全受到威胁。还有就是许多人在进行网购、网聊等过程中往往会输出大量信息,这些信息在大数据背景下可以说是“透明的”,这些信息存在过的痕迹也会导致一些秘密信息遭到泄露。此外,网络黑客等通过将病毒、恶意信息植入网络连接上,诱使用户点击,进而导致信息泄露等安全问题。

### 3.2 网络病毒入侵导致的安全问题

互联网环境的安全、稳定,会受到网络病毒的较大影响。许多网络病毒在网络终端中的植入以及在网络环境中的传播,会形成对网络信息交互的监听、截获等作用,使得人们的信息安全受到威胁。网络病毒是人为的、出于某种目的而进行编写的能够对计算机系统、软件程序等进行破坏、干扰

等的程序,通过将病毒程序复制到网络终端上,形成病毒侵入,进而获取终端上的各种信息,严重威胁用户的信息安全。网络病毒具备传染性,能够借助网络通道感染成千上万的计算机终端,统一暴发将会导致整个网络系统的运行瘫痪,造成难以估计的损失。比如,著名的“熊猫烧香”病毒,不仅对感染的电脑上的文件进行加密,还会以网络共享、U盘等多重途径迅速传播,扩大病毒感染的范围,给众多个人用户和企业造成难以估量的损失。又比如在伊朗爆发的“超级工厂”病毒,更是对其核电站的正常运行造成了严重影响,危害甚大。

### 3.3 黑客攻击导致的安全问题

在大数据时代背景下,数据安全治理还需集中加强对黑客攻击的打击治理。许多黑客掌握着较为先进的网络攻击手段,通过攻击大量计算机来窃取数据信息,甚至能够在互联网上准确找到安全漏洞进行攻击,获取或者篡改用户信息,这也是大数据环境在数据安全治理面临的最为严峻的网络安全问题。黑客攻击网络的技术手段各种各样,防不胜防,即便是再高级的防火墙,稍有不慎,也会被攻破,进而导致信息泄露,企业、用户等数据信息遭到拦截、贩卖,引发难以估计的后果。

## 4 大数据时代数据安全治理的网络安全策略

### 4.1 加强对账号的安全管理与保护

大数据时代背景下,各种社交媒体、软件百花齐放,争相发展。大数据特点也赋予了这些平台庞大的信息集群特征。用户对于平台使用的管理不当,导致出现数据传输漏洞,个人信息遭到泄露、篡改等。对此,需要进一步加强对账户与数据安全管理的意识与保护力度,尤其是企业的数据库管理必须设计专门的数据保护方案,确保企业数据安全。首先,不同的社交媒体平台账号需要做好分类管理,结合平台使用、运行的特征实施差异化、个性化的数据保护策略。比如,对于银行、网银等账户需要采用更为复杂的安全保护措施,通过设置强口令、多重验证等方式来提高安全保护级别,最大限度地降低财产损失风险。其次,在提高社交媒体平台中个人信息安全水平方面,需要在进行密码编程时做好对密码保护模块的强化设计,杜绝在身份验证环节出现安全漏洞,实施高难度的密码安全加密,提高不法手段的密码破解难度水平。

### 4.2 强化认证和授权机制

大数据时代背景下,人们的生产生活产生的网络信息交互更为频繁、信息体量也在不断增大,做好网络信息安全保护迫在眉睫,其中加强信息传递的认证与授权管理至关重要。首先,在信息认证方面,需要强化对信息完整性的验证机制。通过严格、完善的信息认证机制,确保和明确信息由认证目标发出,以及信息的发送与相关要求相符,包括信息发送时间、顺序等,都做到数据验证上的充分明确。其次,

在身份认证方面,需要强化账号、系统登录的密钥验证、人脸识别认证等体系,采用多元化的身份认证方式,确保登录的唯一性、安全性。此外,在完善认证协议方面,针对消息认证、身份认证等建立完善的协议机制,提高消息认证的可靠性,准确识别和避免病毒欺骗、节点误导等问题。认证内容越是明确,协议要求也应越为清晰,以此确保信息的安全性、隐私性得到有效保护。

#### 4.3 加强对设备接入的严格控制

数据安全、网络安全问题大多是由网络攻击引起,而大部分的网络攻击都需要借助设备接入口完成入侵。比如,许多计算机病毒都是由于外接U盘或者其他硬件遭到病毒入侵,这些病毒隐藏在外接设备中,一旦有与计算机连接的机会就会使得计算机感染病毒。受限于安全意识与资金投入等的影响,我国许多企业的大部分外接设备在连接安全性较低,进而引发了各种网络安全问题。因此,需要重视加强对外接设备接入模式的改善,提高接入安全性能。比如,在接入前进行全盘病毒查杀,或者是采用“安全U盘”模式,降低病毒的感染能力。除此之外,通过无线网络连接的方式也存在信息遭到盗取、篡改等风险,因此针对无线网络的应用构建防火墙也是十分必要,借助其他安全软件来对接入网络的设备进行安全扫描,准确识别和阻挡各种接入病毒的攻击。

#### 4.4 强化网络安全意识

大数据时代背景下,互联网的使用已然成为人们生产、生活不可或缺的组成部分,因此加强对网络安全,数据安全保护的宣传力度,提高人们的网络安全意识至关重要,这也是从意识源头避免高危信息泄露问题发生的重要措施。大数据下网络技术的应用提高了人们生活、工作的便利性,而大部分人缺乏对计算机、网络运行原理的了解,在日常使用过程中诸多“无意识”行为,为不法分子提供可乘之机,用户信息遭到窃取、泄露。因此,网络安全问题需要从强化用户安全意识的根源上进行解决。比如,企业需要加强内部教育培训,针对各种典型案例与自身实际运行相结合,为员工剖析各种网络安全隐患,强化全员的网络安全意识,针对企业

机密信息做好特殊保护,在接入网络的状态下杜绝点击不明连接等不安全行为,必要时做好物理上的安全隔离,以此阻止信息数据的泄露与盗用。

#### 4.5 加强对杀毒软件与防火墙的构建

大数据时代背景下,各种病毒隐藏在数据传播当中,需要借助杀毒软件对不安全的网络信息进行有效过滤,实现对网络安全的有效保护。因此,对于数据安全治理,需要重视加强对计算机杀毒系统、杀毒软件的合理选择,并与防火墙技术相结合,提高对病毒的识别、防控能力。防火墙的构建能够起到对网络安全问题的有效缓冲,在数据传输过程中实现对访问策略以外的路由信息进行拦截的作用。大数据时代背景下的防火墙技术也得到了较好提升,融合了服务控制、用户控制、方向控制、行为控制等功能,在有效阻挡黑客攻击的同时实现对数据信息的安全保护,保障网络安全。

### 5 结语

综述可知,大数据时代背景下互联网的高度发展为各个行业、领域提供了新的发展机遇,企业的核心竞争力也因此得到显著提升。而先进的信息技术发展带来各种便利的同时,也加剧了网络安全风险。这就要求相关企业、用户加强对大数据时代下数据安全治理的特殊性的深入认识,准确把握大数据运行下的各种网络安全问题,进而采取有效措施提高网络安全运行效益,提高大数据时代下数据安全治理水平。

#### 参考文献

- [1] 庄益雯.大数据时代数据安全治理的网络安全策略分析[J].科学与信息化, 2021(12):72-72.
- [2] 陈鹏东.大数据时代数据安全治理的网络安全研究[J].数字通信世界, 2021, 000(002):167-169.
- [3] 马骁.大数据时代数据安全治理的网络安全策略[J].科学大众, 2021, 000(009):P.63-64.
- [4] 张晶,李洪洋,张智钧,等.大数据时代数据安全治理的网络安全策略[J].网络安全技术与应用, 2021.
- [5] 王路遥.大数据时代的网络信息安全及防范措施[J].电子技术与软件工程, 2019(5):1.

# Research on AI based Communication Integrated Maintenance Fault Prediction and Intelligent Scheduling System

Quan Dang

Yuandao Communication Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

## Abstract

With the rapid development of communication technology and the continuous expansion of network scale, the maintenance and management of communication systems have become increasingly complex. The traditional communication maintenance mode usually relies on manual inspection and empirical judgment, which cannot predict and handle faults in a timely and accurate manner, thus affecting the stability and service quality of communication networks. The fault prediction and intelligent scheduling system based on artificial intelligence (AI) technology can monitor the network operation status in real time, analyze potential risks, and dynamically schedule according to actual needs to improve the operation and maintenance efficiency of communication networks. This article first analyzes the current status and challenges faced by communication maintenance systems, and then explores the application of AI in communication maintenance. By constructing an AI based fault prediction and intelligent scheduling system model, this paper studies data-driven fault prediction methods and scheduling strategies, and verifies the effectiveness and feasibility of the system through experiments. The research results indicate that AI technology can significantly improve the predictability and response speed of communication maintenance work, help reduce operation and maintenance costs, and improve the reliability and service quality of communication networks.

## Keywords

AI technology; communication maintenance; fault prediction; intelligent scheduling; data analysis

## 基于 AI 的通信综合代维故障预测与智能调度系统研究

党权

元道通信股份有限公司, 中国·河北 石家庄 050000

## 摘要

随着通信技术的快速发展和网络规模的不断扩大, 通信系统的维护和管理变得愈加复杂。传统的通信代维模式通常依赖人工巡检和经验判断, 无法及时准确地预测和处理故障, 从而影响通信网络的稳定性和服务质量。基于人工智能 (AI) 技术的故障预测与智能调度系统能够实时监测网络运行状态、分析潜在风险, 并根据实际需求进行动态调度, 以提高通信网络的运维效率。本文首先对当前通信代维系统的现状和面临的挑战进行了分析, 进而探讨了 AI 在通信代维中的应用。通过构建基于 AI 的故障预测与智能调度系统模型, 本文研究了数据驱动的故障预测方法与调度策略, 并通过实验验证了系统的有效性和可行性。研究表明, AI 技术能够显著提高通信代维工作的预见性和响应速度, 有助于降低运维成本, 提高通信网络的可靠性和服务质量。

## 关键词

AI 技术; 通信代维; 故障预测; 智能调度; 数据分析

## 1 引言

随着信息技术和通信产业的飞速发展, 通信网络的规模和复杂性日益增加, 网络故障的发生频率也不断上升。传统的通信代维方式主要依靠人工巡检和经验判断, 这种模式存在实时性差、反应迟缓、成本高等问题, 难以应对现代通信网络日益复杂的运维需求。特别是在 5G、物联网和大数据等新兴技术的推动下, 通信网络的故障种类和发生方式变

得更加多样化和不可预测, 人工维护的局限性愈发明显。

为了提高通信网络的维护效率, 减少故障的发生和影响, 许多研究开始关注如何利用先进的人工智能 (AI) 技术来提升通信代维的智能化水平。AI 技术, 尤其是机器学习和深度学习算法, 能够通过对历史数据的分析, 预测潜在的故障, 并提前采取预防措施, 从而有效地降低系统故障率和运维成本。

本文的研究目标是基于 AI 技术, 构建一种通信综合代维故障预测与智能调度系统, 利用 AI 的自学习和预测能力, 提前发现潜在故障并进行智能调度, 确保通信网络的高效运行和服务质量。本文主要从系统架构设计、数据分析方法、

【作者简介】党权 (1988-), 男, 中国河南新安人, 硕士, 工程师, 从事通信工程研究。

故障预测模型、智能调度算法等方面进行探讨，并通过实验验证其效果。

## 2 通信代维现状与挑战

### 2.1 传统通信代维模式的局限性

传统的通信代维模式主要依赖人工巡检和设备维护人员的经验判断，通常采用定期检查和预警机制来防范故障。

然而，这种方式存在以下几方面的不足：

**实时性差：**传统代维方式往往依赖定期检查和人工巡检，无法实时监测网络运行状态，容易错失一些瞬时发生的故障。

**高成本：**人工巡检和设备维护需要大量的人工投入，这不仅增加了运维成本，还导致资源的浪费。

**响应迟缓：**遇到网络故障时，人工排查往往需要较长时间，无法迅速响应并采取修复措施，从而影响网络的正常运行。

### 2.2 AI 技术在通信代维中的应用前景

随着 AI 技术的发展，尤其是机器学习、深度学习和数据挖掘技术的成熟，AI 在通信代维中的应用前景越来越广泛。通过对网络运行数据进行实时监测和分析，AI 可以识别出潜在的故障，并在发生故障前做出预测和预警，从而提高网络运维的效率。AI 技术的应用可以显著改善传统代维模式中存在的不足，主要体现在以下几个方面：

**实时监控与预测：**AI 可以实时分析网络运行状态，通过历史数据和实时数据的结合，预测潜在的故障，提前采取措施避免故障发生。

**智能调度与优化：**AI 可以根据故障预测结果，智能调度维修人员和资源，优化维修路径和策略，从而提高故障修复的效率和准确性。

**自学习与优化：**AI 系统可以通过不断学习和优化，提高故障预测和调度决策的准确性，随着时间的推移，系统会越来越智能化。

### 2.3 通信代维故障预测与智能调度的研究挑战

尽管 AI 在通信代维中的应用具有广阔前景，但在实际应用过程中仍然面临一些挑战。首先，通信网络运行数据的种类繁多，且具有复杂性和高维性，需要有效的数据预处理和特征提取技术；其次，通信故障的发生具有高度的不确定性，需要开发高效的故障预测算法；最后，如何进行智能调度，以最大限度地提高运维效率并降低成本，也是一个需要解决的关键问题。

## 3 基于 AI 的通信代维故障预测模型

### 3.1 数据采集与预处理

基于 AI 的故障预测模型的构建首先需要采集大量的网络运行数据。这些数据包括设备的状态数据、运行日志、环境数据等。通过对数据的预处理，包括数据清洗、缺失值填补、异常值处理等，可以确保输入数据的质量，从而提高预

测模型的准确性。

在数据预处理过程中，特征提取是一个重要的环节。通过从原始数据中提取出具有代表性的特征，可以帮助 AI 模型更好地理解数据背后的规律。例如，可以提取出设备的运行负载、温度、湿度等特征，作为故障预测的重要指标。

### 3.2 故障预测模型的构建

基于 AI 的故障预测模型主要采用机器学习算法来构建。常见的机器学习算法包括决策树、随机森林、支持向量机 (SVM)、神经网络等。通过训练模型，AI 系统能够识别网络运行状态中的异常模式，预测潜在的故障。

在故障预测模型的训练过程中，采用历史故障数据和正常运行数据进行监督学习。通过优化算法，不断调整模型参数，提升预测的准确性。实验结果表明，基于机器学习的故障预测模型能够有效地识别出故障发生的早期信号，提高了故障预测的提前量和准确率。

### 3.3 故障预测的验证与评估

为了验证故障预测模型的效果，采用真实的通信网络数据进行测试。评估指标包括准确率、召回率、F1 分数等。通过与传统的人工巡检方法进行对比，发现基于 AI 的故障预测方法能够大大提高故障预测的准确性，提前预测故障的时间也相对较长。

## 4 智能调度系统的设计与实现

### 4.1 调度策略的设计

在基于 AI 的通信代维系统中，智能调度是另一个关键环节。调度系统需要根据故障预测的结果，合理调配维修资源，确保故障能够尽快修复。调度策略应考虑以下几个方面：

**维修人员调度：**根据故障的严重性、影响范围以及维修人员的专业技能，合理安排维修人员的工作任务，避免资源浪费。

**设备优先级：**对于不同类型的设备，应根据其在网络中的重要性进行优先级排序，优先修复对网络运行影响较大的设备故障。

**实时调度与动态优化：**在实际调度过程中，应根据实时数据和反馈信息，动态调整调度策略，确保资源的最大化利用。

### 4.2 调度算法的实现

在智能调度系统中，采用优化算法来实现调度决策。常见的优化算法包括遗传算法、粒子群优化 (PSO)、蚁群算法等。这些算法可以根据给定的调度目标，如最小化维修时间、最大化资源利用等，进行自适应调整。

通过对调度算法的训练和优化，AI 调度系统能够自动做出最优决策，减少人工干预，提高调度效率和准确性。

### 4.3 调度系统的验证与评估

为了验证智能调度系统的效果，采用了仿真实验和实际网络环境进行测试。实验结果表明，智能调度系统能够显

著提高故障修复效率，缩短修复时间，同时降低维修成本。

## 5 系统集成与应用

### 5.1 系统架构设计

基于 AI 的通信代维故障预测与智能调度系统的架构设计至关重要，它直接影响到系统的实时性和准确性。系统架构需要涵盖多个关键环节，包括数据采集、数据存储、模型训练、故障预测、调度决策等。每一个环节都必须高效配合，以确保系统的整体性能。

在数据采集方面，系统需要从通信网络的各个层面实时收集各类数据，如设备状态、网络流量、环境参数等。数据采集模块应具备强大的数据获取能力，能够接入多种网络设备和传感器，并支持对实时数据的高效处理。此外，数据存储模块需提供可靠的存储方案，保证数据的长期存储和备份，以便后续分析和模型训练。

在模型训练和故障预测方面，系统应集成先进的 AI 算法，能够对采集到的数据进行实时分析，识别潜在的故障信号。基于机器学习和深度学习技术，系统能够对历史数据进行训练，自动提取关键特征，从而进行准确的故障预测。故障预测模块不仅要考虑传统的故障模式，还需要根据新的网络环境和设备特性，逐步优化预测模型，以适应不断变化的网络条件。

调度决策模块负责根据故障预测结果和网络运行状态，智能地调配维修资源。调度决策不仅要优化维修人员和设备的分配，还需要考虑到实时网络负载和设备优先级，以确保网络故障能够在最短时间内得到处理。系统还应具备灵活的反馈机制，能够根据实际维修效果及时调整调度策略，确保高效的运维工作。

综合来看，AI 系统的架构设计需要高度模块化、灵活且可扩展，以应对未来通信网络环境的复杂性与多变性。

### 5.2 系统实现与实验验证

在系统的实现过程中，首先采用模块化设计理念，将整个系统分为数据采集、数据处理、故障预测、调度决策和反馈优化等多个模块。每个模块在独立运行的基础上，能够与其他模块无缝对接，共同完成故障预测与智能调度任务。模块化设计不仅提高了系统的可维护性，还确保了各个模块的可扩展性，能够根据需求进行优化和升级。

数据采集模块通过接入多种传感器和设备，实时收集包括网络流量、设备温度、运行负载等多维度数据。同时，系统支持与现有通信基础设施的对接，能够自动化收集运行数据，并保证数据传输的实时性和准确性。为了确保数据存储的可靠性和安全性，系统采用分布式数据库架构，将数据分布存储在多个节点上，并且定期进行备份，防止数据丢失或损坏。

在数据处理和故障预测方面，系统结合了多种 AI 算法，如神经网络、随机森林、支持向量机（SVM）等，通过训

练模型来识别潜在的故障模式。通过历史数据的不断学习，系统能够不断优化预测结果，提高故障预测的准确性和提前量。此外，系统还采用了集成学习策略，将多个算法的预测结果进行融合，以提高预测效果的稳定性和鲁棒性。

在调度决策模块中，系统根据故障预测的结果和网络的实时状态，动态调整维修人员的调度和资源的分配。调度策略的优化采用了遗传算法、粒子群优化（PSO）等智能优化算法，这些算法可以在考虑多种约束条件下，找到最优的调度方案。调度决策不仅要考虑设备优先级，还要根据网络的实时负载、维修人员的专业能力和修复时间等因素，进行全局优化。

为了验证系统的效果，本文采用了真实通信网络的仿真数据进行实验。在实验过程中，系统能够实时监测网络状态，并预测出潜在的故障。通过与传统的人工巡检方法进行对比，实验结果表明，AI 系统在故障预测的准确性和提前量方面具有显著优势。此外，智能调度系统能够在最短时间内进行高效的资源调配，显著提高了运维效率和故障修复速度。

## 6 结语

本文基于人工智能技术，深入研究了通信综合代维故障预测与智能调度系统。通过构建一个数据驱动的故障预测模型和优化调度策略，本文成功实现了通信代维的智能化提升。实验结果表明，AI 技术能够有效提高通信代维系统的预测准确率和响应速度，帮助运营商在面对故障时能够提前预警并及时响应，避免了许多可能的网络中断和故障带来的损失。

随着 5G、物联网、大数据等技术的不断发展，通信网络的复杂性也不断提升，对网络运维提出了更高的要求。未来，AI 技术将在通信代维中发挥更大的作用，进一步提升系统的智能化水平和自动化程度。通过不断优化故障预测模型和调度算法，结合实时数据和反馈机制，AI 系统将更加精准地识别潜在风险，帮助通信网络运营商高效、智能地应对各种挑战，确保网络的稳定与可靠运行。

未来的研究还可以进一步探索 AI 在其他网络运维场景中的应用，例如智能网络规划、网络流量优化、设备健康管理等领域，推动通信行业的智能化转型，为全球信息化建设贡献更多力量。

### 参考文献

- [1] 涂俊超.电力系统信息运维故障综合诊断方法研究[J].火炮科技与市场,2020(01):76.
- [2] 郑世豪,蔡晓薇.电网企业信息运维故障诊断模型研究[J].科学技术创新,2019(36):84-85.
- [3] 张晓.通信资源维护管理系统的功能设计及应用[D].浙江工业大学,2014.
- [4] 王思远,宋鑫.基于大数据算法模型的电力运维故障诊断方法研究[J].信息与电脑(理论版),2023,35(19):43-45.

# A Study on Resource Scheduling Methods in Satellite-Terrestrial Integrated Networks

Chao Li<sup>1</sup> Jingyang Tan<sup>1</sup> Jiajia Mi<sup>2</sup>

1. Unicom Air Net Co., Ltd., Beijing, 100000, China

2. China Unicom Online Information Technology Co., Ltd., Beijing, 102600, China

## Abstract

This paper addresses the problem of efficient resource utilization in complex communication network environments and proposes a resource scheduling method that considers both system aggregate rate and user capacity. By constructing a communication model involving users, base stations, and satellites, an optimization model of objective functions is established to maximize system aggregate rate and balance user capacity, with a detailed formulation process for scheduling strategies designed accordingly. The method comprehensively considers multiple factors such as user required rates and channel capacity, and employs game theory and two-sided matching algorithms for optimal resource allocation. Research results show that this method can effectively improve system resource utilization, balance data throughput and user access, and provide new ideas and methods for resource scheduling in communication networks.

## Keywords

resource scheduling; system aggregate rate; user capacity; satellite-terrestrial integrated network; two-sided matching

## 一种星地融合网络下的资源调度方法的研究

李超<sup>1</sup> 谭景阳<sup>1</sup> 糜佳佳<sup>2</sup>

1. 联通航美网络有限公司, 中国·北京 100000

2. 联通在线信息科技有限公司, 中国·北京 102600

## 摘要

本文针对复杂通信网络环境下资源高效利用问题, 提出一种基于系统合速率和用户容量考虑的资源调度方法。通过构建包含用户、基站和卫星的通信模型, 建立以最大化系统合速率与平衡用户容量为目标的函数优化模型, 并设计了详细的调度策略制定流程。该方法综合考虑用户需求速率、信道容量等多种因素, 利用博弈论和双边匹配算法进行资源优化分配。研究结果表明, 该方法能够有效提升系统资源利用率, 平衡数据吞吐与用户接入, 为通信网络资源调度提供了新的思路和方法。

## 关键词

资源调度; 系统合速率; 用户容量; 星地融合网络; 双边匹配

## 1 引言

随着 6G 通信技术向空天地一体化融合演进, 由地面基站 (BS)、低轨卫星 (LEO) 等构成的混合接入网络成为未来泛在通信的核心架构<sup>[1]</sup>。在多用户、多基站与卫星协同的通信场景中, 如何合理分配有限的网络资源, 实现系统最大合速率和用户容量的有效平衡, 成为提升通信网络性能的关键问题。而传统的资源调度方法在处理异构网络环境下的资源分配时, 往往难以兼容卫星高时延、低带宽的信道条件<sup>[2]</sup>, 为满足星地融合网络的资源调度需求, 文献 [3] 提出

了一种业务驱动的卫星网络资源弹性调度方法, 但未考虑信道容量问题; 文献 [4] 对星地网络带宽进行了分析, 但未考虑用户接入数量的限制; 文献 [5] 提出了一种基于博弈论的星地网络边缘算力资源调度策略, 但未考虑多终端接入时, 资源复用引入的带宽降低问题; 文献 [6] 针对用户可接入基站或卫星进行数据回传的场景建立了效用模型, 但未考虑基站和用户均需通过卫星作为数据回传路径的情况。

博弈论作为一种研究决策主体之间相互作用和策略选择的理论, 为星地融合网络资源调度提供了新的思路和方法。博弈论可以用于分析和优化资源调度算法中的竞争行为, 将网络中的各个参与者视为博弈的局中人, 他们在资源分配过程中根据自身的利益和目标进行决策。通过构建合理的博弈模型, 可以使各参与者在追求自身利益最大化的同时, 实现网络资源的优化配置, 提高算法的性能和效率。在

**【作者简介】**李超 (1985-), 男, 中国北京人, 本科, 工程师, 从事卫星网络系统搭建、融合通信频谱资源合理化利用与高效管理、异构网络下终端小型化的研究。

星地融合网络资源调度中应用博弈论，能够充分考虑各参与者的自主决策和相互影响，使资源分配更加公平、合理，从而提升网络的整体性能和用户满意度。因此，研究一种高效的资源调度方法具有重要的理论意义和实际应用价值。

## 2 通信模型构建

本研究构建的通信模型包含  $X$  个用户、 $Y$  个基站和  $Z$  个卫星。用户集合表示为  $\{U_1, U_2, \dots, U_X\}$ ，基站集合表示为  $\{B_1, B_2, \dots, B_Y\}$ ，卫星集合表示为  $\{S_1, S_2, \dots, S_Z\}$ 。用户与基站、卫星之间的接入方式如下图所示，用户  $x$  产生的数据可发送至基站  $y$ ，再由基站  $y$  通过卫星  $z$  进行回传，也可以直接接入卫星  $z$  进行回传。

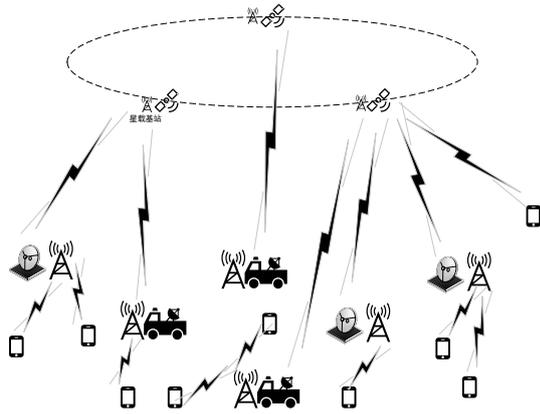


图 1 用户数据回传模型

网络通信调度的离散时隙为  $T$ ，在每个时隙  $T$  内，卫星  $z$  可用信道数量为  $N_z^S$ ，基站  $y$  可用信道数量为  $N_y^G$ 。这些信道资源是星地融合网络中实现数据传输的关键载体，它们的合理分配和有效利用，对于提高网络的整体性能和用户的通信体验起着决定性的作用。

## 3 函数优化模型建立

为实现系统资源的最大化利用，综合考虑系统合速率和用户容量，建立函数优化模型。目标函数为：

$$\max_{\{c_{x,y,ng}, c_{x,z,ns}\}} \sum_{y=1}^Y \sum_{x=1}^X \sum_{ng=1}^{N_y^G} (c_{x,y,ng} \times R_x) + \sum_{z=1}^Z \sum_{x=1}^X \sum_{ns=1}^{N_z^S} (c_{x,z,ns} \times R_x) + \mu \left( \sum_{y=1}^Y \sum_{x=1}^X \sum_{ng=1}^{N_y^G} c_{x,y,ng} + \sum_{z=1}^Z \sum_{x=1}^X \sum_{ns=1}^{N_z^S} c_{x,z,ns} \right)$$

其中， $c_{x,y,ng}$  表示用户  $x$  回程数据与基站  $y$  的第  $ng$  个信道的占用情况，它是一个决策变量，取值为 0 或 1，用于描述用户与基站之间的信道占用关系。当  $c_{x,y,ng} = 1$  时，表示用户  $x$  使用基站  $y$  的第  $ng$  个信道进行数据传输；当  $c_{x,y,ng} = 0$  时，则表示用户  $x$  未使用该信道。同样， $c_{x,y,ng} = 1$  表示用户  $x$  回程数据占用卫星  $z$  的第  $ns$  个信道， $c_{y,z,ng} = 1$  表示基站  $y$  回程数据占用的信道为卫星  $z$  的第  $ng$  个信道。 $R_x$  为用户  $x$  的需求通信速率，它反映了用户对

数据传输速率的要求。 $\mu$  为系统容量在系统优化模型中的折扣因子，它用于平衡系统合速率和用户容量之间的关系，通过调整  $\mu$  的值，可以根据实际需求实现资源的优化配置。

约束条件为：

$$\begin{aligned} c_{x,y,ng} \times R_x &\leq c_{x,y,ng} \times R_{x,y} \\ c_{x,z,ns} \times R_x &\leq c_{x,z,ns} \times R_{x,z} \\ \sum_{x=1}^X \sum_{ng=1}^{N_y^G} (c_{x,y,ng} \times R_x) &\leq \sum_{z=1}^Z \sum_{ns=1}^{N_z^S} (c_{y,z,ns} \times R_{y,z}) \\ \sum_{y=1}^Y \sum_{ng=1}^{N_y^G} c_{x,y,ng} + \sum_{z=1}^Z \sum_{ns=1}^{N_z^S} c_{x,z,ns} &\leq 1 \\ \sum_{x=1}^X c_{x,y,ng} &\leq 1 \\ \sum_{z=1}^Z \sum_{ns=1}^{N_z^S} c_{y,z,ns} &\leq 1 \\ \sum_{x=1}^X c_{x,z,ns} + \sum_{y=1}^Y c_{y,z,ns} &\leq 1 \\ \left[ \frac{\sum_{x=1}^X \sum_{ng=1}^{N_y^G} c_{x,y,ng}}{N_y^G} \right] &= \sum_{z=1}^Z \sum_{ns=1}^{N_z^S} c_{y,z,ns} \end{aligned}$$

约束 1) 表示当用户  $x$  所接入的基站可以满足  $x$  的需求速率；

约束 2) 表示当用户  $x$  所接入的卫星可以满足  $x$  的需求速率；

约束 3) 表示基站从所有终端处接收的数据量低于卫星分配给基站使用的信道容量；

约束 4) 表示对于任意用户  $x$ ，在时隙内最多被分配 1 个基站中的 1 个信道或 1 个卫星中的 1 个信道；

约束 5) 表示对于基站  $y$  的任意信道  $ng$ ，在  $T$  时隙内最多被分配给 1 个用户；

约束 6) 表示对于任意基站  $y$ ，在时隙内最多被分配 1 个卫星中的 1 个信道；

约束 7) 表示对于卫星  $z$  的任意信道  $ns$ ，在  $T$  时隙内最多被分配给 1 个用户或 1 个基站；

约束 8) 表示只有分配回程卫星链路的基站才支持用户数据回程。

这些约束条件从不同角度对资源分配进行限制，保证了系统的稳定性和资源分配的合理性。

## 4 调度策略制定流程

### 4.1 信道容量估算与筛选

用户  $x$  根据自身到各基站、卫星的信噪比，利用公式

$C = W_{y,ng} \times \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)$  完成信道容量估算, 其中  $W_{y,ng}$  为基站  $y$  的  $ng$  信道带宽。将估算得到的信道容量与自身速率需求  $R_x$  进行对比, 筛选出符合传输需求的基站和卫星。

#### 4.2 虚拟基站生成

若筛选结果中存在卫星, 则生成虚拟基站  $B_{Y+X}$ , 并设定虚拟基站信道  $N_{Y+X}^G = 1$ , 以便后续进行资源分配建模。

#### 4.3 映射集合构建

构建用户与基站(含虚拟基站)间映射的集合, 当用户  $x$  与基站  $y$  的  $ng$  信道映射存在时, 则  $c_{x,y,ng} = 1$ , 否则  $c_{x,y,ng} = 0$ 。

#### 4.4 基站与卫星博弈模型构建与求解

博弈模型建模: 博弈局中人为基站  $y \in \{B_1, B_2, \dots, B_{Y+X}\}$  和卫星  $z \in \{S_1, S_2, \dots, S_Z\}$ ,  $c_{y,z,ns}$  为局中人的决策变量。

基站效用模型:  $U^B = \sum_{y=1}^{Y+X} U_y^B$ , 其中  $U_y^B = \sum_{z=1}^Z \sum_{ns=1}^{N_y^S} (c_{y,z,ns} \times U_{y,z,ns}^B)$ ,  $U_{y,z,ns}^B = \sum_{ns=1}^{N_y^S} W_{z,ns} \times \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)_{y,z}$ , 其中  $\frac{S}{N}$  为基站  $y$  到卫星  $z$  的信道比,  $W_{z,ns}$  为卫星  $z$  的  $ns$  信道的带宽, 反映了基站选择卫星信道传输数据时的效用。

卫星效用模型:  $U^S = \sum_{z=1}^Z U_z^S$ , 其中  $U_z^S = \sum_{y=1}^{Y+X} \sum_{ns=1}^{N_y^S} (c_{y,z,ns} \times D_y)$ ,  $D_y = \sum_{x=1}^X \sum_{ng=1}^{N_x^G} (c_{x,y,ng} \times R_x) + \mu \sum_{x=1}^X \sum_{ng=1}^{N_x^G} c_{x,y,ng}$ , 体现了卫星在与基站通信过程中的效用。

偏好列表建立: 基站  $y$  计算到各卫星的效用函数  $U_{y,z}^B$  并降序排列建立本地偏好列表; 卫星  $z$  对  $D_y$  降序排列建立本地偏好列表。

优化求解: 基于双边匹配算法对基站及卫星效用函数进行优化求解, 分离出虚拟基站并完成与用户  $x$  的映射, 即  $c_{x,z,ns} = c_{Y+X,z,ns}$ 。

#### 4.5 用户与基站博弈模型构建与求解

博弈模型建模: 博弈局中人为基站  $y \in \{B_1, B_2, \dots, B_Y\}$  和用户  $x \in \{U_1, U_2, \dots, U_X\}$ ,  $c_{x,y,ng}$  为局中人的决策变量。

用户效用模型:  $U^U = \sum_{x=1}^X U_x^U$ , 其中  $U_x^U = \sum_{y=1}^Y \sum_{ng=1}^{N_y^G} (c_{x,y,ng} \times D'_y)$ ,  $D'_y = \sum_{z=1}^Z \sum_{ns=1}^{N_z^S} [c_{y,z,ns} \times W_{z,ns} \times \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)_{y,z}]$ ,  $D'_y$  反映用户选择基站信道传输数据时的效用, 取卫星基站双边匹配后基站  $y$  可达到的最大上行速率。

基站效用模型:  $U^{B2} = \sum_{y=1}^Y U_y^{B2}$ , 其中  $U_y^{B2} = \sum_{x=1}^X \sum_{ng=1}^{N_y^G} (c_{x,y,ng} \times R_x)$ , 体现基站在与用户通信过程中的效用。

偏好列表建立: 用户  $x$  计算到各基站的效用函数并降序排列建立本地偏好列表; 基站  $y$  对用户需求速率  $R_x$  降序排列建立本地偏好列表。

优化求解: 基于双边匹配算法对用户及基站效用函数进行优化求解, 得出  $c_{x,y,ng}$ 。

#### 4.6 系统效用计算与调度策略制定

完成上述步骤后, 计算系统效用, 并根据计算结果制定整个系统的调度策略, 实现资源的合理分配。

### 5 方法分析

该资源调度方法综合考虑了用户需求速率、信道容量、系统容量折扣因子等多种因素, 能够更全面地反映通信网络的实际情况, 避免了单一因素考虑带来的资源分配不合理问题。

双边匹配算法是一种用于解决两组不同对象之间匹配问题的算法, 其核心思想是通过不断调整匹配关系, 使两组对象之间的匹配达到某种最优状态。在星地融合网络资源调度模型中, 将基站和卫星视为两组不同的对象, 通过双边匹配算法实现它们之间的信道资源分配。具体来说, 基站和卫星根据各自的效用函数计算对方的偏好列表, 然后基于这些偏好列表进行匹配。在匹配过程中, 算法会不断尝试找到使双方效用都能得到提升的匹配组合, 直到达到一个稳定的状态, 即不存在任何一方可以通过单方面改变匹配关系来提高自身效用的情况, 这种稳定状态对应着博弈模型中的均衡解。

均衡解具有稳定性, 在该状态下, 基站和卫星都没有动机单方面改变自己的策略。因为任何一方改变策略都无法提高自身的效用, 反而可能导致效用降低。这使得资源分配方案在一定程度上保持稳定, 基站和卫星之间的信道资源得到了合理分配。

### 6 结论

本文提出的基于系统合速率和用户容量考虑的资源调度方法, 通过构建通信模型、建立函数优化模型和设计详细的调度策略流程, 为通信网络资源调度提供了一种有效的解决方案。该方法能够在复杂通信环境下, 综合考虑多种因素, 实现系统合速率和用户容量的平衡, 提高资源利用率。

#### 参考文献

- [1] 3GPP. Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) (Release 16)[R]. Technical Report, 2023.
- [2] 李明欣, 陈山枝, 谢东亮, 等. 异构无线网络中基于非合作博弈论的资源分配和接入控制[J]. 软件学报, 2010, 21(8): 2037-2049.
- [3] 李佳豪, 吴畏虹, 刘江, 等. 业务驱动卫星网络资源弹性调度策略综述[J]. 移动通信, 2024, 48(9): 50-56.
- [4] 成克伟, 王五兔. 星地一体化通信系统地面网络可用带宽分析[J]. 电子设计工程, 2016, 24(7): 90-92.
- [5] Tong, M., Wang, X., Li, S., Peng, L. Joint Offloading Decision and Resource Allocation in Mobile Edge Computing-Enabled Satellite-Terrestrial Network[J]. *symmetry* 2022, 14, 564.
- [6] 柴荣, 陈米铃, 李锦红. 基于效用优化的星地融合网络联合用户关联及资源块调度算法[J]. 电子学报, 2023, 51(12): 3483-3495.

# Research on Bluetooth protocol and application in car

Cheng Peng Ming Ye Bo Sun

Potin (Beijing) Technology Co.,Ltd., Beijing, 100096, China

## Abstract

In the context of the global wave of automotive intelligence, in-vehicle wireless communication technology has become the core support for achieving interconnectivity and intelligent interaction in smart cockpits. Bluetooth technology, with its significant advantages such as a streamlined structure, low power consumption, and easy deployment, has deeply integrated into the short-range wireless communication ecosystem in vehicles, becoming a critical bridge for data exchange between in-vehicle devices. This article comprehensively explores the architecture of Bluetooth systems, protocol layers, in-vehicle applications, and testing, aiming to provide theoretical foundations and practical guidance for optimizing, upgrading, and innovatively applying Bluetooth technology in vehicles. It seeks to promote the development of wireless communication technology in smart cockpits towards more efficient, safer, and smarter directions.

## Keywords

Bluetooth; on-board system; protocol architecture

## 车载蓝牙协议与应用研究

彭程 叶明 孙博

博鼎实华（北京）技术有限公司，中国·北京 100096

## 摘要

在汽车智能化浪潮席卷全球的背景下，车内无线通信技术已成为智慧座舱实现互联互通、智能交互的核心支撑。蓝牙技术凭借其结构精简、低功耗运行、部署便捷等显著优势，深度嵌入车载短距无线通信生态，成为车载设备间数据交互的关键桥梁。本文通过对蓝牙系统架构、协议分层、车载应用及测试的全面探讨，旨在为车载蓝牙技术的优化升级与创新应用提供理论依据和实践指导，助力推动智慧座舱无线通信技术向更高效、更安全、更智能的方向发展。

## 关键词

蓝牙；车载系统；协议架构

## 1 引言

蓝牙是一种短距离无线通信技术，其工作在 2.4GHz 非授权频段。通过跳频扩频减少干扰。支持点对点通信。广泛用于无线耳机、智能手机、可穿戴设备等。在车载系统中，蓝牙技术在无线短距离通信领域发挥了重要作用。本文主要分析和研究了蓝牙的协议架构以及车载蓝牙相关的应用和测试。

## 2 蓝牙的发展历史

蓝牙的起源可以追溯到 20 世纪 90 年代。爱立信公司开始研究一种用于手机和配件之间的无线通信技术，最初称为“短链路无线技术”。1998 年爱立信、诺基亚、英特尔、东芝和 IBM 联合成立了蓝牙特别兴趣小组（Bluetooth Special Interest Group, SIG），推动技术标准化。蓝牙技术

经过二十余年的发展目前已经发展演进了六代标准。第一代蓝牙标准属于初创和标准化阶段，于 1999 年发布。之后演进了 1.1 和 1.2 版本，加入了自适应跳频（AFH）技术，以减少干扰并提高连接稳定性。第二代蓝牙标准于 2004 年问世。主要是提升性能和扩展功能。第三代蓝牙技术新增可选技术 High Speed，传输率高达 24Mbps。但增加了功耗和成本。第四代蓝牙标准开启了蓝牙低功耗时代<sup>[1]</sup>。2010 年蓝牙 4.0 技术发布，它引入了低功耗技术，大幅降低了设备的能耗，延长了电池寿命，为智能手环、智能手表、智能家居等物联网设备的普及铺平了道路。之后的蓝牙 5.0 系列标准主要聚焦高质量音频、定位功能和新兴领域的应用。2024 年蓝牙联盟发布最新的 6.0 标准，引入信道探测功能，极大提升了定位精度。同时通过帧空间更新等特性，提升吞吐量性能和降低时延<sup>[1]</sup>。

## 3 蓝牙的系统架构

在蓝牙系统中，存在两种系统结构：经典蓝牙（BR/EDR）和低功耗蓝牙（LE）。两种系统有相同之处也有不

【作者简介】彭程（1984-），男，中国北京人，硕士，高级工程师，从事无线短距通信技术研究。

同之处。两种系统都由主机层 (Host)、控制层 (Controller) 和应用层 (Profile) 组成。如图 1 所示。

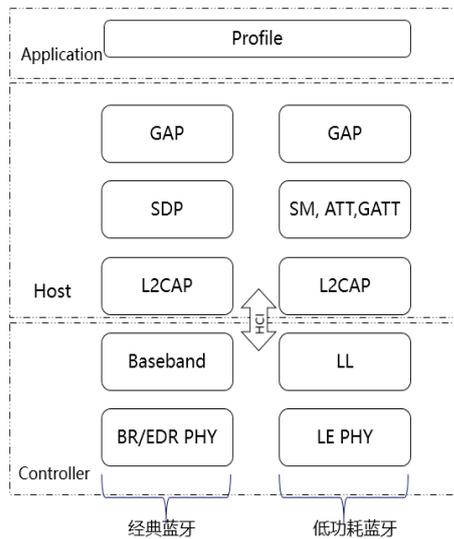


图 1 蓝牙的系统架构

### 3.1 经典蓝的协议层

在经典蓝牙的控制层中，主要分为物理层，基带层和链路管理层。物理层主要负责无线数据传输。在工作频段方面使用 2.4GHz 的非授权频段，被划分为 79 个信道 1MHz 的信道。调制方式上基本速率 (BR) 使用 GFSK 调制方式，增强数据速率 (EDR) 使用  $\pi/4$ -DQPSK 和 8-DPSK 调制，分别用于 2 Mbps 和 3 Mbps 的数据传输速率。在物理层之上是基带层 (Baseband)，基带层的作用主要是管理数据的传输，包括建立、配置和终止逻辑链路，用于传输用户数据和控制信息以及生成适合传输的数据包，并进行错误检查和完整性校验等。物理层和基带通过链路管理协议 (LMP) 负责链路建立包括查询，连接建立，配对和认证、主从设备的角色分配和切换、服务质量，安全关联、链路配置等<sup>[2]</sup>。

经典蓝牙的主机层主要由 L2CAP, SDP 和 GAP 等协议组成。逻辑链路控制与适配协议 (L2CAP) 是经典蓝牙主机层中的重要组成部分。它位于基带层之上，主要用于数据的封装、管理和适配。服务发现协议 (SDP) 主要用于设备之间的服务发现。其采用服务器-客户端架构，允许蓝牙设备获取远程设备支持的服务信息，也同时允许蓝牙设备描述自身提供的服务<sup>[2]</sup>。例如当车机启动时会创建自身所提供的服务记录例如音频播放服务等。当手机搜索时一旦发现车机的蓝牙标识，会通过 SDP 发送服务请求。车机收到后会查找与请求中所匹配的服务记录并发送回手机。此外通用访问协议 (GAP) 也是经典蓝牙中主机层的重要组成。其负责设备的发现、连接和角色管理和安全机制，是蓝牙设备通信的基础。

### 3.2 低功耗蓝牙的协议层

低功耗蓝牙的控制层 (controller) 主要包括物理层和

链路层。低功耗蓝牙使用高斯频移键控作为调制方式，同样工作在 2.4GHz 频段，共分为 40 个信道。其中 3 个是广播信道，37 个是数据信道，每个频段带宽是 2MHz。BLE 同样采用跳频技术来规避同信道的干扰。低功耗蓝牙的链路层在物理层之上，在 BLE 协议栈中起着至关重要的作用。主要功能为广播与扫描，设备发现，连接建立、数据传输，链路控制等。

低功耗蓝牙的主机层 (host) 主要包括 L2CAP、SM、ATT、GATT 和 GAP 层。L2CAP 位于链路层之上，主要负责数据管理、流量控制、多协议复用、服务质量提升等关键功能。它优化了 BLE 在低功耗场景下的数据处理能力，使 BLE 能够支持更复杂的应用，如高吞吐量数据传输、音频流、远程控制等。在 L2CAP 层之上是安全管理协议 (Security Manager)，主要负责设备间的安全连接，确保数据传输的机密性、完整性和身份验证。属性协议层 (ATT) 位于 L2CAP 之上，GATT 层之下。采用客户-服务器模式，以属性作为数据结构单位，实现高效的低功耗通信。为 GATT 层提供基础。其上的 GATT 层 (通用属性协议)，为 BLE 设备提供标准化的数据组织和交互方式。GATT 定义了一套基于属性的服务架构，用于 BLE 设备间的通信，如智能手环、蓝牙耳机、健康监测设备等。GAP 层是低功耗蓝牙 (BLE) 协议栈中的最高层，负责设备发现、连接、广播、安全机制等关键操作。GAP 决定 BLE 设备如何与其他设备交互，是 BLE 通信的基础。

### 3.3 蓝牙的应用层

蓝牙系统结构的最上层是应用层。主要由各种 profile 组成。它定义了设备之间如何使用蓝牙服务进行互操作从而实现特定的应用场景，确保不同厂商的设备之间具有良好的兼容性。蓝牙的 Profile 也分为经典蓝牙和低功耗蓝牙两大类。经典蓝牙的典型 profile 如 HSP，适用于蓝牙耳机，支持基本的音频通话功能<sup>[3]</sup>。低功耗蓝牙的 profile 例如 BAS，适用于设备电池电量状态报告如蓝牙耳机电量显示。HRS 适用于心率监测设备如智能手环<sup>[3]</sup>。

## 4 车载蓝牙应用

车载蓝牙是将蓝牙短距无线通信技术与汽车领域车载设备进行连接与数据交互的一种应用。常见的车载蓝牙应用主要包括车载蓝牙电话、车载蓝牙娱乐、蓝牙数字车钥匙等。

### 4.1 车载蓝牙电话

车载蓝牙电话是通过蓝牙技术，实现车主在车内不需要拿起手机即可发起、接听电话的目的。车载蓝牙电话一般具备接打电话、收发短信、来电显示、上网、数字拨号、通讯录、通话管理、设置时间和日期等功能；车载蓝牙电话利用蓝牙与手机配对后，开始进行通信。车载蓝牙电话利用了蓝牙的无线通讯技术，通过蓝牙无线访问用户的手机系统并识别其中的信息包括手机号码、电话的服务商、用户 ID、

手机中储存的联系人并且能够自动登录电话运营商的网络，实现了用户手机与车载电话的无线连接，使用户在接听或拨打电话的时候直接使用车载电话，增强了驾驶的安全性。

蓝牙联盟专门定义了 HFP (Hand Free Profile) 规范了蓝牙在车载免提装置中的应用，使得用户通过车载麦克风和音响便可以打电话，保证了行车安全；定义了 PBAP (Phone Book Access Profile) 和 OPP (Object Push profile) 规范了电话簿下载的应用，使得用户可以将手机中的电话簿同步到车载免提装置上，从而可以利用汽车上的按键和液晶屏直接拨打电话，方便了用户的使用；

#### 4.2 车载蓝牙娱乐

车载蓝牙多媒体系统主要使用场景是蓝牙手机用户可以通过蓝牙直接在汽车音响上播放手机中的音乐，需要手机和车机都需要支持蓝牙立体声。车主手机与车载蓝牙配对成功后，即可将手机中播放的音乐通过蓝牙传输到汽车的车机端播放，可以通过车机或手机对播放音乐进行控制，如音乐切换、快进后退、音量大小调节等。

除蓝牙播放音乐外，车载蓝牙还可以实现多媒体语音播放，该场景是目前比音乐播放使用频率更高，如语音导航通过蓝牙传输到车机端，车机端麦克风发出导航语音指令，免去手机端音量受限等问题，此外还有微信等支持语音聊天的语音播放，也可以通过车载蓝牙将语音信息传输到车机端播放。

#### 4.3 蓝牙数字车钥匙

蓝牙数字车钥匙是基于蓝牙配对和蓝牙 RSSI 信号强度原理。用户将手机与车辆通过蓝牙进行配对绑定后，当用户携带手机靠近车辆时。车辆能够搜索并识别手机发出的蓝牙信号，即可自动解锁车门。当用户进入车内后，也可通过相关操作启动车辆。当用户携带手机离开车辆，手机超出车辆一定距离时，车辆自动锁闭。目前理想、蔚来、塞力斯等新势力车企均支持蓝牙数字车钥匙。以理想汽车为例，首先需要在手机端下载理想汽车的应用程序，进行身份认证后打开 APP，在车内进行数字车钥匙的绑定。在此过程中还会提示用户进行蓝牙配对。在 APP 中看到手机钥匙连接成功就表示数字车钥匙能够正常使用了。如果解锁距离出现偏差，用

户还能够通过 APP 进行调节。蓝牙数字车钥匙具有便捷性高、分享方便、功能丰富等优点。但也存在定位精度和安全风险等缺点

## 5 车载蓝牙的测试

车载蓝牙的测试主要分为标准化测试和定制化测试。标准化测试主要是指蓝牙联盟 BQB 的模块化测试。主要包括射频一致性测试、协议一致性测试和应用层 Profile 测试。定制化测试主要分为基本功能测试、兼容性测试和稳定性测试。基本功能测试主要验证车载蓝牙与终端在各种场景下的基础功能测试。例如车辆远程控制功能、车载语音通话功能、第三方软件蓝牙语音相关功能、车载娱乐音乐播放和影音播放功能等。兼容性测试主要指市场上不同品牌不同操作系统的智能终端与车载蓝牙系统的互联互通测试。目前市场上的智能手机型号繁多，其操作系统与蓝牙实现方式各不相同。因此在与不同车企的蓝牙系统交换过程中会产生兼容性问题。此类问题严重影响用户体验。例如某些品牌手机蓝牙发射功率偏大，导致用户已经远离车辆但车门仍无法完成闭锁。因此就需要兼容性测试调整解锁信号强度的阈值。稳定性测试主要是连接稳定性，数据传输稳定性以及特殊环境下的配对稳定性。

## 6 结语

车载蓝牙技术是诸多车内通信技术的一种，同时也为车内智能化提供强有力的通信基础。本文主要分析了蓝牙的系统架构、车载蓝牙的应用以及相关测试等。未来随着汽车智能化和蓝牙技术的发展，车载蓝牙会在汽车智能座舱中发挥更加重要的作用。

### 参考文献

- [1] Robin Heydon 著，低功耗蓝牙开发权威指南，北京：机械工业出版社，2014
- [2] 毛剑飞 周雪 主编，物联网技术实践教程-基于蓝牙4，北京：清华大学出版社，2015
- [3] Afaneh Mohammad, Intro to Bluetooth Low Energy, US, Novel Bits, 2018

# Thought on the application strategy of intelligent technology in subway signal system maintenance

Xupeng Wang

Tianjin Zhonghe Intelligent Control Technology Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

## Abstract

In the new era context, the operation of subways has attracted widespread attention. Maintenance and operation work should be given top priority and advanced through modern means. Intelligent technology is a product of the new era, demonstrating its value across various fields and receiving significant attention from all sectors of society. Integrating it with subway signaling system maintenance can establish a cross-platform operation and maintenance system. When combined with big data architecture technology and operation management tools, this approach can reduce the workload of staff and improve actual work efficiency. This paper will focus on the application strategies of intelligent technology in subway signaling system maintenance, summarizing specific solutions based on types of subway signaling systems and their application values. It also offers practical suggestions for implementation, aiming to provide reference value.

## Keywords

intelligent technology; subway signal system; maintenance; application strategy

# 智能化技术在地铁信号系统维护中的运用策略思考

王绪鹏

天津众合智控科技有限公司, 中国·天津 300000

## 摘要

新的时代背景下, 地铁运行情况受到广泛关注, 应将运维工作作为重中之重, 采取现代化手段加以推进。智能化技术是新时代的产物, 在各个领域展示出自身价值, 受到社会各界的广泛关注。将其和地铁信号系统维护结合起来, 能够构建起跨平台的运维体系, 在联合应用大数据架构技术和运维管理工具时减轻工作人员的压力, 提高实际的工作效率。本文将着重探讨智能化技术在地铁信号系统维护中的运用策略, 结合地铁信号系统类型以及运用价值等概括阐述具体方案, 针对实践过程提出相关建议, 希望发挥出参考价值。

## 关键词

智能化技术; 地铁信号系统; 维护; 运用策略

## 1 引言

在科学技术飞速发展的背景下, 智能化技术成为热议焦点, 其为各个行业做出了积极贡献, 备受认可和关注。地铁信号系统属于城市轨道交通的核心组成部分, 应考虑稳定性和可靠性, 保障乘客的出行安全<sup>[1]</sup>。传统的地铁信号系统维护体现出成本高和安全隐患多等问题, 为了弥补系统的不足之处, 应将智能化技术融入其中, 促使地铁信号系统的维护和管理更加到位。

## 2 地铁信号系统类型

### 2.1 基于通信的信号系统 (CBTC 系统)

基于通信的信号系统 (CBTC 系统) 对于地铁运行意

义重大, 是现代地铁信号系统的代表。借助于先进的通信技术, 搭配着计算机的合理控制, 使列车运行过程更加稳定, 实现精细化管理的目标。在地铁信号系统运行过程中, 通信系统的核心就是无线通信, 随着专用通信频率的进一步提升, 使得列车和地面控制中心的数据交换更加到位, 满足了不同情况下的实际需求<sup>[2]</sup>。在车载单元技术的支持下, 也可及时接收地面控制中心的指令, 让列车运行拥有可靠的保障条件。车载单元技术涵盖着传感器接口以及通信模块等多个组成部分, 地面控制中心则是全面监控列车的运行过程, 在二者密切配合的过程中, 可以完成对列车的精准调度, 使控制效果达到最佳。

### 2.2 固定闭塞系统

固定闭塞系统属于相对传统的地铁信号系统, 应用于早期信号系统中。在轨道上可以细化出固定的闭塞区间, 以此让列车运行拥有一定的控制思路。固定闭塞系统在轨道电

【作者简介】王绪鹏 (1986-), 男, 中国辽宁大连人, 本科, 工程师, 从事轨道交通研究。

路的支持下可以明确列车位置以及运行的状态,根据轨道电路呈现出的不同形态,如条形和环线形,分析区间的具体情况。信号机是至关重要的设备,依照轨道电路的状态传递出关键的信号信息,指示列车驾驶员行驶或停止,以保证整个过程的安全。在这个系统运行的过程中,联锁功能让列车运行更加安全,通过相应的机械装置以及逻辑电路等规避一系列冲突和安全隐患。联锁系统也可依照信号机的状态和轨道电路的反馈进一步分析,将列车运行过程加以把控,以免影响到运行的效果,埋下诸多安全隐患。在某些固定闭塞系统中,还存在着ATC功能,让列车控制和运行实现自动化目标。

### 2.3 移动闭塞系统

移动闭塞系统主要介于固定闭塞系统和CBTC系统之间的信号系统,依照相关的概念和动态控制特征分析,移动闭塞系统包含着下述几个方面的要点:第一,移动授权技术。借助车载设备的计算和分配移动授权功能,列车能够在特定时间内稳定运行,不会受到固定闭塞分区的直接影响。第二,动态闭塞区间。相较于固定闭塞,动态闭塞区间体现出移动闭塞系统的动态变化,因此可以依照列车运行全过程调整相应的方案,保证运行过程的安全。第三,配置设备。移动闭塞系统应根据实际情况布置相应的设备,比如应答器以及计轴器等,这样可以获取出列车的具体位置和基本的速度信息<sup>[3]</sup>。第四,列车间隔控制。根据相关系统的运行情况,能够实现对列车的动态化调整,让其间隔保持在理想状态,强化运输时效。

## 3 智能化技术在地铁信号系统维护中的运用价值

### 3.1 保证系统运行效率

城市化进程中,地铁成为备受瞩目的焦点,支撑着城市交通事业的发展。地铁作为城市公共交通的重要内容,运行效率受到广泛关注,将直接影响到人们的出行体验。将智能化技术和地铁信号系统维护结合起来,能够实现了对系统运行状态的实时监控,还能对各个部件的基本情况详细分析,明确潜在的安全隐患,提前做好维护计划,避免因设备故障而影响列车运行。除此之外,通过智能化技术也可远程操控系统,保证基本的效率进一步提高,科学把控成本支出,在优化资源配置的基础上,让大数据分析发挥出自身价值,完成对运行数据的深度挖掘。

### 3.2 维护列车安全稳定

智能化技术是新时代的产物,对于各个行业的影响较大,发挥出自身的应用优势。智能化技术可以让地铁信号系统的可靠性进一步提升,在精准监控信号系统的环节,推动潜在的安全隐患逐一排查,降低故障发生率。除此之外,智能化技术还能对信号系统的故障及时诊断,发出报警信号,让信号系统的应急处理效果明显强化。对于地铁信号系统来说,智能化技术有助于提升其抗风险的能力,逐一排除人为

因素和自然因素,控制负面影响。智能化技术也可对信号系统精准判断,强化地铁信号系统的应急响应速度,对多种风险加以防范,降低其干扰的频率。

### 3.3 降低运行维护成本

智能化技术能够实现对信号系统的远程维护,减轻工作人员的压力,使其工作量进一步缩减。在远程监控和诊断的过程中,可以及时发现故障,控制现场维护频率,降低成本支出。智能化技术也可让信号系统的利用率稳步提升,在实时监测的环节,掌握设备运行的参数,使设备使用效率迈上新台阶。通过培养优秀人才,使其具备数据分析和故障诊断的能力,保障地铁运行更加安全可靠。

## 4 智能化技术在地铁信号系统维护中的运用策略

### 4.1 精准预测和评估

智能故障诊断和预测是至关重要的举措,可以在传感器和数据分析技术的支持下判断故障所在,便于相关人员及时采取应对措施。数据采集是通过安装相应的传感器加以获取,比如振动传感器及温度传感器等使设备运行状态及时呈现,为后续的管理提供参考依据。传感器可以监测设备的工作参数,将相关信息及时传送至中央控制系统中,以便相关工作的开展拥有支撑条件。在机器学习与人工智能算法的支持下,地铁信号系统的运维工作稳步开展,经过对采集到的数据深度挖掘,明确潜在的安全隐患,建立起故障分析模型,应对可能出现的故障问题,完成对设备的健康状况评估。在整个实践的过程中,除了合理利用历史数据,也能判断潜在的故障征兆,不断总结经验教训。

### 4.2 合理优化和控制

地铁信号系统的运行情况关系到信息传输及列车运行状态,因此需要重视合理的控制与优化。自动化控制和优化技术至关重要,对于地铁信号系统的运行意义重大。在开展相关的工作时,扎实推进自动化控制与优化工作能够让系统安全运行,保证地铁运行的速率。智能化技术将自动化控制以及优化算法等融入其中,实现对地铁的调度管理,让整个系统运作过程更加稳定。智能化技术为自动控制系统提供了必要的支持,展示出PLC(可编程逻辑控制器)、SCADA(监控与数据采集)等技术的优势之处,可以对地铁信号系统实时控制,掌握关键信息。在相关数据的支持下,适当调整列车速度以及信号灯状态,让列车高效稳定地运行。遗传算法、粒子群优化等支持相关人员实时分析交通流量,根据具体的运行状态,动态调整相应参数,保证列车运行的效率进一步提升。

### 4.3 运维管控及安全

在运用智能通信协议后,可以精准传输地铁信号系统中的关键信息,为后续工作的开展提供参考依据。借助先进的通信手段,能够让各个设备之间的信息传输更加迅速,保

证合理性和可靠性。协议的智能化设计为系统运行提供了最佳路径,可降低延迟和数据丢包率。数据加密技术能够保护信号系统的数据安全,属于至关重要的措施。在科学合理的加密处理中,能够防范被窃取和被篡改的情况,通过对称加密和非对称加密相结合的手段,让数据信息更加可靠,提升实际的传输效率。

#### 4.4 人机交互与决策

人机交互与决策支持技术在地铁信号系统中占据着重要地位,应用效果突出,主要目标是强化工作人员的效率,助力其正确决策。这一技术涵盖着虚拟现实以及专家系统等各个组成部分,用户界面设计是人机交互的基础,通过合理的设计,呈现出直观的操作界面,维护人员可以及时获取相关信息,制定出科学的维护方案,让操作过程更加简易,提高整体的工作效率。专家系统能够让维护人员获取可靠的支撑条件,确保决策更加科学合理。在领域专家知识与经验编码的支持下,让专家系统发挥出自身功能,为诊断和处理提供必要的保障。除此之外,还能帮助维护人员及时定位故障,以便采取科学化的处理方案。将虚拟现实与增强现实技术合理地引入其中,通过科学的培训与指导,使相关人员掌握全新的工作技巧,提升工作实效性。在智能化技术的支持下,可以模拟真实的维护场景,让维护人员参与实践,强化技能水平。

### 5 智能化技术在地铁信号系统维护中的运用案例

#### 5.1 智能巡检系统

该系统采用配备机载无线网络通信设备的机器人和无线通信基站,实现双向信息交互。机器人配备可见光摄像机,可将采集的图像、视频上传至监控后台,监控后台能实时可靠接收并处理巡检机器人采集的图像、语音、数据等信息。

系统具备多种显示功能,包括对各线路车站级智能巡检设备覆盖率、运行工况等的信息显示,对站级巡检设备实时画面及巡检情况的显示,对巡检对象故障的列表化或图形化显示,以及对各站级预警、报警数量的统计、排序及汇总显示等。同时,还具备远程控制、数据调阅、下发巡检计划和任务等功能,可向站级智能巡检设备进行操作,也能调阅车站图片等数据信息。

此外,系统能汇总显示各站级巡检设备提供的告警信息,综合多方面数据对设备告警进行审核确定缺陷类型,集中展示人工确认的缺陷点位信息。还能以图表形式对采集信息和识别结果进行分析,生成历史曲线。具备用户管理、Web 浏览服务、车站实时数据接入分析、权限管理等功能,提供数据库交互服务,可存储相关数据并能响应读取历史数据命令。

采用配备机载无线网络通信设备的机器人和无线通信基站,进行双向信息交互。机器人配备可见光摄像机、并能将所采集的图像、视频上传至监控后台。

#### 5.2 智能接地监测系统

智能接地监测设备包括检测模块、电源模块、监控单元和辅助地极。智能接地监测设备采用箱式结构,通过检测模块微处理器控制,可自动/手动检测被测地点的接地状态,有效地排除其他干扰,达到高精度测量;具备声光报警功能,具有历史记录、信息查询功能,具备远程上传在线监测等条件。

### 6 结语

在城市轨道交通快速发展的背景下,地铁信号系统的安全受到广泛关注,应重视智能化技术的应用价值,将其和地铁信号系统的维护结合起来,促使相关工作的开展拥有稳定的支撑条件。在智能化技术支持下,智能故障诊断和预测系统发挥出自身价值,其能实时监测设备的情况,准确识别潜在故障,让故障处理的准确度进一步提升。自动化控制以及优化技术可以掌握信号参数的变化趋势,优化列车运行状态,促使人员安全得以保障。通过本文的详细概述,了解到地铁信号系统维护中智能化技术的应用要点和思路,旨在为相关工作的开展提供参考依据,促使地铁信号系统始终保持理想的运行状态。

#### 参考文献

- [1] 付康. 智能化技术在地铁项目机电安装及装饰装修施工安全管控中的应用探究[J]. 张江科技评论, 2024(10): 93-95.
- [2] 徐海,叶倪. 轨道交通行业智慧仓储系统规划建设与实践——以无锡地铁5号线为例[J]. 物流技术与应用, 2024, 29 (S2): 88-94.
- [3] 李宇辰. 全自动运行的地铁信号故障高效恢复设计及其高可用性探讨[J]. 中国设备工程, 2024(11): 191-193.

# Design and practice of unified service platform for full-text retrieval

Jianqin Yang

CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing, 100028, China

## Abstract

By expanding the functions of the full-text search service management module, the platform achieves permission management, monitoring management, and data management; the remote service component is fully functional, comprehensively supporting the extended application of full-text search services; the full-text search service interface has been optimized to provide standard internal and external interface services for the service platform. The index data loader adapter function has been extended as a supporting tool for the full-text search service platform, enabling convenient and rapid storage of application system data into the full-text search service platform. The file management system has been comprehensively upgraded, achieving a new optimization and upgrade of the file management system along with the expansion and application of full-text search functions.

## Keywords

full text retrieval; archival service; service platform

# 档案全文检索统一服务平台设计与实践

杨建钦

中海油研究总院有限责任公司, 中国·北京 100028

## 摘要

通过全文检索服务管理模块的功能扩展, 实现平台的权限管理、监控管理和数据管理等功能; 远程服务组件功能完善, 全面支持全文检索服务的拓展应用; 全文检索服务接口优化, 为服务平台提供对内、对外的标准接口服务。索引数据加载适配器功能扩展, 作为全文检索服务平台的配套工具, 实现应用系统数据便捷、快速存储至全文检索服务平台。文件管理系统的全面升级, 实现文件管理系统的全新优化升级与数据全文检索功能扩展及应用。

## 关键词

全文检索; 档案服务; 服务平台

## 1 引言

随着智能油田、智慧油田的建设, 越来越多档案研究更加重视海量数据的检索以及高效利用, 并且都进行过相关的技术探索及建设。但受限于档案课题研究范围的束缚以及数据的信息壁垒, 数据的检索引擎存在重复建设的问题, 缺乏统一的管理机制。同时, 不同的检索引擎, 学习成本高, 会导致项目建设周期延长, 建设成本增加等问题。通过对ElasticSearch的二次封装开发, 打造独立的产品服务, 以平台的模式为其他应用系统提供全文检索服务<sup>[1]</sup>。

当前档案多数的应用系统都进行过全文检索研究及建设, 但由于缺少统一建设、统一管理的全文检索服务, 各系统在全文检索方面的建设中都存在重复工作量。应用系统建设过程中, 以往只能通过简单的关键词查询来实现检索的目

的, 系统无法基于检索关键词热度的增长以及用户的使用习惯而进行自主优化和统计分析。

针对当前存在的问题, 本文提出了相关的技术解决思路, 在充分利用现有的建设资源的基础上, 打破信息孤岛, 遵循“统一规划、统一标准、统一建设、统一管理”的原则, 建立档案统一的全文检索服务平台, 通过平台功能扩展, 实现档案全文检索服务的统一提供、统一管理和统一维护, 系统的全新优化升级与功能扩展。

## 2 研究现状

全文检索服务平台存在问题如下:

①系统重复建设问题: 当前多数的应用系统都进行过全文检索研究及建设, 但由于缺少统一建设、统一管理的全文检索服务, 各系统在全文检索方面的建设中都存在重复工作量。

②全文检索建设成本高: 应用系统进行全文检索功能建设时, 需要进行相关专业知识的储备, 集群部署及授权较

【作者简介】杨建钦(1982-), 中国山东郓城人, 硕士, 高级工程师, 从事GIS、信息系统集成研究。

为繁琐，学习开发语言需要的时间长、难度大，项目建设周期被无形拉长。

③缺乏统一的管理机制：应用系统进行全文检索功能建设时，仅局限在本应用系统，总院暂无统一有效的监管手段，缺乏对全文检索服务引擎及整体数据应用情况的监控，无法统计分析并加以利用。

④缺乏全文检索机制：应用系统建设过程中，以往重视的主要是结构化数据的检索，缺乏对非结构化数据的处理及检索。即使支持全文检索，也无法根据实际的需求自定义检索效果。

⑤缺乏知识的深度管理：应用系统建设过程中，以往只能通过简单的关键词查询来实现检索的目的，系统无法基于检索关键词热度的增长以及用户的使用习惯而进行自主优化和统计分析。

### 3 设计方案

全文检索服务平台依托 ElasticSearch 全文检索服务引擎，结合 Docker 技术、RestFul 标准接口等，使用 SpringBoot+VUE 框架，打造一体化平台，以平台模式为其他应用系统提供全文检索服务和监控管理等功能<sup>[2][3]</sup>。



图 1 全文检索服务总体架构

全文检索统一服务平台包含四大主要模块：

①服务管理平台：全文检索服务的管理平台，针对不同用户角色，可通过该平台进行账户角色管理、申请检索服务使用、处理申请、ElasticSearch 服务的资源分配、ElasticSearch 服务器相关指标的监控、索引管理和监控、数据管理和监控等。

② Docker 镜像：Docker 是一种应用容器，在 Docker 内预装 ElasticSearch、Java、检索服务接口、依赖组件包等，为服务平台提取全文检索服务。Docker 镜像封装目的是傻瓜式、便捷式部署在宿主机中。

③检索服务接口：预装在 Docker 内部，为整个应用服务平台提供 RElasticSearchFul 模式的 API 接口。接口包括：索引管理、索引重建、数据插入、数据更新、数据删除、数据检索等。

④远程服务组件：远程服务组件部署在宿主服务器，作为服务平台的扩展，协助平台将多类别配置文件

（ElasticSearch 配置文件、ElasticSearchSP 配置文件、IK 配置文件等），一键部署式部署到宿主服务器。

全文检索服务的数据来源主要包含以下三类：适配器：实现扫描文档、图片等文本提取（非结构化数据）和关系型数据库数据提取（结构化数据）后写入服务。服务 API：通过整理原始数据为服务写入数据 API 对应的 JSON 格式，调用接口写入服务。数据迁移：将已有 ElasticSearch 服务的数据拷贝至全文检索服务挂载的数据目录下，重建索引即可将数据导入服务。以往使用 ElasticSearch 服务时，用户需要耗费大量时间学习 ElasticSearch 相关知识，例如服务的集群部署、初始化授权、分词器安装、开发语言的学习等，操作繁琐，学习时间长、难度大，项目建设周期被无形拉长。而全文检索服务平台使用一键化部署，无需学习 ElasticSearch 集群部署及授权配置，系统管理员只需分配宿主机并点击确认按钮，平台会自行生成 ES 集群、ESSP 服务、IK 分词等配置信息、调用远程组件在宿主机创建配置文件、自动化部署

全文检索服务集群、初始化授权信息、集成分词工具、创建分词库,将原本复杂的部署过程缩短至数秒内,实现傻瓜式的快捷部署。

索引适配器主要实现提取,转储和数据应用功能。提取:实现扫描文档、图片等的文本提取(非结构化数据)和关系型数据库(结构化数据)的提取过程。转储:索引数据适配器会根据表结构或预设信息创建模型,调用数据写入API实现结构化和非结构化数据的存储。应用:检索接口会调用底层ElasticSearch服务,应用通过调用检索服务接口即可实现全文数据的查询。

全文检索服务部署架构采用前后端分离模式开发。中间件采用Nginx和Docker。平台部分:前端采用Nginx分布式集群云部署;后台依赖MySQL数据库。将两部分部署至平台服务器。服务部分:ElasticSearchSP全文检索服务依赖ElasticSearch环境,将两部分打包至Docker镜像内,与远程服务组件一同部署至各宿主机。调用方式:在创建全文检索服务时,平台通过远程服务组件生成配置文件并创建Docker容器,从而启动全文检索服务。

全文检索服务平台经过多轮选型验证,最终采用ElasticSearch全文检索服务引擎。ElasticSearch一个开源的基于Lucene的分布式、高扩展、高实时的搜索与数据分析引擎。它可以很方便地使大量数据具有搜索、分析和探索的能力。充分利用Elasticsearch的水平伸缩性,能使数据在生产环境变得更有价值<sup>[4][5]</sup>。

## 4 应用效果

经过对全文检索服务平台、文件管理系统多轮的功能测试,系统功能完善,参与测试的模块达到了测试方案中所规定的要求,测试功能点覆盖系统的99%,无遗留问题,系统满足需求规格书中的要求,可以上线运行。全文检索服务平台目前处于试运行阶段,全文检索服务平台功能扩展及文件管理系统升级建设课题组常驻现场进行开发工作,课题组的开发人员与技术支持人员对全文检索服务平台的试运行进行了持续的支持和维护。鉴于驻场开发的便捷性,用户可随时与全文检索服务平台的运维人员进行问题的反馈及优化整改意见的对接,同时课题组也积极收集试运行阶段的问题以及功能优化修正意见,并经过项目组的讨论确定,由系统支持人员完成全文检索服务平台的升级及优化工作。

全文检索服务平台的主要运维工作包括:应用系统的

安装及部署、应用系统的升级、应用系统的数据文件的定期备份、数据库的日常运维等。效果与意义如下:

①未来其他应用系统使用该服务平台,不需要进行二次开发,只需要通过指定的API接口服务,即可以实现数据资料信息的入库及资料检索。因此,对其他应用系统来说,全文检索服务的使用及引入,不需要额外的技术学习及储备的工作量,只需要熟悉平台操作流程及有限的RElasticSearchful标准的API接口的即可。

②平台为管理人员提供了便捷的管理界面,可通过平台管理多套ElasticSearch服务。用户通过界面的交互配置,即可实现ElasticSearch的本地/远程配置(如集群信息、节点信息、数据存放路径、日志存放路径等)、远程控制(启动/停止检索服务、数据的管理等)等,无需学习复杂的ElasticSearch集群部署和授权,只需一键完成分配,平台将结合远程组件,自动完成配置文件创建、容器创建、多节点集群搭建、授权初始化的过程;同时服务平台也实现了注册的应用系统的便捷管理,可实时启用/禁用其他应用系统对服务的使用。

## 5 结语

全文检索服务平台作为一个通用产品平台,满足其他应用系统的全文检索服务需求,未来拥有良好的应用前景。目前已提供工程智能设计平台进行试用,并获得了客户的高度认可。

ElasticSearch服务在使用过程中,会产生相应的日志文件,同时会占用一定的磁盘容量,建议及时通过监控查看日志占用情况,如有必要需及时对日志进行清理。

## 参考文献

- [1] 张中建,黄建飞,熊拥军.基于ElasticSearch的数字图书馆检索系统[J].计算机与现代化,2015(6):69-73.
- [2] 张云,许江淳,李玉惠,等.基于Nginx服务器负载均衡技术的研究与改进[J].软件,2017,38(8):6-12.
- [3] 马豫星.Redis数据库特性分析[J].物联网技术,2015(3):105-106.
- [4] 饶琛琳.ELKStack权威指南[M].2版.北京:机械工业出版社,2014:16-30.
- [5] CROFTWB,METZLERD,STROHMANT.搜索引擎——信息检索实践[M].刘挺,秦兵,张宇,译.北京:机械工业出版社,2010:76-93.
- [6] MCCANDLESSM,HATCHERE,GOSPODNETICO.Lucene实战[M].牛长流,肖宇,译.2版.北京:人民邮电出版社,2016:81-83.

# Thoughts on the Transformation and Upgrading of Forestry Economy under the Background of Informatization

Aodeng Rong

Big Data Center of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot, Inner Mongolia, 010090, China

## Abstract

Under the sweeping wave of global informatization, the forestry economy is facing profound demands for transformation and upgrading. Under this background, in-depth research on the transformation and upgrading path of the forestry economy in the context of informatization is of great practical significance for promoting the modernization process of forestry and achieving sustainable development of forestry. This article will systematically analyze the impact of informatization on the forestry economy and conduct in-depth discussions on the strategies for transformation and upgrading. It reveals the internal mechanism by which informatization promotes the transformation of the forestry economy from the traditional model to the efficient, intelligent and green modern model, providing theoretical support and practical guidance for the sustainable development of the forestry economy.

## Keywords

informatization; Forestry economy; transformation and upgrading

## 信息化背景下林业经济转型升级的思考

荣傲登

内蒙古自治区大数据中心, 中国·内蒙古 呼和浩特 010090

## 摘要

在全球信息化浪潮的席卷下, 林业经济面临着深刻的转型升级需求。在此背景下, 深入研究信息化背景下林业经济的转型升级路径, 对于推动林业现代化进程、实现林业可持续发展具有重要的现实意义。本文将系统分析信息化对林业经济的影响, 并对转型升级的策略进行深入探讨, 揭示了信息化推动林业经济从传统模式向高效、智能、绿色的现代模式转变的内在机制, 为林业经济的可持续发展提供了理论支撑与实践指导。

## 关键词

信息化; 林业经济; 转型升级

## 1 引言

在以数字化和智能化为主导的新一轮科技革命的大背景下, 信息技术的浪潮正在以史无前例的速度向世界的每一个角落蔓延, 林业经济也不例外。同时, 科学技术的迅速发展也为我国林业经济的转型升级提供了强有力的支持。以物联网、大数据和人工智能为代表的新一代信息技术为林业生产、经营和管理提供了新的思想和方法。通过本项目的实施, 将有助于转变我国长期的粗放经营方式, 实现精准化、智能化作业, 提高林业的综合效益和竞争能力。

## 2 信息化背景下林业经济转型升级的概述

信息化背景下的林业经济转型升级, 是在 5G、大数据、人工智能、物联网等信息技术呈指数级发展的时代语境中,

将传统林业产业从资源依赖型发展范式向技术驱动型发展模式的系统性变革。

市场运营的数字化变革打破了传统林业的时间和空间界限, 构建了林产品垂直电商平台, 将山珍野味从山林直接供应到餐桌, 并结合 VR 技术建立的虚拟林业体验博物馆, 让消费者可以直接感知林产品的生长环境和加工流程, 从而为长白山松子和云南松茸等特产林产品的溢价空间增加 30%。更深层次的变革发生在产业融合的层次, 信息化正在促使林业经济向“生态价值经营者”转变, 即通过碳足迹计算平台, 将林业碳减排能力量化, 并与国家碳交易市场对接, 实现林木生长碳固碳收益的可交易性。通过“林业+文旅”的数字融合, 开发新型的 AR 导览、生态科普游戏等, 将林业健康产业从线下拓展到了元宇宙, 为传统林业带来了巨大的经济效益。

这种转型的实质是以信息技术突破林业工业的界限: 在横向维度上, 要与农业、制造业、服务业等多个领域进行交叉融合, 例如木材与智慧家庭等。在垂直方向上, 将资源

【作者简介】荣傲登(1988-), 女, 蒙古族, 中国内蒙古呼和浩特人, 硕士, 高级工程师, 从事信息化、大数据研究。

培植到生态服务这一完整的价值链贯穿起来,实现林业经济由单一的物质产品供给扩展到具有生态产品和文化产品供给能力的复合型经济形态。其最终目的,不单单是单纯地提高工业效率,而是要构筑数字化的“绿水青山”到“金山银山”的转换渠道,使林业在碳达峰的背景下,成为具有经济和生态双重价值的绿色增长极,带动全行业由“砍树经济”“看树经济”“碳汇经济”的三次飞跃,探索出科技赋能、生态优先、产业协同的高质量发展之路。

### 3 信息化推动林业经济转型升级的作用机制

#### 3.1 提升生产效率

随着信息技术在林业生产中的广泛运用,对生产过程进行了优化和升级,使其能够高效地实现自动化和智能化操作,极大地提高了林业生产的效率。在林木种植方面,通过传感技术,实现对土壤湿度、肥力、pH值等关键指标的实时监控,同时对空气中的温、湿、光等环境因子进行实时监控。该系统按照预先设定的参数与模型,对灌溉设备、施肥设备的操作进行自动调整,达到精确灌溉与施肥的目的,保证树木能够在最佳的环境下正常生长。与传统的人工灌水、施肥方法相比,该技术不但节约了大量的人力物力,而且化肥的使用效率也得到了很大的提高,有利于树木的健康成长。

同时,信息化技术为林下经济资源管理提供了精准化手段。通过地理信息系统(GIS)、遥感(RS)等技术,可对林地资源进行全面、动态监测,精确掌握林地面积、土壤类型、植被覆盖、地形地貌等基础信息。例如,利用高分辨率遥感影像,能够快速识别林下可利用土地资源分布,结合GIS技术进行空间分析,科学规划林下种植、养殖区域,避免资源浪费与不合理开发。同时,实时监测森林生态环境变化,如温湿度、土壤肥力等指标,为林下经济作物和养殖品种的选择提供数据支撑,优化资源配置,提高资源利用效率。

在木材生产过程中,信息技术也是必不可少的。自动生产线的运用,使木材的加工流程达到了完全的自动化,从原木的进料、切割、刨光、成型到成品的包装,在计算机控制下,对每一个步骤都进行了精密的控制,从而极大地提升了加工的精度与效率。通过大数据分析,企业能够实时监控与分析木材加工过程中存在的问题与瓶颈,并对其进行优化,从而提升企业的生产效率与产品品质。

#### 3.2 拓展市场空间

随着网络技术的快速发展,我国林业产业在时间和空间上都有了很大的突破,为我国林业产业的发展提供了广阔的国内、国际市场。利用电子商务平台,林业企业能够向世界各地的消费者提供各种类型的林产品,使消费者能够在任何时间、任何地点、任何地点进行网上浏览、选购自己所喜爱的林产品。这样一种网上销售方式,不但减少了企业的销售成本,而且提高了产品的销售效率,加快了林产品的上市

速度。有的网络平台还开设了“林产品专区”,集中了全国的高质量林产品,让用户能够很容易地对不同品牌和规格的林产品进行比较,从中选出最合适的产品。

同时,互联网也为林产品企业提供了一种精确的市场营销方式。利用大数据分析,企业能够对消费者的需求、偏好、购买行为等进行洞察,并据此制定出个性化的营销战略,实现林产品的准确推送。运用社交媒体平台对林产品的宣传与推介,以精美的图片、视频、形象的文字介绍等方式,引起网民的注意与转发,提升林产品的品牌知名度与美誉度。通过直播带货,可以让消费者对林业产品的生产工艺、特征以及使用方式有一个直接的认识,从而提高用户的购买信心和购买意愿。通过实施精确营销,可以有效地改善产品的销售效率、降低市场成本、增加产品的市场份额<sup>[1]</sup>。

#### 3.3 促进产业融合

信息技术的运用,为林业与旅游、康养、电商等产业的融合发展,促进林业产业结构优化升级,培育新的经济增长点,具有重要的现实意义。在林业和旅游业的结合上,利用信息技术建立了林业旅游的智慧。通过构建“智慧旅游”平台,实现对林业旅游资源的有效整合,为广大游客提供全面的旅游服务。利用手机APP或网页,游客可以预先获得林业风景区的景点分布、路线、门票预订、住宿、餐饮等相关资料,进行旅游规划的智能化。借助虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等技术,为旅游者提供一种身临其境的游览体验,加深对林业文化及生态的认识。利用手机导航、语音解说等技术,实现了对游客的个性化引导,提高了游客的游览感受。

随着我国林业和电子商务的不断发展,我国的林产品电商也得到了迅猛的发展。利用电子商务平台,林产品生产企业可直接与消费者进行直接的沟通,从而减少了中间环节,降低了营销费用,增强了产品的价格竞争力。同时,电子商务平台也可以为林业企业提供品牌推广、营销策划以及物流配送等一站式的服务,以提高企业的市场运作水平。此外,借助大数据分析,电商平台能够为林产品生产企业提供市场需求预测、产品研发建议,从而促进林产品产业的创新与升级。部分电商平台也推出了“溯源”服务,利用二维码等科技手段,使消费者能够追踪到林产品的生产全过程及产地,提升消费者对林产品的信任度。

### 4 信息化背景下林业经济转型升级面临的问题

#### 4.1 技术普及不到位

①由于技术普及不到位,使得信息工具的功能没有得到很好的发挥。然而,受技术水平的制约,许多地区仍依靠传统的手工测量手段,无法满足高精度、实时性等要求。这给科学的决策和合理分配资源带来了困难。②推广力度不够,制约了林业经营效益的提高。利用现代化的信息技术,可以对林木的生长和采伐过程进行数字化监测。很多林场和

林业部门缺少对信息技术的应用进行必要的培训以及科学的管理程序,不能有效地利用资源,还会产生一系列的环境问题。③推广力度不足,使我国林业经济陷入转型困境。在林产品品质与环境保护需求不断提升的背景下,信息技术能够为林业产业注入新的活力,使其由传统的规模扩张向品质提升。但是,由于对信息化的理解与运用不足,很多林业企业很难跟上市场的发展,不能很好地发挥数字化、智能化的优势,这就成为我国林业产业升级的瓶颈。

## 4.2 数据缺乏安全性

①数据泄漏、窃取等问题日趋严重。随着我国林业信息化建设的不断深入,林业资源调查、生态环境等方面的数据量也在不断增加。然而,由于缺乏有效的数据保密措施,其数据易被黑客攻击、泄漏、盗用等,给个人隐私造成了极大的危害,也给林业经济带来了不公平的竞争与损失。②数据篡改、虚假信息等问题越来越突出。林业数据是政府决策、资源管理等领域的重要组成部分,若没有对其进行有效的保护与验证,则会导致其遭受篡改。在林业生态系统中,由于信息不实,容易造成决策失误,导致资源浪费。③数据隐私保护的缺失,将引起广泛的社会争议。随着信息技术的发展,人们越来越多地关心个人与企业的数据隐私。同时,在林业数据采集与使用过程中,也要遵守隐私权的基本原则,以免引起社会怀疑,引起法律与社会争议,给林业经济带来不利影响<sup>[2]</sup>。

# 5 信息化背景下林业经济转型升级的对策建议

## 5.1 整合资源共享

### 5.1.1 建立林业信息共享平台

建立林业信息共享平台能够对林业资源的分布情况、生长状态、气候变化等信息进行整合,并对林业的相关政策、法律、市场需求等进行分析。通过数字技术,将上述数据集成为一个平台上,并提供方便的查询与分析工具,便于各个环节的从业人员能够更好地获得与使用这些数据,进而进行最优的决策与资源配置。

### 5.1.2 促进林业产业链各环节的协同合作

在信息化时代,林业不再是一种独立的产业,它与木材加工、生态旅游和环境保护等领域紧密相连。因此,加强各环节之间的协作就显得尤为重要。通过信息、资源、技术的共享,可以将林产品经营、生产加工、销售、销售等环节进行无缝连接,提升整个行业的综合效益与价值。

### 5.1.3 培育跨部门合作,加强产业联盟

随着信息技术的不断发展,我国林业经济的转型与发展,需要各行业、各行业的大力配合。政府、科研院所、企业、社会团体等可通过合作建立行业联盟,共同制订发展计划、技术标准,实现科研成果与资源的共享,达到资源的整合与优势互补,实现了以创新为动力的林业产业向现代化产业转型的目标。

## 5.2 强化保护措施

### 5.2.1 加强数据加密,强化存储安全

在信息化条件下,林业中存在着海量的数据,包括敏感信息等。通过对数据进行加密处理,保证了在存储、传输等各个环节都受到了很好的保护,即便是发生了窃取、泄漏等事件,也可以保证数据的安全。

### 5.2.2 建立健全的权限管理,完善访问控制制度

不同角色的从业者在林业信息系统中可能具有不同的数据访问需求。通过建立严格的权限管理机制,可以确保只有经过授权的人员才能够访问特定的数据和功能,从而降低未经授权的访问和滥用的风险。

### 5.2.3 加强数据监测,积极修补漏洞

及时监测数据流动和系统运行,发现异常情况和潜在威胁,可更早采取应对措施,防止数据安全问题扩大。定期检测和修补系统漏洞,保障系统的稳定性和安全,对于林业信息系统的长期运行至关重要<sup>[3]</sup>。

## 6 结语

随着我国林业信息化和经济的不断深入,科技创新已经成为突破传统发展瓶颈的重要力量。从基于物联网的森林资源实时监控到基于大数据的林业产业发展规划的精确决策支持,信息技术正在以多维度、多层次的视角重新构建森林经济运行的深层逻辑。这种改变不仅仅表现在通过智能灌溉、无人机巡逻等手段对资源进行精细管理的同时,也促进了产业模式的创新和发展,如林业碳汇交易、林业数字化旅游等,使传统林业在数据的驱动下获得了新生。

## 参考文献

- [1] 刘多敏,吴志培.林业信息化技术在林业经济发展中的应用研究[J].河南农业,2025(06):52-54.
- [2] 黄艳丽.林业信息化在林业经济发展中的作用及优化措施[J].农村科学实验,2024(17):140-142.
- [3] 严少勇.林业信息化在林业经济发展中的作用分析[J].农村科学实验,2024(11):145-147.

# Intelligent fire protection: Research on innovative application of AI technology in the field of fire protection

Chuangnan Wu

Luohu District Fire Rescue Brigade, Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

With the rapid advancement of artificial intelligence (AI) technology, its applications across various sectors are expanding. This paper aims to explore how AI can enhance fire safety efforts, analyzing its use in fire prevention, alarms, and rescue operations, as well as the challenges and strategies to address these issues, to provide insights for the intelligent development of the fire protection industry. In terms of fire prevention, AI can leverage computer vision and multi-source IoT sensor data to intelligently identify and predict risks such as fire lane occupancy and electrical hazards, thereby enhancing proactive prevention capabilities. For fire alarms, by integrating multi-sensor data and using convolutional neural network models for flame recognition, the false alarm rate can be significantly reduced to less than 5%, and early fire detection can be achieved. Additionally, dynamic path planning technology is used to optimize intelligent evacuation guidance, forming a collaborative network of intelligent agents, which greatly improves rescue efficiency and personnel safety.

## Keywords

artificial intelligence; fire work; fire prevention; fire alarm; fire rescue

## 智能消防：AI技术在消防领域的创新应用研究

吴创南

罗湖区消防救援大队，中国·广东深圳518000

## 摘要

随着人工智能（AI）技术的飞速发展，其在各个领域的应用日益广泛。本文旨在探讨如何利用AI技术推动消防工作的开展，分析AI技术在火灾预防、火灾报警、灭火救援等方面的应用，以及面临的挑战和应对策略，以为消防领域的智能化发展提供参考。在火灾预防层面，基于计算机视觉与多源物联网传感器数据，实现对消防通道占用、电气火灾隐患等风险的智能识别与预测预警，有效提升主动防控能力；在火灾报警层面，通过多传感器融合分析与卷积神经网络火焰识别模型，显著降低误报率（<5%）并实现早期火灾精准探测，结合动态路径规划技术优化智能疏散引导构建智能体协同网络，大幅提升救援效率与人员安全性。

## 关键词

人工智能；消防工作；火灾预防；火灾报警；灭火救援

## 1 引言

消防工作是保障人民生命财产安全和社会稳定的重要任务。传统的消防工作主要依赖于人力和经验，存在效率低下、响应迟缓、信息不准确等问题。近年来，AI技术在图像识别、数据分析、智能决策等方面取得了显著进展，为消防工作的智能化转型提供了可能。将AI技术应用于消防领域，可以提高火灾预防的精准性、火灾报警的及时性和灭火救援的高效性，推动消防工作向智能化、现代化方向发展。

## 2 AI技术在火灾预防中的应用

### 2.1 火灾隐患排查

AI技术可以通过对大量消防设施、电气设备等图像数据的学习和分析，自动识别潜在的火灾隐患。例如，利用卷积神经网络（CNN）对消防栓、灭火器等设施的图像进行识别，判断其是否损坏、过期等；通过对电气线路的图像分析，检测是否存在线路老化、短路等隐患。这种方式不仅提高了隐患排查的效率，还能避免人为因素导致的遗漏和误判。

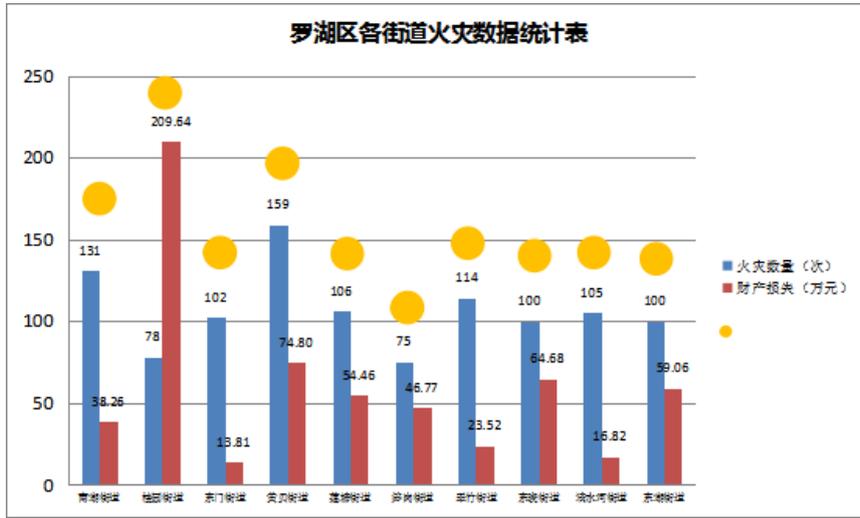
### 2.2 火灾风险预测

基于大数据分析和机器学习算法，AI可以对火灾发生的概率进行预测。通过对历史火灾数据、气象数据、人口密度等多维度数据的综合分析，建立火灾风险预测模型。例如，

【作者简介】吴创南（1981-），男，中国广东汕头人，本科，中级专业技术职务，从事计算机、信息通信研究。

在城市规划中，根据建筑物的分布、用途以及周边环境等因素，预测不同区域的火灾风险等级，为消防资源的合理配置

提供依据。同时，还可以对特定场所（如工厂、仓库等）的火灾风险进行实时评估，及时采取预防措施。



### 3 AI 技术在火灾报警中的应用

#### 3.1 智能视频监控报警

传统的火灾报警系统主要依赖于烟雾传感器、温度传感器等设备，存在误报、漏报等问题。AI 智能视频监控系统可以通过对监控视频的实时分析，准确识别火灾特征。例如，利用目标检测算法检测火焰和烟雾的形状、颜色、运动轨迹等特征，当发现异常时及时发出报警信号。此外，智能视频监控还可以实现对监控区域的全方位覆盖，提高火灾报警的及时性和准确性。

#### 3.2 智能传感器融合报警

将多种传感器（如烟雾传感器、温度传感器、气体传感器等）与 AI 技术相结合，实现传感器数据的融合分析。AI 算法可以根据不同传感器的数据特点，进行权重分配和综合判断，提高火灾报警的可靠性。例如，当烟雾传感器检测到烟雾，同时温度传感器检测到温度异常升高，且气体传感器检测到可燃气体浓度超标时，AI 系统可以综合判断为火灾发生，发出报警信号并自动启动灭火设备。

### 4 AI 技术在灭火救援中的应用

#### 4.1 智能辅助决策系统

在灭火救援现场，消防指挥员需要快速做出决策，选择最优的灭火方案和救援路径。AI 智能辅助决策系统可以为指挥员提供实时的火灾现场信息和决策支持。例如，通过对火灾现场的图像、视频、传感器数据等进行分析，构建火灾现场的三维模型，预测火势蔓延趋势，为指挥员提供最佳的灭火策略和人员疏散方案<sup>[1]</sup>。同时，系统还可以根据现场情况的变化实时调整决策，提高灭火救援的效率和安全性。

#### 4.2 智能救援机器人

AI 智能救援机器人可以在复杂危险的火灾现场代替消防人员执行一些高风险任务。例如，进入火灾现场进行侦察、

灭火、救援等操作。机器人搭载的摄像头和传感器可以实时将现场情况传输给指挥中心，AI 系统可以根据这些数据进行分析 and 决策。此外，机器人还可以通过语音识别和合成技术与被困人员进行交流，安抚他们的情绪，指导他们进行自救。

#### 4.3 智能个人防护装备

为消防人员配备智能个人防护装备，如智能头盔、智能服装等，可以实时监测消防人员的生命体征和周围环境情况<sup>[2]</sup>。智能头盔配备的 AR（增强现实）技术可以为消防人员提供现场的火势分布、逃生通道等信息，帮助他们更好地进行救援工作。智能服装中的传感器可以监测消防人员的心率、体温、氧气浓度等指标，当出现异常时及时发出警报，保障消防人员的生命安全。

### 5 AI 技术在消防培训与演练中的应用

#### 5.1 虚拟现实（VR）与增强现实（AR）培训

利用 VR 和 AR 技术创建逼真的火灾场景，让消防人员在虚拟环境中进行培训和演练。AI 系统可以根据不同的火灾场景和人员操作情况，实时调整场景难度和提供反馈指导。例如，在 VR 培训中，消防人员可以学习如何使用各种灭火器材、如何进行人员疏散等操作，系统可以根据其操作的准确性和速度进行评分和指导。AR 技术则可以在实际演练中为消防人员提供实时的信息提示和操作指导，增强培训效果。

#### 5.2 智能模拟演练系统

AI 智能模拟演练系统可以模拟不同类型的火灾事故和救援过程，为消防队伍提供全面的演练方案。系统可以根据实际需求生成多样化的火灾场景，包括火灾发生的地点、火势大小、人员分布等信息。在演练过程中，AI 系统可以实时监测消防人员的操作情况，记录演练数据，并对演练结

果进行评估和分析,为改进训练方法和提高救援能力提供依据。

## 6 AI 技术在消防工作中面临的挑战与应对策略

### 6.1 数据安全和隐私保护

AI 技术在消防工作中的应用需要大量的数据支持,包括个人隐私数据、企业商业数据等。数据的安全与隐私保护至关重要<sup>[3]</sup>。一方面,要建立健全的数据安全管理制度,加强对数据采集、存储、传输等环节的加密和访问控制;另一方面,要明确数据使用的权限和范围,确保数据仅用于消防工作相关的合法目的。

### 6.2 技术可靠性与稳定性

AI 技术本身还处于不断发展和完善的过程中,存在一定的不确定性。在消防工作中,AI 系统的可靠性与稳定性直接关系到人民生命财产安全。因此,需要加强对 AI 技术的研究和测试,提高算法的准确性和鲁棒性。同时,要建立完善的备份和应急机制,当 AI 系统出现故障时,能够及时切换到传统消防手段,确保灭火救援工作的正常进行。

### 6.3 人员素质与技术应用能力

消防人员对 AI 技术的理解和应用能力直接影响到其在消防工作中的效果。目前,部分消防人员对 AI 技术的认知有限,操作和维护 AI 设备存在困难。因此,要加强消防人员的 AI 技术培训,提高他们的技术应用水平和应急处理能力。同时,在引进 AI 技术时,要充分考虑其操作的简便性和实用性,降低使用门槛。

### 6.4 系统集成与标准化问题

在消防领域应用 AI 技术,涉及多个系统和平台的集成,其中包括消防设施系统、报警系统、通信系统、数据库系统等。这些系统分属不同的厂商和部门,采用的技术架构、数据格式、接口规范各不相同,如何实现各个系统之间的互联互通和数据共享,是一个重要的挑战。

目前,消防行业内缺乏统一的 AI 技术标准和规范,不同厂商和部门开发的 AI 消防系统可能存在兼容性问题,导致数据无法有效流通,系统之间难以协同工作。这不仅影响了 AI 技术在消防领域的推广应用,也制约了智慧消防的整体发展水平。

因此,亟需加强消防行业内部的协调合作,制定统一的 AI 消防技术标准体系。要从数据采集、数据存储、数据传输、数据处理等环节入手,规范数据格式、数据接口、通信协议等,确保不同系统之间的数据可以无缝对接和交互。同时,要建立统一的技术架构和开发规范,为 AI 消防系统的设计、开发、测试、部署提供指导,提高系统的可靠性、安全性、可维护性。

在此基础上,还要推动形成开放共享、合作共赢的智慧消防生态环境。鼓励不同厂商、不同部门加强合作,共同

研发符合行业标准的 AI 消防解决方案。支持科研机构、高校等开展 AI 消防基础理论和关键技术攻关,为行业发展提供持续动力。营造良好的产业生态,促进大中小企业协同发展,推动 AI 消防技术的创新应用。

### 6.5 成本投入与资源配置

引进和应用 AI 技术需要大量的资金投入,包括硬件设备采购、系统开发、人员培训等。而消防部门普遍存在预算有限、投入不足的问题,尤其是基层消防队伍。因此,要科学规划 AI 消防项目,合理控制投资规模,避免盲目跟风、重复建设等问题。可以采取政府引导、社会参与的方式,鼓励社会资本参与智慧消防建设。同时,要优化消防资源配置,将有限的人力物力投入到最需要的领域,实现 AI 技术与传统消防力量的有机结合、优势互补。在资金紧张的情况下,可以先在火灾高风险区域和重点防控对象开展 AI 消防应用试点,总结经验后再逐步推广。

### 6.6 法律法规与监管框架

AI 技术在消防领域的应用涉及数据采集、隐私保护、事故责任认定等法律问题。目前相关的法律法规和监管政策还不完善,存在监管真空和灰色地带。一方面,要加快制定出台 AI 消防应用相关的法律法规,明确各方的权责边界,为技术应用提供法制保障。如出台《智慧消防管理条例》,规范 AI 技术在消防领域的应用行为。另一方面,要建立健全的监管机制,加强对 AI 消防系统的监管和审核,防止出现算法失控、系统故障等问题。如成立智慧消防监管委员会,负责制定技术标准、系统评估、事故调查等工作。同时,要建立 AI 消防系统的安全评估和事故追责机制,确保各方主体切实履行责任,维护消防工作的有序开展。

## 7 结论

AI 技术在消防领域的应用具有广阔前景。通过在火灾预防、火灾报警、灭火救援以及培训演练等方面的应用,可以显著提高消防工作的智能化水平和效率,更好地保障人民生命财产安全。然而,在推广应用过程中,也要重视数据安全、技术可靠性以及人员素质等挑战,采取有效的应对策略,确保 AI 技术在消防工作中健康、稳定、可持续地发展。未来,随着 AI 技术的不断创新和完善,其必将在消防领域发挥更加重要的作用,为构建更加安全、智能的社会环境提供有力支持。

### 参考文献

- [1] 陈琛. 人工智能技术在消防监督工作中的应用[J]. 高科技与产业化, 2022(06): 45-47.
- [2] 杜海峰. 安全监管人员要提升驾驭AI的能力[J]. 中国应急管理, 2025(03): 15-16.
- [3] 黄鑫炎. AI驱动下智慧消防的研究进展[J]. 消防技术与产品, 2024(10): 22-25.

# Research on the sorting problem of cargo location operations based on improved bottle sea sheath group algorithm

Zijian Tan

School of Automation, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu, 210094, China

## Abstract

This article proposes an improved bottle sea sheath group algorithm to solve the problem of cargo location allocation. Firstly, a single objective optimization mathematical model is constructed with the goal of minimizing the total transportation distance. Based on the tunica swarm algorithm, an improved tunica swarm algorithm is proposed. This algorithm uses the best point set method to initialize the population, making the initial population more evenly distributed in the solution space, and optimizes the population fitness value through differential evolution algorithm to improve local development ability. Finally, the Cauchy reverse learning strategy is applied to expand the search range and increase convergence accuracy. Experiments have shown that compared with the tunica swarm algorithm and other optimization algorithms, the improved tunica swarm algorithm has stronger global search capabilities and significantly reduces the total transportation distance of the cargo sorting scheme.

## Keywords

cargo location operation sorting; bottle sea sheath group algorithm; Collection of highlights; Differential Evolution Algorithm; Cauchy Reverse Learning

# 基于改进樽海鞘群算法的货位作业排序问题研究

谈子健

南京理工大学自动化学院, 中国 · 江苏 南京 210094

## 摘要

本文提出了一种改进樽海鞘群算法解决货位分配问题。首先以最小化运输总路程为目标构建单目标优化数学模型, 基于樽海鞘群算法, 提出改进樽海鞘群算法。该算法采用佳点集法初始化种群, 使初始种群在解空间中分布更均匀, 并且通过差分进化算法优化种群适应度值, 提升局部开发能力, 最后运用柯西反向学习策略扩大搜索范围, 增加收敛精度。实验表明, 与樽海鞘群算法及其他优化算法相比, 改进樽海鞘群算法的全局搜索能力更强, 显著降低了货位作业排序方案的运输总路程。

## 关键词

货位作业排序; 樽海鞘群算法; 佳点集; 差分进化算法; 柯西反向学习

## 1 引言

货位作业排序问题是指通过规划货物的上架搬运顺序, 最大限度减少仓库作业人员无效的行走距离, 缩短运输总路程。合理的货位作业排序能够提高仓库作业人员的上架效率, 降低人力成本, 提高经济效益。该问题可视为旅行商问题, 属于经典的非确定性多项式完全问题<sup>[1]</sup>。对于旅行商问题, 常见的求解方法包括精确算法和启发式算法。精确算法包括分支界定法、回溯法以及动态规划等, 此类方法求解精度高, 但仅适用于数据量较小、模型简单的情况。相比之下, 启发式算法能够在较短时间内获得接近全局最优解的近似解, 是解决旅行商问题的重要方法。

樽海鞘群算法是一种新兴的启发式算法<sup>[2]</sup>, 该算法模

拟了樽海鞘群体在海洋中以链式结构觅食的行为, 具有计算效率高、适应性强等特点, 因此选择樽海鞘群算法作为求解货位作业排序问题的基础算法。然而, 樽海鞘群算法也存在一定的局限性, 该算法存在收敛精度下降、局部开发能力弱等问题, 本文针对这些问题进行改进, 提高算法在解决货位作业排序问题时的性能。

## 2 樽海鞘群算法及改进

### 2.1 樽海鞘群算法

樽海鞘群算法 (Salp Swarm Algorithm, SSA) 是一种启发式全局优化算法, 由 Seyedali Mirjalili 等人于 2017 年提出。其灵感来源于樽海鞘群体的觅食行为, 通过模拟樽海鞘的聚集和分散过程来寻找问题的最优解。

SSA 属于群体智能优化算法, 通过个体 (樽海鞘) 之间的协作与竞争实现全局搜索。算法将种群分为领导者和跟随者, 领导者负责探索解空间, 引导群体向最优解移动。跟随者根据领导者的位置更新自身位置, 逐步逼近最优解。同

【作者简介】谈子健 (2000-), 男, 中国安徽池州人, 硕士, 从事仓储优化研究。

时 SSA 算法通过调整参数（如搜索步长）平衡全局探索与局部开发能力。SSA 算法步骤主要包括初始化种群、计算适应度、更新位置以及迭代优化。

### 2.2 樽海鞘群算法 + 佳点集 + 差分进化算法 + 柯西反向学习

佳点集由华罗庚<sup>[3]</sup>提出，其基本定义为： $G_s$  设是  $S$  维欧式空间中的单位立方体，若  $r \in G_s$ ，形为  $P_n(k) = \{(\{r_1^{(n)} * k\}, \{r_2^{(n)} * k\}, \dots, \{r_s^{(n)} * k\}), 1 \leq k \leq n\}$ ，其偏差  $\varphi(n)$  满足  $\varphi(n) = C(r, \varepsilon)n^{-1+\varepsilon}$ ，其中： $C(r, \varepsilon)$  是一个只与  $r$  和  $\varepsilon$  ( $\varepsilon$  为任意的正数) 相关的常数，那么称  $P_n(k)$  为佳点集， $r$  为佳点。若取  $r = \{2\cos(2\pi k/p), 1 \leq k \leq s\}$  ( $p$  为满足  $(p-3)/2 \geq s$  的最小素数)，则  $r$  为佳点。通过佳点集初始化种群，可以产生分布更均匀的种群。

差分进化算法 (Differential Evolution, DE) 是一种基于群体智能的优化算法，由 Storn 和 Price 于 1995 年首次提出<sup>[4]</sup>。该算法因其控制参数少、鲁棒性强、搜索能力好、收敛快等优点，经常将其与其他智能算法相结合来进行优化，通过将差分进化算法的变异、交叉、选择操作融入樽海鞘群算法，可以提高算法的局部开发能力。

柯西反向学习<sup>[5]</sup>是一种能够扩大种群搜索范围的方法，通过柯西反向学习的方法产生柯西反向种群，然后将反向种群与当前种群进行合并，最后在合并种群中，通过适应度值评估筛选出适应度值更优的一半个体作为新的种群，有效提高算法的收敛精度。

## 3 实验过程介绍

### 3.1 货位作业排序模型建立

以某平面仓库建立模型，仓库平面布局图如图 1 所示，布局设施包括出入库周转区、门禁系统、货物地摊区以及货架存储区。在图 1 中，货架巷道间距为 1.5m。单排货架共有 24 个货位，横向有 6 个货位，纵向有 4 个货位。货架长 6 米、宽 0.6 米、高 2 米。根据仓库平面布局图与货架参数可知，整体货架布局为 10 排、6 列、4 层，共计 240 个货位。在货位三维坐标系中，以 (a, b, c) 表示货位的坐标，其中 a 代表排数，b 代表列数，c 代表层数。

根据该平面仓库建立货位作业排序模型，如公式 (1) 所示。

$$\begin{cases} \min f(\vec{x}) = \sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=0}^{n+1} h_{ij} y_{ij} \\ \sum_{i=1}^n y_{ij} = 1, \forall j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n y_{ij} = 1, \forall i = 1, 2, \dots, n \\ i \neq j \end{cases} \quad (1)$$

其中， $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  表示解向量， $x_n$  表示第  $n$  个进行上架作业的货位序号， $\vec{x}$  确定的搬运顺序为起点  $-x_1-x_2-\dots-x_n$ -终点。 $y_{ij} \in \{0, 1\}$ ，当解向量  $\vec{x} = (\dots, i, j, \dots)$  时， $y_{ij} = 1$ ，表示仓库作业人员从货位  $i$  前往货位  $j$  进行作业，否则  $y_{ij} = 0$ 。 $h_{ij}$  表示货位  $i$  和货位  $j$  之间的距离， $h_{ij}$  与两个货位是否在同一排货架以及两者之间运输路线的选择相关，因此需要对  $h_{ij}$  进行分类讨论，如公式 (2) 所示。

$$h_{ij} = \begin{cases} d|b_i - b_j| + f|c_i - c_j|, a_i = a_j \\ \min(|b_i + b_j|, |2B + 2 - b_i - b_j|)d + (l + e)|a_i - a_j| + f|c_i - c_j|, a_i \neq a_j \end{cases} \quad (2)$$

其中， $d$  表示单个货位的长度， $f$  表示单个货位的高度， $a$  表示货物所在货位对应的排， $b$  表示货物所在货位对应的列， $c$  表示货物所在货位对应的层， $B$  为单排货架总列数， $l$  为货架巷道间距， $e$  为单个货位宽度。

需要进行货位作业排序的货位信息，如表 1 所示。

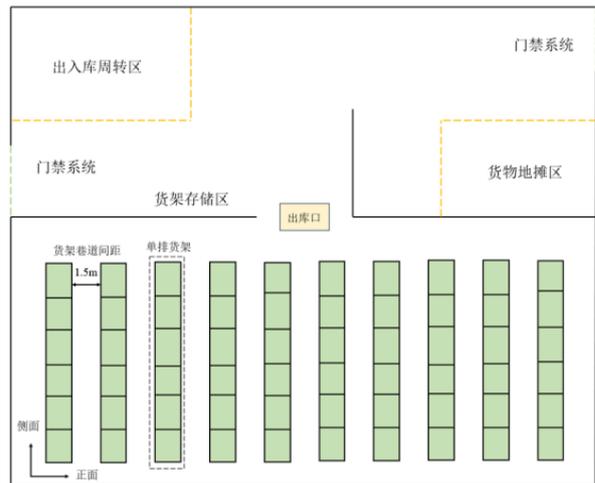


图 1 仓库平面布局图

表 1 货位信息表

货物名称	序号	货位号	排	列	层
防割手套	1	9	1	3	1
防割手套	2	13	1	4	2
警用多功能腰带	3	34	2	3	2
警用多功能腰带	4	42	2	5	2
强光手电筒	5	57	3	3	1
警用制式刀具	6	86	4	4	2
警用制式刀具	7	89	4	5	1
防弹衣	8	101	5	2	1
防弹衣	9	105	5	3	1
防弹衣	10	110	5	4	2
防弹衣	11	117	5	6	1
警棍	12	129	6	3	1
防爆服	13	178	8	3	2
防爆服	14	182	8	4	2
防爆服	15	185	8	5	1
防爆服	16	189	8	6	1

### 3.2 实验环境及结果

#### 3.2.1 实验环境

为了测试改进樽海鞘群算法 (ISSA) 的性能, 将 ISSA 算法与 SSA 算法、粒子群算法 (Particle Swarm Optimization, PSO)、遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 以及黏菌算法 (Slime Mould Algorithm, SMA) 在货位作业排序模型上进行实验, 本实验在 MATLAB2021b 上进行, 程序运行环境为: 操作系统 Windows11, 64bit, CPU 主频 3.20GHz, 内存 16GB。相关算法的参数设置如表 2 所示。

表 2 算法参数设置

算法	主要参数
ISSA	$N = 50, T = 500, CR = 0.95, J_r = 0.95$
SSA	$N = 50, T = 500$
PSO	$N = 50, T = 500, c_1 = 2, c_2 = 2$
GA	$N = 50, T = 500, p_c = 0.8, p_m = 0.05$
SMA	$N = 50, T = 500, z = 0.03$

#### 3.2.2 实验结果分析

根据上文数据和参数设置进行实验仿真对比, 令不同算法独立运行 20 次, 采用运输总路程来分析各算法性能的优劣, 分别计算该指标的最小值 (Min)、平均值 (Mean) 和标准差 (Std)。为了突出结果, 最优的运输总路程用黑色粗体字标出, 表 3 展示了不同算法的性能对比。

从表 3 中可以看出, 与对比算法相比, ISSA 算法的最小运输总路程为 80.4m, 分别下降 10.7%、13.08%、16.07% 以及 3.60%, 这说明 ISSA 算法得到了最优的货位作业排序方案。ISSA 算法的平均运输总路程为 81.42m, 分别下降 11.99%、13.26%、17.61 以及 4.34%, 这说明 ISSA 算法得到的 20 次货位作业排序方案总体更好。ISSA 算法的标准差为 0.8497, 分别下降 24.41%、14.87%、40.66% 以及 16.79%, 这说明 ISSA 算法每次运行得到的货位作业排序方案偏差不大, 算法的稳定性表现更好。

表 3 不同算法的性能对比

指标	算法	Min	Mean	Std
运输总路程	ISSA	80.4	81.42	0.8497
	SSA	90.1	92.51	1.1242
	PSO	92.5	93.87	0.9981
	GA	95.8	98.82	1.4321
	SMA	83.4	85.12	1.0211

为直观展示不同算法的收敛情况, 图 3 展示了不同算法在测试案例上的收敛曲线。

从图 3 可以看出, 在迭代初期, 与对比算法相比, ISSA 算法的收敛速度更快, 这是因为 ISSA 算法通过佳点集法初始化种群, 初始种群具有很好的均匀性, 因此能够快

速向有希望的区域移动。在迭代中后期, ISSA 算法通过差分进化算法提高了局部开发能力, 并利用柯西反向学习扩大了搜索范围, 增强了算法的全局搜索能力, 获得了更好的货位作业排序方案。

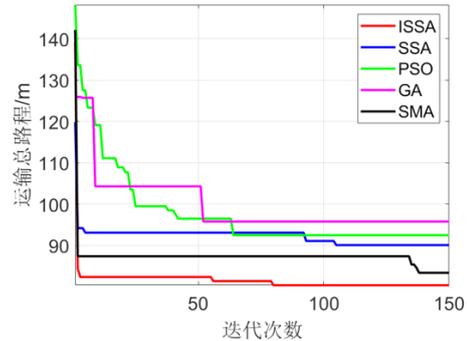


图 3 不同算法在测试案例上的收敛曲线

通过对 ISSA 算法的最优解向量进行降序排序并提取其索引值, 得到最终的解向量为  $\bar{x} = (2,1,3,4,5,6,7,11,10,9,8,12,13,14,15,16)$ 。

### 4 结语

综上所述, 本文对货位作业排序问题进行分析, 构建了相应的数学模型。使用 SSA 算法作为求解货位作业排序问题的基础算法, 但考虑到 SSA 算法存在易早熟收敛而陷入局部最优、收敛精度下降等问题, 对其进行了改进, 提出一种 ISSA 算法。ISSA 算法使用佳点集法初始化种群, 产生均匀性更好的初始种群, 避免算法早熟收敛, 同时对种群进行变异、交叉和选择操作优化种群适应度值, 增强算法的局部开发能力, 最后采用柯西反向学习更新种群, 扩大种群的搜索范围, 提升算法的收敛精度。最终在货位作业排序测试案例上的实验表明, ISSA 算法获得全局最优解的能力更强, 能够得到更好的货位作业排序方案。

### 参考文献

- [1] 刘奇鑫. 求解旅行商问题的改进烟花算法[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2023.
- [2] Mirjalili S, Gandomi A H, Mirjalili S Z, et al. Salp swarm algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems[J]. Advances in Engineering Software, 2017, 114: 163-191.
- [3] 华罗庚, 王元. 数论在近代分析中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1978..
- [4] Storn R, Price K. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces[J]. Journal of Global Optimization, 1997, 11: 341-359.
- [5] 冯文涛, 邓兵. 一种基于交叉选择的柯西反向鲸鱼优化算法[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(8): 131-137.

# The Application of Big Data and Precise Marketing Strategies in Rail Transit Passenger Transport Marketing

Lisi Dong Yingchun Wang

Urumqi Urban Rail Transit Group Operation Branch, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

## Abstract

Against the backdrop of rapid urbanization and intelligent transportation construction, the rail transit passenger transport market has entered an important stage of digital transformation. The average annual passenger volume is relatively high, with a huge number of passengers, containing massive travel behavior data. With the increasing demand for personalized and diversified travel by modern passengers, traditional extensive management methods are no longer able to meet the personalized and diversified travel needs of modern passengers, and there is an urgent need to use big data for accurate marketing transformation. In this context, exploring the innovative application of big data in the rail transit passenger transportation market and establishing a refined marketing system based on big data has significant practical significance for improving operational efficiency and enhancing passenger experience.

## Keywords

Rail Transit; Passenger transportation marketing; Big data applications; Accurate marketing

## 轨道交通客运营销中的大数据应用与精准营销策略

董丽思 王迎春

乌鲁木齐城市轨道交通集团运营分公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

## 摘要

在快速城镇化与智能交通建设的背景下, 轨道交通客运市场进入了一个向数字化转型的重要阶段。年均客运量较高, 乘客数量巨大, 蕴含海量的出行行为数据。随着现代旅客日益增长的个性化和多样化出行需要, 传统的粗放经营方式已经很难适应现代旅客的个性化和多样化出行需要, 迫切需要利用大数据进行准确的营销转变。在这一背景下, 挖掘大数据在轨道交通客运市场中的创新性运用, 建立以大数据为基础的精细化市场营销系统, 对于提高运营效率和提升旅客体验有着十分重大的现实意义。

## 关键词

轨道交通; 客运营销; 大数据应用; 准确营销

## 1 引言

目前, 轨道交通企业已经进入了数字化变革的关键期, 但是根据产业调查, 当前在营运企业中系统性地运用大数据的只有 30%, 其数据的利用潜力还很大。在《智慧城市轨道交通发展纲要》的推动下, 到 2025 年, 90% 的城市地铁运营企业都将实现智能化乘客数据的采集与处理。因此, 研究基于大数据的精确营销方法, 对于提高企业运作效率和提升服务质量, 有着重大的实践价值。

## 2 轨道交通客运营销中的大数据应用与精准营销关联性

大数据应用和精准营销在轨道交通客运市场营销中具有非常密切、互相促进的关系。大数据是实现精准营销的重要手段, 也是实现精准营销的重要手段。轨道交通每天都会产生大量的乘客出行数据, 其中包含乘客的出行时间、出行路径、支付方式和换乘行为等。通过对这些数据的收集、整理与分析, 可以揭示出旅客的出行习惯、偏好和潜在的需求。精准营销就是根据这些分析结果, 对不同的旅客群体进行个性化的营销。如通过分析乘客出行时间, 识别通勤族和休闲者, 并在此基础上, 提出工作日优惠方案, 并针对休闲旅行者推出周末或节假日旅游线路折扣。这种基于大数据的精准营销, 可以有效地提高营销的针对性与成功率, 避免“一刀切”式的营销方式带来的资源浪费与效果低下。与此同时, 精准营销的实施也将进一步丰富大数据的内涵。两者之间形成良性循环, 促进轨道交通客运市场向更高效率、更个性化、

【作者简介】董丽思(1985-), 女, 中国河北保定人, 本科, 工程师, 从事轨道交通客运服务、智慧车站建设、客运营销研究。

更适应市场需求的方向发展,提高旅客满意度,提高运营企业经济效益。

### 3 大数据技术在客运营销中的创新应用

#### 3.1 客流特征分析与需求挖掘

地铁自动售检票系统中大量的购票信息是乘客行为研究的重要依据。采用 MapReduce (《城市轨道交通自动售检票系统技术规范》,GB/T 35678-2021),以 Hadoop(Hadoop 是由 Apache 基金会开发的一个开源框架,用于处理和存储大规模数据集。)为基础,搭建一套日均高达 2000 多万次的乘客流量数据分析系统。在实际应用中,先需要清理并去除超时滞留、逆向乘车等异常行为,进而利用 DBSCAN (DBSCAN 算法的核心思想是基于密度来定义聚类。它通过识别数据点的密度连接性,将高密度区域划分为簇,同时将低密度区域视为噪声。)聚类方法对其进行特征性分析。北京轨道交通大数据研究显示,上班时上下班高峰期出行人数达到 63%,且有 28% 的旅客选择在转乘点进行购物。多源信息的融合要求将无线探头、视频监控和手机信令等多种信息集成在一起,利用卡尔曼滤波器实现多种高精度位置信息在地理信息系统中的集成。以上海地铁为研究对象,构建综合考虑基本特征(性别比例、年龄分布)、行为特征(平均出行距离、换乘次数)、消费偏好(便利店消费偏好、餐饮消费频率)等 27 项特征标记。本项目拟以随机森林为基础,通过引入 12 项要素(如到达时间、离开地点、停留时长),并与 POI(兴趣点)信息相融合,实现对交通需求(如:通勤、购物、就医等)的判定。广州轨道交通利用这一新方法,在周末与商圈相邻的站点上,其客流量比平日增加 140%,从而对其进行了广告宣传<sup>[1]</sup>。

#### 3.2 动态票价与收益管理

根据《城市轨道交通客运组织与服务规范》GB/T 38374-2022,高峰期实行差别收费,需要构建精细的客流量预报模型,利用 LSTM 神经网络对过去 7 日的旅客流量进行时间序列分析,并将其误差小于 5%。深圳地铁于周一(7:30-9:00)实行每日早高峰时段(7:30-9:00)的票价动态调整,并在基本票价基础上增加 20%,并实行“提早 30 分钟乘车享受 8 折”的错峰政策,实现高峰客流平峰化效应达到 12%。在此基础上,以增强学习方法为基础,综合交通拥堵程度(列车载客率)、天气(降雨概率)、特殊事件(重大事件)等 15 个影响因子,采用 Q 学习方法对打折政策进行不断的优化。成都地铁在春节假期实施了“空车折扣”计划,即在全座率不到 60% 的情况下,主动启动 10% 的机票价格,提高了 8 个百分点的运力使用率。以城市轨道交通、公共汽车和公共自行车为研究对象,运用协作对策原理,建立 6 种出行模式下的综合成本方程,并利用沙普利价值计算进行利益共享。北京实行“铁路+公共汽车”专线客运专线后,每天的转乘率提高了 23%,旅客的平均路程减少了 18 分钟。

在上海,“Metro 大都会”APP 已经和滴滴和美团等 8 家电商平台进行了互联<sup>[2]</sup>。

#### 3.3 商业资源精准投放

基于协作过滤的站点内投放位置的智能匹配方法,通过对用户画像和广告的特征矢量进行相似性分析,获得 82% 的准确率 CJJ/T282—2021《城市轨道交通商业设施规划标准》。其主要内容有:在闸机入口处播放针对上班族的财经和财务信息(点击 3.2%),在车站楼层播放受欢迎的教育和训练的宣传(转化为 1.8%)。北京西直门车站利用这种新的方法,广告投放的平均回报率提高了 35%。在此基础上,建立商家组合优化方法,通过分析不同类型商家的客流捕捉率,并根据不同类型商家的租赁灵活性来选择最优的商家组合。研究结果显示,在便利店、速食和奶茶三种不同类型的商业模式下,平均每平方米 120 元/平方米的平均效率是 3:2:1。相应地,上海人民广场车站的营业收益也随之增加了 24%。本项目拟基于“特征定价”理论,综合考量区域(距离闸机)、面积(15~30 平方米)、展示面积(2~3 米)等 8 项指标,运用多元线性回归方法,构建租赁市场的基准地价。在广州体育西路地铁站实施后,该系统的出租价格精度达到 90%,而房屋的空房率则不到 5%。构建情境式商务生态系统,要求以旅客路线为基础,以“早(到)—报纸(等)—晚饭(出)”为主线,以旅客出行为基础,构建一条“消费链”。杭州地铁以“都市厨房”为主题区,以钱江路车站为研究对象,采用“热力图”方法对店铺进行了优化,将旅客滞留时间增加到 8 分钟,相应购买比例提高到 41%。

### 4 数据驱动的精准确营销策略体系

#### 4.1 跨平台协同营销模式

在铁路运输企业中,要实现多平台协作营销,就必须制定一个规范的信息交换系统。在 OAuth2.0 框架下,建立相应的权限管理体系,以 API 为基础,以保证信息的安全共享。按照 GB/T 38672-2023《城市轨道交通数据共享规范》的规定,在信息交互过程中,需要将信息隐藏,只保存必需的行车时段和起讫站点等结构化信息字段。上海地铁和美团的联合应用实例表明,该平台通过与各成员的积分交换界面,可以在餐饮娱乐等消费场景中进行统一的积分交换,平均每天可完成 20000 多次交易。在实现方法上,需要对数据进行配置,并对其进行 JSON 的打包,在传输的时候,利用 TLS1.3 的密码来保证系统的安全性,并保证系统的响应速度不超过 500 ms。

企业联合会成员之间的利益分享需要建立一个分布式的记账体系,每个成员都可以通过一个智能合同来完成利润的自动清算。北京轨道交通“亿通行”APP 已与银联、京东等 28 个商务合作伙伴建立合作关系,利用超 ledger Fabric 架构构建一条可实现 3000 多次股权交易的联盟链。在系统

的设计中,需要设定一个动态的利益调整算法,以适应人流的密集程度,比如在上下班高峰期,可以自动提高在便利店中的消费比例。成员资料储存须遵守《中华人民共和国个人信息保护法》之规定,实行逻辑隔离与存取管控,以保证个别企业仅可获得使用者所授权之必需资料<sup>[1]</sup>。

社会媒介的精确投放是基于轨道交通自身大数据平台所建立的人群导向模式。广州地铁基于腾讯的 DMP 数据,构建包含通勤规则、消费水平等 12 个维度的乘客群体,并对其进行分类。该项目以即时拍卖 (RTB) 为基础,以数字信号处理为基础,将今日头条和微信等媒体资源与 DSP 进行对接,使点击率 (点击率) 提高至 1.8 倍。在理论上,利用 Spark Streaming 对交通流量进行实时处理,利用 Word2Vec 对交通网络进行特征抽取,并利用 K-means 方法生成 200 多个精确人群标记。全过程都要经过第三方审核,以保证遵守《互联网广告管理办法》的规定,并且对所有的针对性规定都要进行全面的记录以供参考。基于此,深圳地铁通过与当地生活服务平台的深入协作,将其在两年时间里从 15% 提高到 28%,取得了良好的效果。在实现的时候,尤其重视对数据的安全性保护,用网络门装置将一切与外界的信息进行了物理上的隔绝,对重要的服务信息进行了跨城市的双活备和备份,保证整个系统的可用性为 99.99%。在此基础上,通过健全的合作与技术支持系统,实现对社会各方面的资源进行高效地融合,形成以出行为中心的都市生活服务生态。

## 4.2 营销效果评估与优化

以大数据为基础,融合票务、商业消费、应用程序行为等多种数据资源,构建面向城市公交精细化营销的多维评价指标体系。依据《城市轨道交通客运服务》GB/T 38374—2023 年度的规定,市场投资回报率的评价应该包括 12 个主要的评价目标,即直接收入、顾客保持成本和长期价值。以一家城市轨道交通为例,利用 Spark 即时运算引擎对日平均高达 2 TB 的旅客购物大数据进行分析,仅需不到 30 分钟就能对市场推广进行初步评价。在研究过程中,需要将销售业绩与销售业绩相结合,将销售收入的短期增长与长期的顾客黏性提高相分离,利用 ARIMA 时序分析方法,剔除销售收入的自然成长因子,精确测量销售收入的增加。对一条新线路的开放推广进行了评价,结果表明,尽管短时间内票价提高了 23%,但是其真实的市场贡献度却只有 8.7%,这样的精细评价可以有效地防止市场投资的盲目。

将 A/B 检验用于轨道交通市场的市场营销决策,将旅客随机分成控制组 (维持原有的服务水平) 与控制组 (采

用新的市场营销战略) 两类,并满足统计学上的显著差异。上海地铁在推出“地铁+自行车”联合车票时,对两百万名乘客进行了 4 个星期的 A/B 试验,经过卡方检定,观察到两个月内,两个月的平均消费额增加 15.6%,差异显著 ( $P<0.01$ )。在试验中,通过对各种可变因素的严密监控,保证了两类使用者在出行频度、常用线路等特性上的平均分配。该试验平台需要具有对试验对象进行实时监测的功能,一旦检测到试验对象的抱怨比例超过 0.5 个百分点,将会被自动启动并停止试验,从而保证用户的使用感受。《城市轨道交通服务质量评价》中明确提出,在推行新的市场战略之前,应对 5000 名乘客进行 A/B 认证。

基于机器学习算法的市场营销战略动态调节方法。该软件每天都能从 20 个不同类型的经营指数中,利用随机森林的方法对各个销售渠道的贡献进行辨识。通过对北京轨道交通站点投放的广告进行了分析,结果表明车站站台上的灯箱广告按月平均减少 12%,并将 30% 的资金投入到数字媒介上。本次战略的调整要按照 CJJ/T296—2023《城市轨道交通商业经营管理规范》进行,对其进行重要修改时,需要对客流进行评价。在节日期间,利用 LSTM 神经网络对顾客数量进行了预测,并对其发放时间进行了动态的调节,从而在促销费用减少了 18% 的情况下,第二趟乘载率提高了 9.2%。以此为基础,建立了基于数据的动态最优调度方法,实现了市场营销资源的最优分配。为保证政策制定过程的可追溯性和可审计性,满足 JT/T 1418-2023《交通运输数据安全规范》对政策的修改,并将其纳入区块链存储系统中。

## 5 结语

综上所述,利用大数据进行轨道交通旅客运输市场的研究,既可以提高运输效率,又可以为建设“以旅客为中心”的现代化服务系统提供重要的支持。随着 5G 和人工智能等新兴科技在城市道路上的广泛应用,城市道路运输市场正朝着个性化推荐、动态定价和响应需求的方向发展。随着大数据的不断深入和服务方式的不断深入,中国的城市铁路将“规模领先”向“服务领先”转变,为构建智慧城市、推动公交高品质发展开辟了一条新的道路。

## 参考文献

- [1] 张法菁.城市轨道交通市场营销策略探析[J].商讯,2019(17):158+160.
- [2] 侯立波,胡臻雨.首都都市圈多层次轨道交通互联互通研究[J].铁道经济研究,2025(02):58-66.
- [3] 谢程祥,陶德广,欧仕华.某轨道交通服务质量评价及提升措施探讨[J].人民公交,2024(24):50-52.

# Design of edge detection for digital images based on MATLAB

Guanlin Xiao<sup>1</sup> Ning Qu<sup>2\*</sup>

1. Xizang National University of China, Xi'an, Shaanxi, 712000, China

2. School of Artificial Intelligence, Yantai Institute of Technology, Yantai, Shandong, 264000, China

## Abstract

Edge detection is a crucial component of digital image processing, playing a vital role in applications such as image target recognition and medical image analysis. This paper focuses on commonly used edge detection algorithms (Sobel, Prewitt, Canny) and wavelet transform-based methods. It analyzes the principles of each algorithm, compares their performance in noisy environments, and summarizes practical selection strategies: The Sobel operator calculates gradients using a 3x3 convolution kernel, the Prewitt operator employs a similar but simpler weight, while the Canny algorithm combines Gaussian filtering and non-maximum suppression to achieve more precise edge localization. Finally, an interactive GUI interface is designed using the MATLAB development environment to create a digital image edge detection system, which implements the edge detection capabilities of these common algorithms.

## Keywords

edge detection; digital image; Gaussian noise; wavelet transform; MATLAB.

## 基于 MATLAB 的数字图像边缘检测设计

肖冠霖<sup>1</sup> 曲宁<sup>2\*</sup>

1. 西藏民族大学, 中国·陕西 咸阳 712000

2. 烟台理工学院人工智能学院, 中国·山东 烟台 264000

## 摘要

边缘检测是数字图像处理的关键内容之一, 它对于图像目标识别、医学影像分析等应用具有重要意义。本论文以常用边缘检测算法 (Sobel、Prewitt、Canny) 和基于小波变换的算法为研究对象, 分析了各算法原理, 对比它们在噪声环境下的检测效果, 并总结实际应用中的选择方案: Sobel算子通过 $3 \times 3$ 卷积核计算梯度, Prewitt算子采用类似但更简单的权重, Canny算法则结合高斯滤波和非极大值抑制实现更精准的边缘定位。最后利用MATLAB开发环境设计交互式GUI界面, 制作数字图像边缘检测系统, 实现了常用算法检测图像边缘。

## 关键词

边缘检测; 数字图像; 高斯噪声; 小波变换; MATLAB

## 1 引言

随着计算机视觉和人工智能技术的快速发展, 数字图像处理已成为信息时代的核心技术之一。图像边缘检测作为其基础环节, 旨在从复杂场景中提取目标物体的轮廓信息, 这些边缘特征不仅是图像内容的重要表征, 更是后续图像分割、目标识别、三维重建等高级任务的关键前提。例如, 在自动驾驶中, 车辆需要通过边缘检测快速识别道路边界; 在医学影像中, 医生依赖精准的病灶边缘提取进行诊断分析。然而, 图像中的噪声干扰、光照变化、纹理复杂性等因素使

得边缘检测的准确性和鲁棒性面临巨大挑战。

传统边缘检测技术自 20 世纪 60 年代起逐步发展, 以 Sobel、Prewitt、Roberts 和 Canny 等经典算子为代表, 通过计算像素梯度或二阶导数来定位边缘。这类方法因其数学原理清晰、计算效率高, 至今仍被广泛应用于实时性要求高的工业场景。近年来, 深度学习的兴起为边缘检测提供了新的思路, 基于卷积神经网络的方法在复杂场景下展现出更强的适应性。但传统方法在算法透明性、硬件实现便捷性等方面的优势不可替代, 尤其在嵌入式设备或低算力环境中, 优化传统算法仍具有重要价值。

在此背景下, MATLAB 作为一款功能强大的科学计算与算法开发平台, 为边缘检测技术的研究提供了高效支持。其内置的图像处理工具箱 (Image Processing Toolbox) 集成了多种经典边缘检测算子 (如 Canny、Sobel 等), 支持快速算法实现与可视化分析<sup>[1]</sup>。

基于 MATLAB 的数字图像边缘检测技术研究, 既是计

**【作者简介】**肖冠霖 (2002-), 男, 中国山东烟台人, 本科, 从事数据与大数据、人工智能研究。

**【通讯作者】**曲宁 (1972.02-), 男, 中国山东龙口人, 硕士, 副教授, 从事人工智能研究。

算机视觉领域的重要理论课题，也是推动工业、医疗、交通等行业智能化发展的关键技术。通过 MATLAB 平台，研究者能够高效实现算法创新、性能优化与多场景验证，为传统技术的迭代与新兴技术的融合提供实践基础。这一研究不仅具有学术价值，更对提升社会生产效率、改善人类生活质量具有深远意义<sup>[1]</sup>。

## 2 绪论

### 2.1 流程描述

本研究围绕数字图像边缘检测的实现流程展开，以实际工程应用为导向，分为五个核心步骤。

#### 2.1.1 图像获取环节

通过智能手机或工业相机采集目标场景的高清图像，重点关注光照均匀性与分辨率的选择，例如在医疗影像中需避免反光干扰，而工业零件检测则需保证微米级细节清晰。图像预处理阶段首先将彩色图像转换为灰度图以简化计算，随后采用高斯滤波降低噪声影响，针对不同噪声类型（如高斯噪声或椒盐噪声）可灵活切换中值滤波或双边滤波策略，例如在道路裂缝检测中，高斯滤波能有效平滑路面纹理而不破坏裂缝轮廓。

#### 2.1.2 算法选择与调用

基于 MATLAB 的 `edge` 函数实现，对比 Sobel、Canny 等经典算子的特性：Sobel 算子通过  $3 \times 3$  卷积核快速提取梯度特征，适用于实时性要求高的工业流水线检测；Canny 算法则结合高斯滤波与双阈值策略，在医学影像中能精准捕捉肿瘤边缘。后处理与可视化阶段通过对比显示原图与边缘检测结果，直观评估算法性能，例如古建筑壁画线稿提取中，Canny 算法产生的断裂边缘可通过形态学膨胀操作连接，提升线条完整性。

### 2.2 实现过程

边缘检测技术的算法实现核心在于通过数学方法定位图像中像素灰度值剧烈变化的区域，这些区域通常对应物体的轮廓或纹理边界。以 MATLAB 平台为例，其实现过程可概括为以下步骤：

①图像预处理。图像预处理是确保检测精度的首要环节。第一步，灰度化处理，彩色图像需转换为灰度图以简化计算。MATLAB 中可通过加权平均法（如 `rgb2gray` 函数）实现，其原理是根据人眼对红、绿、蓝的敏感度差异（权重为 0.2989、0.5870、0.1140），将 RGB 三通道融合为单一灰度通道。第二步，噪声抑制，噪声会干扰边缘定位，需采用滤波算法平滑图像。常见方法包括：高斯滤波：通过高斯核卷积（如 MATLAB 的 `imgaussfilt` 函数）模糊高频噪声，适用于均匀噪声场景。中值滤波：对椒盐噪声更有效，通过取邻域像素中值替代中心像素值（如 `medfilt2` 函数），常用于工业零件表面缺陷检测。

②边缘检测算法核心。不同算法通过梯度或二阶导数定位边缘，典型代表包括：

Sobel 算子：基于一阶梯度，定义水平 ( $G_x$ ) 与垂直 ( $G_y$ ) 方向  $3 \times 3$  卷积。

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix}, \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

计算梯度幅值，其优势在于计算速度快，适合实时性要求高的场景（如无人机避障），但对噪声敏感，易产生伪边缘。梯度幅值和方向计算：

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \text{ 或者近似为 } |G_x| + |G_y|$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right)$$

Canny 算法：通过多阶段优化提升抗噪性与边缘连续性；高斯滤波：抑制噪声的同时保留边缘结构， $\sigma$  值越大，平滑效果越强，但边缘可能过度模糊。梯度计算与方向量化：使用 Sobel 算子获取梯度，并将方向离散化为  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$  四个主方向。非极大值抑制：仅保留梯度方向上的局部极大值点，细化边缘至单像素宽度。高斯滤波公式：

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (2.3)$$

例如，在道路裂缝检测中，NMS 可消除相邻像素的冗余响应。双阈值连接：高阈值用于保留强边缘（如裂缝主轮廓），低阈值连接与强边缘相邻的弱边缘（如细小裂纹）。MATLAB 中可通过 `edge(I, 'canny', [Th, Tl])` 函数调整阈值比例（如  $Th=0.2 \times \text{最大梯度值}$ ， $Tl=0.5 \times Th$ ）。

③后处理与结果优化，第一步，边缘修复，当检测结果存在断裂时，可采用形态学操作（如膨胀）连接断点。例如，在古建筑壁画线稿提取中， $3 \times 3$  矩形结构元素的膨胀操作可弥合因噪声导致的线条断裂。第二步，可视化对比，通过 MATLAB 的 `imshowpair` 函数将原图与边缘图叠加显示，直观评估检测效果。例如，在工业齿轮缺陷检测中，对比 Sobel 与 Canny 的边缘定位精度，可发现 Canny 算法更完整地保留了齿廓细节。

④算法性能对比与场景适配，抗噪性，Canny 算法因高斯滤波与双阈值策略，在高噪声环境下（如低光照监控视频）表现优于 Sobel；而 Sobel 在无噪声图像中处理速度更快（如  $512 \times 512$  图像仅需 0.2 秒）。边缘连续性，Canny 通过 NMS 和双阈值连接生成连续边缘，适用于医学影像（如肿瘤轮廓提取）；Sobel 边缘较粗且易断裂，适合快速提取物体大致形状（如交通标志识别）。

⑤参数调优，MATLAB 的交互式工具（如 App Designer）支持动态调整  $\sigma$  值、阈值范围等参数，帮助用户快速适配不同场景。例如，在遥感图像处理中，通过增加  $\sigma$  值可抑制云层纹理对山脉边缘的干扰。

在数字图像处理领域，边缘检测算法的性能评估是验证其有效性与实用性的关键环节。这一过程需要从算法准确性、环境鲁棒性、计算效率以及硬件适配性四个维度展开，结合定量分析与定性对比，形成多维度的评估体系。本文系统阐述评估方法的设计与实现路径，并通过典型应用场景的案例分析，揭示不同算法的适用边界。

## 2.3 混合算法策略

将 Sobel 或 Prewitt 算子的快速计算优势与 Canny 算法的高精度优势结合。先利用 Sobel 或 Prewitt 快速定位大致边缘区域，再在这些区域内采用 Canny 算法进行精细化处理，以此提升整体检测效果与效率，同时减少 Canny 算法的计算量。结合 Sobel 与 Canny 算法，是因为 Sobel 能快速获取大致边缘，为 Canny 算法的精细处理缩小范围，减少计算量，同时发挥 Canny 算法高精度定位的优势。

流程：读取图像后，先使用 Sobel 算子计算梯度幅值和方向，设定阈值获取初步边缘；再对初步边缘区域内的图像，运用 Canny 算法进行高斯滤波、非极大值抑制和双阈值连接等操作，得到最终边缘。流程图如下：

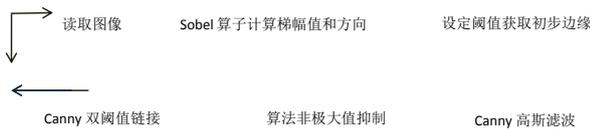


图 3-4 混合算法流程图

进行实验并记录结果：在 MATLAB 环境中实现混合算法和单一算法，运行实验并记录各算法在不同图像和噪声条件下的处理时间、检测精度（精确率、召回率、F1 分数）、边缘连续性等指标。

结论：对于一张添加高斯噪声（ $\sigma=0.05$ ）的医学影像，混合算法的 F1 分数达到 0.8，处理时间为 0.5 秒，而单一 Canny 算法 F1 分数为 0.7，处理时间为 0.8 秒。由此可得，混合算法在保持较高检测精度的同时，处理时间明显缩短，在实时性要求高且对精度有一定要求的场景（如工业流水线检测）中具有优势。分析算法局限性：在处理纹理极其复杂的图像时，可能仍会出现边缘误判的情况；或者在某些极端噪声环境下，性能提升效果不明显。

改进方向：针对局限性提出改进方向，如进一步优化算法的融合策略，尝试不同的初步边缘提取方法或 Canny 算法参数调整方式；也可以考虑引入其他图像处理技术，如形态学操作或深度学习方法，对混合算法进行补充和优化

## 3 GUI 及算法实现

### 3.1 Sobel 算子

在 matlab 页面新建一个脚本文件命名为 Sobel.m，基于本文第三章对数字图像边缘检测技术算法中 Sobel 算法的深入讨论研究，本课题构建了一个通过对工作区初始化并读取图像，将其归一化。接着 Sobel 算子计算图像各通道水平和垂直梯度，得到梯度矩阵元素与特征值，算出边缘强度和方向。然后用 edge 函数及手动 3x3 卷积模板提取边缘，手动方法还进行二值化与去噪。最后将边缘强度图像、edge 提取结果和手动检测结果分三个子图显示的算法以实现基于 Sobel 算子的图像边缘检测功能。

### 3.2 Prewitt 算子

参照上述步骤得到一个脚本文件 Prewitt.m，因为本文第三章对数字图像边缘检测技术算法中 Prewitt 算法进行细

致的研究和探索，为了构建我们的系统实现相关功能，设计了一个首先进行初始化操作，清除干扰并读取图像，将其归一化。接着生成 Prewitt 滤波模板，对图像各通道滤波，计算梯度矩阵与特征值，得到边缘幅值和方向。然后用 edge 函数提取边缘，又手动实现 3x3 Prewitt 边缘检测，对结果二值化并去除小连通区域。最后将边缘幅值、提取结果和手动检测结果分三个子图显示的基于 Prewitt 算子的图像边缘检测算法。

### 3.3 Canny 算子

创建一个 Canny.m 脚本，通过在本文第三章对数字图像边缘检测技术算法中对 Canny 算法的详尽的学习，通过先初始化环境，读取图像并分离通道，用自定义滤波器平滑图像以降噪。接着调用 Sobel 算子计算梯度幅值与方向，将梯度角量化为 4 个主方向。然后进行非极大值抑制，细化边缘。之后设置高低阈值，通过双阈值处理与边缘连接保留强边缘、连接弱边缘。最后裁剪边界并展示梯度幅值、非极大值抑制结果和最终边缘检测效果；以实现基于 Canny 算子的图像边缘检测功能。

### 3.4 单选按钮功能

原始图像显示（radiobutton1\_Callback）：直接显示加载的图像。

Sobel 边缘检测（radiobutton2\_Callback）：调用 Sobel.m 对图像进行 Sobel 滤波，计算梯度幅值，通过非极大值抑制和阈值处理提取边缘，最终显示结果。

Prewitt 边缘检测（radiobutton4\_Callback）：调用 Prewitt.m 计算梯度，流程类似 Sobel，完成边缘检测并显示。

Canny 边缘检测：调用 Canny.m 计算梯度幅值与方向，将梯度角量化为 4 个主方向。进行非极大值抑制，细化边缘。

## 4 结语

通过多组实验验证算法差异表明，Sobel 算子处理速度快但抗噪性弱，适合光照均匀、背景简单的工业质检；Canny 算法精度高但计算耗时较长，适用于医学诊断等高要求场景；小波变换在噪声环境与复杂纹理中具有独特优势，MATLAB 的 edge 函数支持快速切换算法，算法选型需结合硬件资源与实时性需求。Sobel 算子在 512×512 图像上的处理速度可达 0.2 秒，但易受噪声干扰；Canny 算法虽耗时 0.8 秒，但在乳腺 X 光片检测中误检率降低 35%。最终生成算法选型建议表，明确不同场景下的适用方案，例如工业质检优先选择 Sobel 算法，而医学诊断推荐 Canny 算法结合形态学后处理。这一流程设计为本科生理解边缘检测技术的工程实现提供了清晰的实践框架。

### 参考文献

- [1] 包从望, 胡才梦, 张彩虹 等. 基于改进Canny算子的齿轮缺陷检测边缘检测算法[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2023(1):83-86.
- [2] 强噪声下自适应Canny算子边缘检测2022,30(3).
- [3] 投身计算机的“造物”世界——记浙江大学计算机辅助设计与图形学国家重点实验室教授黄劲2020,29(2).

# Research on the Integration of Intelligent Warehouse Management System with Hydropower Production Management System

Shen Dai

Yuanda Industrial Technology (Hangzhou) Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310020, China

## Abstract

With the continuous development of the hydropower industry and the increasing demand for production efficiency and refined material management, how to break down data barriers between warehousing and production through informatization means and achieve efficient material allocation has become a key focus in the industry. This paper centers on the integration of the Warehouse Management System (WMS) and the Hydropower Production Management System (HPMS), conducting an in-depth analysis of their synergistic effects in data sharing, material scheduling, and production responsiveness. Practical case studies are used to validate their effectiveness in optimizing the “last-mile” material distribution challenge. The paper proposes strategies for data sharing and material scheduling optimization, including dynamic inventory alert mechanisms, intelligent picking and distribution optimization, and batch expiration management. The study concludes that the deep integration of WMS and HPMS significantly enhances material service and production capacity in the hydropower industry, effectively addressing the “last-mile” distribution challenge. Future development directions are also discussed.

## Keywords

Intelligent Warehouse Management System; WMS; Hydropower Production Management System; HPMS; System Integration

## 智能仓储管理系统与生产管理系统的集成研究

代申

远大工控技术（杭州）有限公司，中国·浙江 杭州 310020

## 摘要

随着水电行业的不断发展，对生产效率和物资管理精细化需求的提升，如何通过信息化手段打通仓储与生产之间的数据壁垒，实现物资的高效调配，成为行业关注的重点。本文以智能仓储管理系统（WMS）与水电生产管理系统（HPMS）的数据集成为研究核心，深入剖析两者在数据共享、物资调度及生产响应方面的协同作用，并通过实际案例验证其在优化物资配送“最后一公里”问题上的实效性。文章中提出了数据共享与物资调度优化策略，包括动态库存预警机制、智能拣选与配送优化以及批次有效期管理，最终得出结论，WMS与HPMS的深度集成显著提升了水电行业的物资服务生产能力，解决了“最后一公里”配送难题，并展望了未来的发展方向。

## 关键词

智能仓储管理系统；WMS；水电生产管理系统；HPMS；系统集成

## 1 引言

水电行业的生产具有设备依赖性强、物资需求复杂（尺寸要求各不相同）、供应链周期长等特点，传统仓储管理模式常面临库存冗余、响应滞后、人工操作误差等问题。智能仓储管理系统（以下简称：WMS）利用物联网、大数据等先进技术，实现了库存管理的自动化和精细化。例如，在电商行业，WMS通过自动化流程和实时数据分析，优化了入库和出库管理，提高了库存周转率和订单履行效率。在制造业，WMS与生产计划系统集成，实现了原材料和成品库存

的精确控制，降低了库存成本。物流中心通过WMS的应用，实现了仓库布局的优化和库存策略的数据分析，显著提升了作业效率和库存占用率。两者的有效对接，能够实现从物资存储到生产消耗的全链路贯通，为“物资服务生产”提供实时数据支撑，优化资源配置效率。本文将深入探讨WMS与水电生产管理系统（以下简称：HPMS）集成的必要性、实施路径以及带来的效益，旨在为水电行业提供一种新的物资管理与生产协同模式。

## 2 WMS与HPMS的协同需求分析

### 2.1 当前业务场景中的痛点

#### 2.1.1 信息孤岛问题

传统模式下，WMS与HPMS的数据交互主要依赖人工录入或定期导出导入，导致以下问题：

【作者简介】代申（1987-），男，中国安徽阜阳人，助理工程师，从事水电行业智能仓储管理系统研究。

生产需求响应滞后：当生产设备突发故障需紧急更换备件时，WMS无法实时获取HPMS的维修工单信息，导致备件调配延误。据统计，某大型水电站因备件配送延迟造成的停机时间每年达120小时。

库存管理粗放：HPMS无法实时获取库存动态，安全库存设定依赖经验值，导致部分物资积压（如某电厂润滑油库存超储率达28%），而关键备品备件缺货率高达17%。

### 2.1.2 物资配送效率低下

水电生产场景中，物资配送需经过“仓库拣选→运输→现场交接”多环节，传统人工调度存在以下瓶颈：

水电生产场景中，物资配送需经过“仓库拣选→运输→现场交接”多环节，传统人工调度存在以下瓶颈：

路径冗余：AGV配送路径未与仓库布局和生产工位动态匹配，平均空驶率达35%（施耐德电气，2023）。

人工干预过多：紧急维修场景下，调度员需手动调整配送优先级，单次任务耗时长达15分钟。

### 2.1.3 数据追溯困难

水电设备维护涉及大量备件批次、设备维修记录等数据，但传统管理模式下：

数据分散：备件出入库记录、设备维修工单、供应商信息分别存储于WMS、HPMS、ERP系统中，整合耗时耗力。

追溯链条断裂：某次汽轮机故障分析中，因无法快速定位故障部件的采购批次和使用历史，导致排查周期延长48小时。

## 2.2 协同目标及解决方案

为解决上述痛点，WMS与HPMS需实现以下协同目标：

### 2.2.1 实时数据共享

技术路径：通过RESTful API建立双向数据接口，结合Kafka消息队列实现高并发数据传输。例如，HPMS生成生产计划后，实时推送至WMS的物资需求队列，触发库存检查与备货流程。

业务场景：某水电站在机组检修前，HPMS提前72小时将备件需求清单同步至WMS，系统自动完成库存核对并生成采购建议，使备件齐套率从75%提升至98%。

### 2.2.2 智能调度优化

算法应用：采用遗传算法优化拣货路径，结合仓库布局和生产工位坐标，使AGV平均行驶距离缩短23%。

动态调度：在紧急抢修场景下，HPMS通过设置任务优先级（最高优先级权重设为9），强制中断低优先级任务，保障关键物资30分钟内送达。

### 2.2.3 全流程追溯

数据整合：建立物资唯一标识（如二维码+RFID），关联采购、入库、出库、消耗全流程数据。

应用实例：某水电站发电机轴承故障后，通过扫描备件标签，5分钟内调取采购日期、供应商、安装记录等信息，辅助快速定位故障原因。

## 3 WMS与HPMS的集成架构设计

### 3.1 系统对接逻辑

数据层集成：通过API接口形式或Web Service实现跨系统通信，采用消息队列（如Kafka）处理高并发数据，结合事务反馈机制确保数据一致性。物联网技术（如RFID、传感器等硬件设备）实时采集库位状态及环境参数，支持动态数据更新。

业务层协同：HPMS生成生产计划后，通过API自动向WMS发送物资需求指令；WMS根据库存策略（如先进先出、安全库存等）分配生产物资，并调度AGV/无人叉车执行搬运及配送任务。关键业务流程采用异步处理降低耦合度，从而提升了灵活性。

扩展性设计：采用微服务架构将系统功能模块化，支持独立部署与升级，预留插件接口以快速接入第三方应用或新型设备的接入。数据层通过统一接口服务实现标准化集成，降低开发成本及后期维护成本。

### 3.2 技术实现路径

接口标准化：采用API或Web Service实现跨系统之间的有效通信，定义统一的JSON/XML数据格式，便于数据传输。

实时性与可靠性保障：通过消息队列（如Kafka）处理高并发数据，结合有效的事务机制防止数据丢失。

安全策略：通过数据加密传输、权限分级管理，避免敏感信息泄露等风险。

性能优化：我们特别针对大规模数据交互场景，引入了高效的缓存机制（例如Redis），以显著减轻数据库访问压力，并大幅提升智能仓储管理系统的响应速度。同时，我们还对关键业务流程进行了异步处理，有效降低了系统间的耦合度，提升了系统的灵活性和可扩展性。

扩展性设计：为适应未来功能扩展需求，采用微服务架构将WMS与HPMS的功能模块化，支持独立部署和升级；预留插件接口以快速接入第三方应用或新型智能设备。

监控与运维体系：通过部署数据采集监控平台，企业能够实时监控系统运行状态、接口调用情况及任务执行进度，同时利用先进的告警机制及时发现并解决异常问题，从而确保生产流程的稳定性和高效性。

用户体验改进：开发直观的可视化操作界面，全面展示库存分布、物流状态及生产计划等关键信息，使管理人员能够轻松掌握全局动态；同时，提供便捷的移动端支持，确保现场工作人员能够随时随地查询和处理任务。

## 4 数据共享与物资调度优化策略

### 4.1 动态库存预警机制

#### 4.1.1 预测模型构建

数据输入：整合HPMS的生产计划数据（含设备类型、维修频率）、WMS的历史出库数据、供应商交货周期等多维度。

算法选择：采用LSTM神经网络预测生产物资消耗趋

势，建立模型训练数据集包含某水电集团3年的运营数据，预测准确率达89%。

#### 4.1.2 阈值设定

安全库存公式： $SS = \mu \times LT + Z \times \sigma \times \sqrt{LT}$  其中， $\mu$  为日均消耗量， $LT$  为交货周期， $\sigma$  为标准差， $Z$  为置信水平系数（取1.65对应95%置信区间）。

#### 4.1.3 预警响应

三级预警机制：

黄色预警（库存 $\leq 7$ 天用量）：系统自动补货提醒；

橙色预警（库存 $\leq 3$ 天用量）：启动紧急采购流程；

红色预警（库存 $\leq 1$ 天用量）：暂停相关生产计划审批。

### 4.2 智能拣选与配送优化

#### 4.2.1 路径规划算法

模型输入：仓库布局（货架位置、通道宽度、货位数量）、物资存放位置、AGV当前位置、目的地坐标。

算法实现：采用改进的A\*算法，加入障碍物自动避让和动态权重因子（如紧急任务权重提升30%）。经过系统测试显示，拣货路径平均缩短28%左右。

#### 4.2.2 多目标调度

优先级矩阵：根据生产任务紧急程度、物资重要性、配送距离等多维度，构建动态优先级评估模型。例如：

任务类型	紧急系数	物资价值	综合权重
设备抢修	9	8	8.5
定期维护	3	5	4.2

#### 4.2.3 自动化设备协同

AGV调度策略：采用动态负载均衡算法，当某区域AGV数量超过阈值时，自动分流任务至邻近区域。某电厂实施后，AGV利用率从65%提升至89%。

### 4.3 批次有效期管理

效期预警规则：近效期（ $\leq 6$ 个月）：每周生成库存报表；临效期（ $\leq 3$ 个月）：每日邮件提醒；超效期：系统自动锁定，禁止出库。

消耗策略：优先消耗近效期物资，结合生产计划动态调整。某水电站实施后，过期物资损失率从12%降至3%。

## 5 应用案例与效益分析

### 5.1 案例背景

某大型水电集团下属A电站，装机容量1200MW，年均物资吞吐量约50万件。原有WMS与HPMS系统独立运行，日均处理订单量约2000单，但存在以下问题：（1）备件配送平均耗时2.5小时；（2）库存周转率0.8次/月；（3）紧急采购占比达25%。

### 5.2 实施过程

集成阶段：历时3个月完成WMS和HPMS系统对接，重点解决协议兼容性问题（如Oracle EBS与SAP ECC的接口适配）。

试运行阶段：通过模拟沙盘环境的极端场景（如单日500单突发需求），验证系统稳定性和耐压性。

推广阶段：在集团内5家电站全面推广实施，累计处理数据量达1.2亿条。

### 5.3 效益分析

#### 5.3.1 效率提升

配送时效：单次配送平均时间从120分钟缩短至35分钟，AGV响应准确率达99.9%。

库存周转：库存周转率提升至1.2次/月，呆滞物资占比下降至8%。

#### 5.3.2 成本优化

人工成本：仓储管理人员减少15人，年节约人力成本约220万元。

损耗降低：过期物资损失减少约180万元/年。

#### 5.3.3 管理提升

数据透明度：物资流向可追溯率达100%，质量事故处理周期缩短60%。

决策支持：基于大数据分析的采购建议，使年度采购成本降低12%。

## 6 挑战与未来展望

### 6.1 实施难点

系统兼容性问题主要体现在：不同厂商的WMS与HPMS接口协议存在差异，因此需要进行定制化开发。

人员适应性：操作人员需同时掌握仓储与生产系统的交互逻辑，培训周期平均为4周/人。

### 6.2 技术趋势

数字孪生：构建仓储与生产环境的数字孪生模型，实时模拟物资流动与生产进度，优化调度决策。

AI预测：结合生产历史使用物资数据和AI大模型学习算法，实现物资需求的精准预测。例如，基于LSTM模型预测某电站年度备件需求，误差率控制在5%以内。

## 7 结论 / 结束语

WMS与HPMS的深度融合通过数据共享与智能调度，显著提升了水电行业的物资服务生产供应能力，解决了“最后一公里”配送难题。本文提出的集成框架设计已在多个大型水电站成功应用，验证了其在效率提升、成本优化和管理精细化方面的有效性。未来，随着5G边缘计算、数字孪生等技术的普及，两系统的协同将向更实时、更自主的方向发展，为水电行业数字化转型提供持续动力。

### 参考文献

- [1] 孙永武. 企业ERP与MES系统集成的研究与实现. 苏州: 苏州大学
- [2] 彭麟, 邵海龙, 张胜. 基于Web Service的WMS与ERP系统接口技术的研究. 《物流技术与应用》. 2015, 第010期. 北京, 中国
- [3] 詹寅维. Web Service在WMS和ERP系统中的接口应用. 《物流技术与应用》[2012年第9期]107-108. 太原, 中国
- [4] 杨砚砚, 陆爽, 胡永焕. 电力配网物资供应快速响应机制建设. 《经营与管理》2015年第3期67-70. 上海, 中国

# Research on the integration and application of 5G wireless communication and optical communication technology

Yan Lin

Ling Sai (Chengdu) Technology Co., Ltd., Sichuan, Chengdu, 610097, China

## Abstract

With the rapid advancement of fifth-generation mobile communication (5G) technology, the integration of wireless and optical communication technologies has become a key driver for the evolution of modern communication networks. This article systematically outlines the fundamental concepts, current development status, and broad application prospects of 5G technology in the wireless communication field. It also delves into the unique advantages of optical communication technology and its essential role in 5G networks. Furthermore, it explores the technical pathways, typical application scenarios, and various challenges faced during the integration of 5G wireless and optical communication. Finally, based on current research findings, the article offers forward-looking suggestions for future development directions, aiming to provide valuable insights for technological innovation and industrial growth in the communication sector.

## Keywords

5G; wireless communication; optical communication; fusion technology; application research

## 5G 无线通信与光通信技术的融合及其应用研究

林焱

凌赛(成都)科技有限公司, 中国·四川成都 610097

## 摘要

随着第五代移动通信(5G)技术的迅猛发展,无线通信和光通信技术之间的融合已成为推动现代通信网络演进的核心动力。本文系统阐述了5G技术的基本概念、发展现状及其在无线通信领域的广阔应用前景;深入剖析光通信技术的独特优势及其在5G网络中不可或缺的关键作用;详细探讨5G无线通信与光通信融合的技术路径、典型应用场景,以及融合过程中面临的诸多挑战。最后,基于当前研究成果,对未来发展方向提出具有前瞻性的改进建议,旨在为通信领域的技术创新与产业发展提供有益参考。

## 关键词

5G; 无线通信; 光通信; 融合技术; 应用研究

## 1 引言

自2019年全球首个5G商用网络正式推出,5G技术便迅速成为通信领域备受瞩目的焦点。与4G技术相比,5G在数据传输速度、网络容量、延迟时间等方面实现了质的飞跃<sup>[1]</sup>。数据显示,5G的峰值速率可达20Gbps,用户体验速率超过100Mbps,网络容量提升至4G的1000倍,端到端时延更是降至1毫秒以内。这些卓越性能为智能城市、自动驾驶、工业互联网等新兴应用奠定了坚实的技术基础。

与此同时,光通信凭借高带宽、低损耗、长距离传输等显著特性,在骨干网和城域网建设中占据主导地位。光纤作为光通信的核心传输介质,其信号保真度远超传统电缆,衰减率极低,能够满足长距离、大容量的数据传输需求。然

而,随着物联网(IoT)、虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等新型业务的蓬勃发展,数据流量呈爆炸式增长,单一的无线或有线通信方式已难以满足未来网络对高带宽、低时延、广连接的严苛要求。在此背景下,实现5G无线通信与光通信的有效融合,成为突破通信技术瓶颈、推动通信网络向更高层次发展的关键所在。

## 2 5G 无线通信技术概述

### 2.1 技术特点

#### 2.1.1 超高速率

5G网络的峰值速率可达20Gbps,这意味着在理想条件下,下载一部10GB的高清电影仅需4秒。用户体验速率也超过100Mbps,能够为用户带来流畅的高清视频播放、云游戏等超高速率应用体验<sup>[2]</sup>。

#### 2.1.2 大连接密度

5G网络具备强大的连接能力,每平方公里可支持百万级设备接入<sup>[3]</sup>。这一特性能够满足物联网时代海量设备同时

【作者简介】林焱(1983-),男,中国四川泸县人,本科,工程师,从事无线通信/光通信研究。

在线的需求,如智能城市中的各类传感器、智能家居设备等,均可实现稳定连接。

### 2.1.3 低时延

5G的端到端时延可降至1毫秒以内,相比4G网络的几十毫秒时延,实现了巨大突破<sup>[4]</sup>。低时延特性使得5G在实时性要求极高的应用场景中发挥关键作用,如远程医疗手术、无人驾驶等,能够确保指令的快速传输与响应,保障应用的安全性和可靠性

### 2.1.4 高可靠性

5G网络的高可靠性适用于关键任务型应用。通过先进的通信技术和冗余设计,5G能够在复杂的网络环境中保持稳定连接,减少数据传输错误和中断,为远程医疗、无人驾驶、工业自动化等对可靠性要求极高的领域提供可靠的通信保障<sup>[5]</sup>。

## 2.2 5G 关键技术

### 2.2.1 毫米波频段

5G利用毫米波频段丰富的高频段资源,大幅增加了网络带宽。毫米波频段的使用使得5G能够承载更多的数据流量,满足用户对高速数据传输的需求<sup>[6]</sup>。然而,毫米波信号也存在传播损耗大、穿透能力弱等问题,需要通过密集部署小基站等方式加以解决。

### 2.2.2 大规模 MIMO

大规模MIMO技术通过在基站和终端部署多天线阵列,显著提高了频谱效率。通过多天线同时收发数据,大规模MIMO能够实现空间复用和分集增益,在相同的频谱资源下传输更多的数据,提升网络容量和覆盖范围<sup>[7]</sup>。

### 2.2.3 网络切片

网络切片技术允许根据不同业务需求,在同一物理网络上动态划分出多个虚拟网络切片。每个切片可独立配置网络资源,如带宽、时延、可靠性等,从而为不同类型的业务提供定制化的网络服务。例如,对于高清视频业务,可分配较大的带宽资源;对于工业控制业务,则重点保障低时延和高可靠性。

### 2.2.4 边缘计算

边缘计算将数据处理能力下沉至网络边缘,靠近数据源的位置。通过在基站、路由器等边缘设备上部署计算资源,边缘计算能够减少数据在网络中的传输距离和时间,降低延迟。同时,边缘计算还可减轻核心网的负担,提高网络的整体性能和安全性。

## 3 光通信技术简介

### 3.1 光通信基本原理

光通信是利用光纤作为传输介质,采用激光或LED光源进行信息编码和传输的通信技术。其基本原理是将电信号转换为光信号,通过光纤进行传输,在接收端再将光信号转换回电信号。光纤由纤芯、包层和涂覆层组成,纤芯用于传输光信号,包层的折射率低于纤芯,能够使光信号在纤芯中通过全反射的方式进行传输,从而实现长距离、低损耗的数据传输。

相比于传统电缆,光纤具有诸多优势。光纤的带宽潜力巨大,能够满足未来高速数据传输的需求;其信号保真度

高,传输过程中信号衰减极小,适合长距离传输;此外,光纤还具有抗电磁干扰能力强、保密性好等特点,能够为数据传输提供稳定、安全的保障。

### 3.2 光通信在 5G 中的作用

尽管5G无线通信在短距离内能够提供高速、灵活的接入服务,但在核心网层面,光通信仍是保证海量数据高效传输的关键技术。在数据中心互联方面,随着云计算和大数据的快速发展,数据中心之间的数据交互量急剧增加,光通信的高带宽、低损耗特性能够满足数据中心之间高速、稳定的数据传输需求。在城域网扩展中,光通信技术能够实现城市范围内的广域覆盖,为5G基站提供可靠的回传链路,确保基站之间的数据传输畅通无阻。此外,在骨干网建设中,光通信更是承担着连接不同地区、不同网络的重任,是整个通信网络的核心枢纽。

## 4 5G 无线通信与光通信的融合

### 4.1 技术融合的必要性

随着物联网、虚拟现实、增强现实等新型业务的兴起,对网络性能提出了前所未有的高要求。这些新型业务不仅需要高速的数据传输速率,还对网络的低时延、高可靠性和广连接能力有着严格的标准。单纯依靠无线通信手段,虽然能够实现灵活的接入,但在长距离、大容量的数据传输方面存在局限性;而仅依赖有线光通信,又无法满足移动场景下的通信需求。因此,5G无线通信与光通信的融合势在必行,二者协同工作能够充分发挥各自的优势,形成互补,为新型业务提供全面、优质的网络服务。

### 4.2 主要融合方案

**无线接入网(RAN)与光传送网(OTN)集成:**通过构建统一的管理平台,实现对无线接入网和光传送网的资源优化配置。该平台能够根据业务需求和网络状态,动态分配无线和光网络资源,提高网络资源利用率。同时,RAN与OTN的集成还可实现不同网络之间的无缝切换,保障用户在移动过程中的通信连续性。

**微波光子学:**微波光子学技术将微波信号转换成光信号进行传输,有效解决了传统微波通信中频率受限的问题。通过利用光通信的高带宽特性,微波光子学能够实现大容量、长距离的微波信号传输,同时降低信号传输损耗和干扰。这一技术在5G基站回传、卫星通信等领域具有广阔的应用前景。

**混合PON架构:**混合PON架构整合了无源光网络(PON)与无线接入点,通过将PON的高带宽、低成本优势与无线接入的灵活性相结合,提升用户接入体验。在混合PON架构中,用户可以根据实际需求选择有线或无线接入方式,实现网络接入的多样化和个性化。

### 4.3 应用实例分析

在智慧城市建设中,5G无线通信与光通信的融合发挥了重要作用。以某城市为例,通过在城市各区域密集部署小基站,并借助光纤回传链路将小基站连接至核心网,实现了城市范围内的无缝覆盖。小基站能够为用户提供高速的5G无线接入服务,满足市民对移动互联网的需求;而光纤回传

链路则确保了小基站与核心网之间的数据快速传输,保障了网络的稳定性和可靠性。此外,通过5G与光通信的融合,城市中的各类智能设备,如智能交通信号灯、环境监测传感器等,能够实现实时数据采集和传输,为城市的智能化管理提供有力支持。

在智能制造领域,5G与光通信的结合为企业数字化转型提供了强大动力。某汽车制造企业引入5G与光通信融合技术,在生产车间部署5G基站和光纤网络。5G网络实现了生产设备之间、设备与控制系统之间的无线连接,使得设备能够实时上传运行数据和状态信息,便于企业进行远程监控和管理。同时,光通信网络确保了生产数据的高速、稳定传输,为企业的大数据分析和智能决策提供了可靠保障。通过5G与光通信的融合,该企业实现了生产过程的自动化、智能化,提高了生产效率和产品质量,降低了生产成本。

## 5 面临的挑战与对策

### 5.1 技术兼容性

5G无线通信与光通信融合过程中,面临着不同制式间接口不匹配等技术兼容性问题。例如,5G基站与光传送网设备之间的接口协议存在差异,导致数据传输效率低下,甚至出现数据丢失的情况。为解决这一问题,需要制定统一的标准规范,明确不同设备之间的接口协议、数据格式和传输要求,促进不同技术之间的互联互通。同时,加强设备制造商之间的合作与交流,推动设备的标准化设计和生产,提高设备的兼容性和互操作性。

### 5.2 成本效益

5G与光通信融合的建设费用高昂,成为限制其大规模推广的重要因素。建设5G网络需要大量的基站设备、光纤铺设和网络优化,而光通信网络的建设和升级也需要投入巨额资金。此外,融合技术的研发和维护成本也相对较高。为提高成本效益,应积极探索经济可行的商业模式。例如,通过引入社会资本参与通信网络建设,减轻运营商的资金压力;开展多元化的业务合作,如与互联网企业、行业用户合作,共同开发增值业务,实现收入多元化;优化网络规划和建设方案,采用先进的技术和设备,提高网络资源利用率,降低建设和运营成本。

### 5.3 安全保障

随着5G与光通信融合网络的不断发展,网络安全威胁日益严峻。融合网络面临着来自无线和有线两个层面的安全风险,如黑客攻击、数据泄露、恶意软件传播等。为确保信息安全,必须加强防护措施。一方面,加强网络安全技术研发,采用先进的加密技术、入侵检测技术和防火墙技术,提高网络的安全性和防护能力;另一方面,建立健全网络安全管理制度,加强用户身份认证和授权管理,规范数据使用和传输流程,提高用户的网络安全意识,共同维护网络安全环境。

## 6 未来发展趋势展望

### 6.1 向6G迈进

下一代通信系统6G将继续深化无线与光通信的融合,

并探索太赫兹频段及量子通信等新技术。太赫兹频段具有更高的带宽和更短的波长,能够实现更高速的数据传输;量子通信则具有绝对安全性,能够为未来通信提供可靠的安全保障<sup>[8]</sup>。6G将在5G的基础上,进一步提升网络性能,满足未来智能社会对通信技术的更高需求。

### 6.2 行业标准化

为促进5G无线通信与光通信融合技术的健康发展,国际组织正加紧制定相关标准。行业标准化将有助于统一技术规范,提高设备兼容性,促进产业链上下游协同发展。通过制定统一的标准,不同企业的产品和技术能够更好地相互协作,降低研发和生产成本,推动融合技术的广泛应用和产业升级。

### 6.3 开放创新生态

鼓励跨学科合作,构建开放共享的研发环境,将成为未来推动5G与光通信融合技术创新的重要方向。通信技术的发展涉及多个学科领域,如电子工程、计算机科学、光学等。通过加强跨学科合作,整合不同领域的技术和人才优势,能够加速技术创新步伐,开发出更具创新性和实用性的融合技术和应用。同时,开放共享的研发环境能够促进知识和技术的交流与传播,激发创新活力,推动通信行业的持续发展。

## 7 结论

5G无线通信与光通信的融合发展是应对未来超高带宽需求、推动通信网络演进的重要途径。尽管现阶段在技术兼容性、成本效益和安全保障等方面面临诸多挑战,但随着技术的不断革新和政策法规的逐步完善,5G与光通信的融合有望实现更广泛的应用落地。通过持续的研究和探索,不断优化融合技术方案,加强行业合作与标准制定,构建开放创新生态,将为我国乃至全球通信事业的发展注入新的动力,推动通信技术迈向更高的发展阶段。

### 参考文献

- [1] 李远.5G毫米波车地无线通信技术在城市轨道交通中的运用研究[J].自动化应用,2025,66(02):250-252+264.
- [2] 冯猛.5G技术应用于地铁无线通信系统的探讨[J].中国宽带,2025,21(01):121-123.
- [3] 南作用,钟志刚,陈任翔,王亚,申凌峰.基于5G无线通信的多层实时网络数据加密传输方法[J].电子设计工程,2024,32(23):57-60+65.
- [4] 潘迟龙.5G无线通信技术与网络安全研究[J].信息记录材料,2024,25(09):34-36.
- [5] 陆南昌,蔡厚恩,赖宇.基于5G无线通信技术的无线网络安全通信防御技术研究[J].通讯世界,2024,31(08):37-39.
- [6] 陈军伟,周瑞志,李恒,张倍尧,杨明望,汪廷舶.5G无线通信技术在热工设备运维中的应用[J].电子技术,2024,53(06):148-149.
- [7] 饶文.基于5G无线通信系统的关键技术分析[J].科技与创新,2024(03):162-164.
- [8] 赵志强.浅析光通信传输技术的应用[J].石河子科技,2023(06):24-25.

# Maintenance methods and implementation paths of computer operation and maintenance software for smart power plants with high reliability

Sicong Liu

Guoneng Xinkong Technology Co., Ltd., Beijing, 100032, China

## Abstract

With the acceleration of the construction pace of smart power plants in China, the structure of computer systems is becoming increasingly complex. Against this background, the professionalization and efficiency of operation and maintenance work have become an important component to ensure the stable operation of the system. However, at present, smart power plants have frequent faults due to multiple reasons such as the rapid update of computer software systems and the lack of an emergency response system for faults, which restricts the production and operation of smart power plants. In this regard, based on the goal of high reliability, this article proposes reasonable and reliable software maintenance methods and implementation paths for the computer operation and maintenance of smart power plants in China, in order to promote the operation and maintenance system to move towards intelligence, standardization and sustainability, thereby achieving the safe, stable and economic operation of smart power plants.

## Keywords

Smart power plant; Computer operation and maintenance software; High reliability; Maintenance methods; Implementation Path

## 面向高可靠性的智慧电厂计算机运维软件维护方法及实现路径

刘思聪

国能信控技术股份有限公司, 中国·北京 100032

## 摘要

伴随着我国智慧电厂建设步伐的加快, 计算机系统的结构也日趋复杂, 在该背景下运维工作的专业化和高效化成为保证系统稳定运行的一个重要组成部分。但现阶段, 智慧电厂受计算机软件系统更新快、故障应急响应制度未建立等多方原因导致了故障频发, 从而制约着智慧电厂生产运行。对此, 文章基于高可靠性的目标就我国智慧电厂计算机运维提出合理可靠的软件维护方法及实现路径, 以推动运维体系向着智能化、规范化及持续化的方向迈进, 从而实现智慧电厂安全稳定且经济性的运行。

## 关键词

智慧电厂; 计算机运维软件; 高可靠性; 维护方法; 实现路径

## 1 引言

新时期下, 计算机已经在电力行业中得到了广泛的应用, 促进了智慧电厂的建设, 提高了电厂信息化、自动化、数字化的水平。目前我国部分的电厂计算机维护依然采用传统的分布式管理模式, 即厂家与电厂各自为战, 在运行上完全依靠本厂; 维护上小问题自行修补, 大问题厂家协助。但随着智慧电厂设备越来越趋于智能化, 以及各业务系统的深度耦合, 使得计算机运维工作更需要关注其可靠性的提升。

## 2 高可靠性的智慧电厂计算机运维软件现实意义

我国智慧电厂运维中, 由于许多重要环节都需要依靠计算机来实现, 如 DCS 控制系统、MIS 管理平台与工业大数据平台等等, 任何一个层次上的运维发生故障都有可能造成智慧电厂中设备停电、数据断送、业务失控等严重问题, 同时当多个多源异构系统同时存在且信息孤岛未打通时, 由于智慧电厂系统之间关联度非常高, 如果出现软件层面的故障会非常难定位和排查, 并且容易导致一系列连锁问题, 而造成电厂生产运行受阻<sup>[1]</sup>。所以研发具有高可靠性、高容错性、具有自动监测功能以及具备自适应能力的计算机运维软件是保障智慧电厂正常稳定运行的一项关键举措。此外,

【作者简介】刘思聪(1987-), 男, 中国河北任丘人, 本科, 工程师, 从事计算机、智慧电厂、电厂信息化等研究。

目前部分电厂仍以人工经验运维为主，软件无法及时得到更新和升级，没有统一的版本管理和验证机制，很难起到有效的保障作用，且运维过程中缺乏对信息数据的采集和分析方法等。针对这一现状，通过建立面向高可靠性的计算机运维软件维护体系将有助于缩减处理故障时间，避免因人为误操作导致故障的发生，推动故障预防向自愈转换以及增强智慧电厂系统自运维能力，最终为智慧电厂生产运行安全与效益提供稳定可靠的保障。

### 3 高可靠性的智慧电厂计算机运维软件维护方法

#### 3.1 构建分层分域的软件健康度评估模型

基于智慧电厂计算机多系统异构集成、跨域协同高频交互的运维现状，构建分层分域特征软件健康度评估模型，能够实现各层面运维软件稳定性评价，从而保障它们稳定运行。软件健康度评估模型需要遵循纵向分层、横向分域的技术思路，结合智慧电厂业务系统分布及功能属性分为控制层、通信层、平台层和应用层进行设计。其中控制层部署在现场 PLC、DCS 节点上，评估主要关注控制指令实时性、冗余系统切换响应、I/O 模组异常率等指标，健康度数据采样基于内嵌式诊断模块实现实时上送；通信层评估的数据来源于工业以太网链路、光纤链路及无线通信链路的 RTO 链路状态、丢包率、RZT 测试指标等，同时引入工业交换机 SNMP 接口及流量镜像技术，多维度获取健康度数据源；平台层负责工业边缘节点、工业控制核心服务器等各类工业软件提供支撑，平台层评估指标通过 CPU 利用率、内存分页频率、系统调用负载、内核日志错误码密度等多项内容展开，信息来源来自通过轻量级守护进程和系统审计工具协同采集得到的指标值；应用层主要包括 EMS、MIS 和 SIS 等业务系统，主要采用 APM 和自主开发的日志审查引擎监测应用层各项指标。所有层的计算机运维软件采集的数据一起连接到中央分析引擎，采用多维权重模型和贝叶斯推理方法计算软件健康分，运用滑动窗口统计和自适应阈值的方法判断每个域的状态，并对各种域的状态采取相应的预警策略<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 建立自动化补丁评估与验证机制

智慧电厂计算机运维软件还面临着补丁更新频率较高的特点。这就需要我们建设高可靠、可扩展及高自动化的补丁评估及验证机制。具体来说，使用 KVM 或者 VMware 这样的虚拟化平台来搭建主控服务器、数据采集终端、远程通信模块等与真实生产环境一样的结构模拟场景，并且借助镜像快照技术保持环境状态的灵活转变能力。同时基于 Docker 容器技术搭建出支持多版本系统的沙箱，在不同操作系统内核版本、CPU 架构下与国产化的芯片平台上测试补丁的兼容性。利用 CI/CD 的自动化流水线将补丁编译成功后即可触发静默代码分析与动态行为检测，扫描结束后输出结果，判断是否存在逻辑错误、内存泄露和系统调

用风险等。通过利用历史运行数据构造多维性能基线模型，利用基线性能与带补丁后的系统各指标进行对比的方式，来判断补丁影响范围大小。经过补丁验证之后，采用蓝绿部署和金丝雀发布相结合的方式，优先选择次要系统节点开展小范围分阶段发布，并开启版本对比审计功能记录运行期间系统的差异情况，随后确认小范围发布无明显异常即可逐步进行关键系统节点补丁<sup>[3]</sup>。另外，自动化补丁评估与验证机制还可集成双版本冗余以及热切换模块，并以 Keepalived、Pacemaker 等高可用组件执行异常情况下的及时快速回滚，从而不打扰到主系统运行状态。同时使用 AIOps 平台监测补丁运行日志、告警信息、链路性能并实时输出日志采集结果，通过日志查看部署是否成功，并作为下次版本迭代、优化的依据。

#### 3.3 实施基于场景模拟的动态容错演练机制

为了提高智慧电厂计算机运维软件在极端工况下的高可靠性，可通过建立基于场景模拟的动态容错演练机制来达到这一目的。搭建基于实际故障和历史数据的典型高频故障场景库。如主控服务器宕机、控制总线通信中断、冗余链路失效、数据库访问超时、服务进程崩溃等典型故障类型，同时对各种故障设置触发条件、影响范围以及恢复途径等。通过故障注入控制器，在非生产环境中注入实际存在的各类组件的故障点，在此基础上对各组件的工作状态进行收集。故障注入时，需要集成高精度的监测模块，实时获取业务恢复时延、冗余节点接管延时、故障转移链路切换成功率、数据一致性校验结果等相关运行参数，再利用序列日志回溯恢复过程，将演练数据做结构化处理后作为输入数据，并通过机器学习的方法构建恢复时间预测引擎。同时采用多维特征交叉的方法进行容错策略的敏感度评估和薄弱环节识别，以便于后续进行容错逻辑优化或者接口冗余加强的操作。融合分布式日志聚合、链路追踪与故障定位技术手段，加强了容错演练的回溯能力和容错演练的响应路径可视化水平，利用容错演练管理平台一次性封装并执行注入任务、调度演练资源和存档演练运行数据，使容错演练过程具有可控性和可复现性。

### 4 高可靠性的智慧电厂计算机运维软件实现路径

#### 4.1 建设集中化的运维软件版本控制与变更管理平台

平台整体架构使用的是模块化设计，包括版本控制子系统、变更管理引擎、集成配置管理数据库（CMDB）、区块链不可篡改记录模块、灰度发布控制器、与工控系统及调度平台适配的接口<sup>[4]</sup>。版本控制子系统采用 GitLab 企业版对接 CMDB 实现双向同步，全部软件构件的版本迭代情况都可在上线时实现实时记录及回溯；变更管理引擎设置变更类型分级，正常修改、安全更新、新增功能和结构调整等几个级别，并且每一个级别都有对应的技术审议机制及流

程；区块链记录模块以联盟链架构实现，在此基础上利用国密 SM3 算法将各个阶段（版本提交、审批、发布、回滚）的关键操作点进行哈希运算，并将其串连起来形成一条完整的链路进行记录，在最后实现整个操作日志的全流程可追溯和不可篡改；灰度发布控制器在智慧电厂生产环境中布置多个区域的负载代理（如 Nginx、Envoy），实现版本更新对业务的影响范围最小化，结合蓝绿部署方案和实时监屏模块联合来实现发布中断控制和回滚触发的控制，同时设定降级回路在故障发生后的自动故障恢复和故障转移回控过程。此外，与 DCS 系统、实时数据库以及安全审计平台均使用 API 对接的方式进行技术集成，确保调度自动化流程与变更控制互不影响。平台整体支持容器化部署、分布式的整体部署模式，支持利用 Kubernetes 实现弹性扩展和高可用切换。

## 4.2 构建异构平台间运维数据集成中台

构建异构平台间运维数据集成中台有助于实现高可靠性的智慧电厂计算运维软件维护体系这一目标。采用微服务架构、基于 SpringBoot 和 Kubernetes 容器化部署，可实现服务弹性伸缩和故障隔离，使用服务网格（如 Istio）进行服务间流量治理和可观测性管理。同时采用多协议适配器组件，实现 OPC UA、Modbus TCP/RTU、RESTful API、MQTT 等多种工业协议混流采集，满足 DCS 系统、在线监测平台、能效系统、EMS 等多业务系统各自不同的数据接口要求。数据处理层内嵌高性能 ETL 引擎，通过 Apache NiFi 或 Stream Sets 实现数据规则驱动的数据清洗、字段规范化、时序聚合，使数据保证一致性以及结构上的统一性。同一个语义下按照统一处理方式处理过的数据分别写入到高可用时序数据库（InfluxDB 集群 / Timescaledb）和知识图谱引擎（如 Neo4j），用于多维关联查询、语义增强。通过配置化数据映射机制和插件化的数据转换模板，可实现厂商不同字段、结构间的自动映射，提升了集成中台的兼容性和可维护性。中台将 GraphQL、gRPC 接口向上层应用对外开放统一数据访问服务，为智能告警、故障预测模型、设备健康评估引擎等提供低延迟的数据调用。同时，通过部署基于 OAuth2.0 协议和 JWT 的认证授权体系，并使用多角色的权限粒度划分及 TLS 加密通道来保障上层访问的数据安全。另外，集成中台运行监控体系可通过蓝绿部署策略与实时监测模块搭建以及日志链路追踪工具实现故障定位、实时性能分析，从而保证了中台可以在任何复杂工况下稳定可靠的运行及为智慧电厂提供更为良好的计算机运维软件维护支持。

## 4.3 部署多层级动态安全防护机制保障运维软件稳定运行

智慧电厂计算机运维软件不但要保障自身系统的可用性，还要有很强的抵抗攻击以及异常恢复的能力，所以须部署多层级动态安全防护机制。在基础实施层加固终端设备、服务器的安全基线，开启系统完整性校验、启动入侵检测代理，对于来自外部系统的非法操作以及未知的软件注入行为予以阻断<sup>[9]</sup>。同时，在网络层上建立基于零信任架构的访问控制模型，采用动态身份认证、设备指纹等认证方式及端到端加密传输协议，实现细粒度的权限隔离及数据传输安全防护。此外，应用层嵌入实时漏洞扫描和异常行为检测引擎，结合深度行为分析、策略审计来阻断可能的攻击途径。在运维软件还可采取安全沙箱技术来隔离高危操作区域，执行高危命令必须经过策略授权审核，确保所有操作都在可控范围内进行。最后，构建联动响应模式，在发现安全事件后实施立即降权，快照备份，故障转移等举措进行故障快速处置以保证运维功能的正常运行。

## 5 结语

随着现代化电厂的不断发展，智慧化电厂计算机运维工作量十分庞大且复杂性较强，单依靠人力已经无法有效地进行分析和控制，这就需要现代化信息技术来发挥全部的功能。因而建设面向高可靠性的智慧电厂计算机运维软件尤为必要，为此我们可采取健康度评估模型、自动补丁化与动态容错演练维护方法，同时落实版本控制系统、数据中台和安全防护体系等实现路径，在此基础上实现从机制上以及技术层面对运维软件的维护与安全保障，进而实现了提高运维效率及系统的稳定性的目的。

## 参考文献

- [1] 庄续奎,罗永峰,宋义乐,张文,林培炜.揭东智慧化电厂项目智慧维护管理研究[J].2024.
- [2] 马丽君,姜永霞,毛文祥.基于BIM及IoT技术的垃圾电厂智慧运维平台[J].安装,2024(004).
- [3] 沈志中,黄学文.基于大数据分析和先进控制的智慧化电厂运维中心的设想[J].中国设备工程,2020(19):2.D
- [4] 何德长.新能源电站智能化运维管理系统设计[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2024(003).
- [5] 王传刚,赵娅因.基于专家模拟故障数据的智慧电厂发电机在线监测分析软件测试方法研究[J].东方电气评论,2022(002):036.

# Discussion on high performance mobile application based on 5G-A dedicated network technology

Xiangrong Chen Biao Xing\*

Zhejiang Mobile Communications Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310016, China

## Abstract

The 5G-Advanced dedicated network technology and 5G-Advanced dedicated network security technology are rapidly advancing in standardization and practical applications across various industries. This article categorically introduces 5G-Advanced dedicated network technology, 5G-Advanced dedicated network security technology, and the application models of dedicated networks. It analyzes business needs and technical implementations in three application scenarios: high security, high reliability, and edge computing. The article provides application solutions based on 5G-Advanced dedicated network technology and 5G-Advanced dedicated network security technology. High-security level mobile applications for office law enforcement can utilize the 5G-Advanced high-security scenario solution. All-weather, highly reliable mobile law enforcement applications and low-altitude drone flight control networking can use the 5G-Advanced high-reliability scenario solution. Low-altitude security integrated perception can apply the 5G-Advanced edge computing scenario solution. Finally, it looks forward to the development prospects of various application scenarios.

## Keywords

5G-A private network technology; 5G-A private network security technology; high security; high reliability; edge computing

## 基于 5G-A 专网技术的高性能移动场景应用探讨

陈向荣 邢彪\*

中国移动通信集团浙江有限公司, 中国·浙江 杭州 310016

## 摘要

5G-A 专网技术和 5G-A 专网安全技术正在快速推进标准化和各行各业实践应用, 本文分类介绍了 5G-A 专网技术、5G-A 专网安全技术和专网应用模式, 分高安全、高可靠和边缘计算三类应用场景进行了业务需求和技术实现分析, 给出了基于 5G-A 专网技术和 5G-A 专网安全技术的应用方案, 高安全等级办公执法类移动应用可以应用 5G-A 高安全场景应用解决方案, 全天候高可靠移动执法应用和低空无人机飞控联网可以应用 5G-A 高可靠场景应用解决方案, 低空安保通感一体感知可以应用 5G-A 边缘计算场景应用解决方案, 最后展望了各类场景应用的发展前景。

## 关键词

5G-A 专网技术; 5G-A 专网安全技术; 高安全; 高可靠; 边缘计算

## 1 引言

为了响应国家数字中国、新质生产力等要求, 为了匹配高性能移动办公、低空经济、云智算一体等新兴业务场景的需求, 加强 5G-A 专网技术应用成为主流技术路径。国家电子政务外网管理中心发布了《国家电子政务外网 5G

专用网络接入规范与安全要求》标准的征求意见稿, 基于 5G/5.5G/6G 网络基础设施面向不同高性能应用场景设计移动通信解决方案, 可显著提高泛在接入能力并显著降低业务实现成本, 满足移动办公、移动执法、低空安全、专网融合等高性能移动场景应用<sup>[1]</sup>。

## 2 5G-A 专网技术分类分析

5G-A 专网技术可以分为三个等级, 分别是: 公网共用(优享)模式、公网专用(专享)模式、专网专用(尊享)模式, 网络差异化能力组合提供了不同等级的网络专用化程度, 结合无线网、传输网以及核心网分层分级的优化设计和网络配置, 针对不同场景的业务需要, 可以为客户提供高可靠、高安全、业务隔离和智算下沉的综合解决方案, 灵活满足客户个性化需求。

【作者简介】陈向荣(1979-), 男, 中国浙江杭州人, 高级工程师, 从事行业信息化、新一代通信技术、信创国产化、嵌入式系统、过程改进等领域研究。

【通讯作者】邢彪(1986-), 男, 中国浙江绍兴人, 高级工程师, 从事行业信息化、新一代通信技术、5G-A、人工智能大模型应用等领域研究。

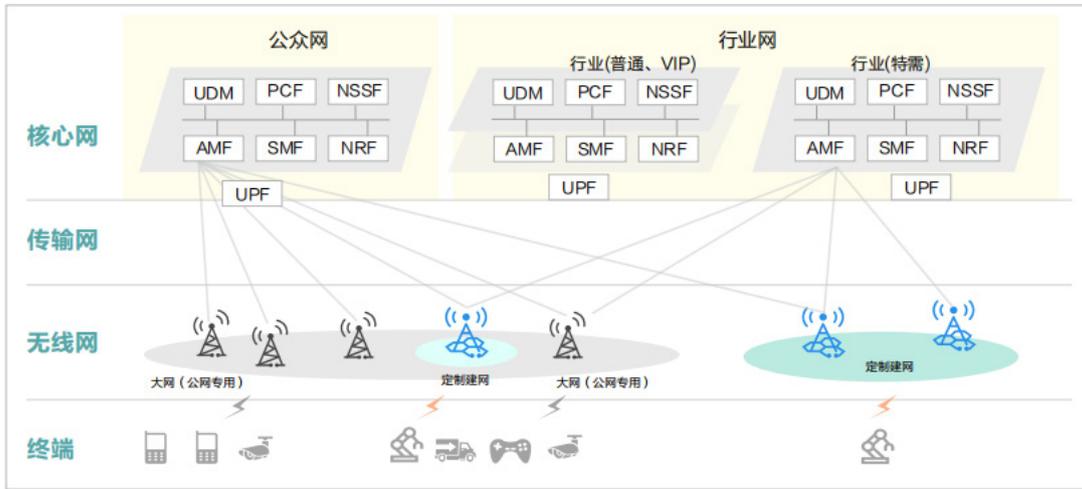


图 1 5G-A 专网架构示意图

## 2.1 5G-A 专网技术分类

5G-A (5G-Advanced) 是第五代移动通信技术的演进版本, 5G-A 比现有 5G 网络性能提升约 10 倍, 同时扩展支持通感一体、通算智一体、天地一体等新能力<sup>[2]</sup>。5G/5G-A 技术根据无线网、传输网和核心网进行架构, 5G-A 专网技术在无线网通过 QoS 保障、频谱资源预留、RB 资源预留及基站独享等技术, 在传输网支持 SPN 硬切片和软切片, 在核心网采用专属 UPF、专用 DNN 及切片关联等技术, 配合 5G-A 网络自有安全技术和应用层 IT 安全技术, 实现不同业务需求和安全要求。

无线网通过网优规划满足覆盖从而保障业务连续性, 可通过 QoS 分级、频谱资源预留、RB 资源预留及基站独享满足不同业务需求。5G-A 专网 QoS 优先级从高到低, 一般分为控制类业务、生产类业务、一般性业务 3 类。

传输网采用 SPN 组网, 能够支持硬切片和软切片, 通过以太网 TDM 通道切片实现切片硬隔离, 通过以太网基于 SR 的包交换通道配置 QoS 实现切片软隔离。

核心网采用 SA 独立组网架构, 采用虚拟化方式部署核心网控制面网元, 支持多层次容灾, 支持根据不同业务场景和业务系统来划分不同切片和 DNN。

5G-A 专网安全技术在无线网、核心网根据 3GPP 标准规范实现空口的信令面和用户面加密和完整性保护, 构建了网元级入侵检测安全能力、响应处置事件能力, 同时结合恶意程序监测处置平台、网络安全智慧中台、漏洞扫描管理平台等信息安全技术, 实现对 5G-A 网络上端到端行为的监测管控。

## 2.2 5G-A 专网安全技术

5G-A 专网安全技术能实现端到端安全保障。

### 2.2.1 终端→基站

终端接入 5G 基站, 通过基带芯片与基站协商, 通过空口无线资源控制 (Radio Resource Control, RRC) 信令以及空口业务数据的机密性和完整性保护机制保障无线接入

安全。

### 2.2.2 基站→核心网控制面网元

基站与核心网根据 3GPP 标准 SDAP、GTP-U 等协议进行传输链路加密保护, 同时基于恶意程序监测处置平台、漏洞扫描管理平台等安全监测手段, 实现对 5G 网络终端及用户行为的整体监测。

### 2.2.3 核心网控制面网元→UPF

核心网控制面网元与数据面网元 UPF 通过双线数字电路互联, 增强了系统稳定性, UPF 可以为客户专用, 实现本地数据终结, 保证内部应用数据的安全性。

### 2.2.4 UPF → LNS 网关

提供用户侧网元级入侵检测安全能力, 识别网元、主机、VM、进程等多维资产关联关系, 识别业务配置和系统配置风险, 识别操作运维事件、入侵检测事件, 实现基于业务的端到端安全闭环能力。

### 2.2.5 DN-AAA 服务器

可以部署 DN-AAA 服务器在客户侧专网, DN-AAA 认证流经 UPF 转发与 SMF 信令交互, 实现用户侧业务接入的二次认证, 同时与 LNS 网关对接, 实现用户侧应用访问白名单功能和审计溯源功能。

### 2.2.6 基于国密的 PKI 系统

引入基于国密的 PKI 系统能进一步加强业务安全和数据安全, 结合基于超级 SIM 卡的安全芯片和密钥存储能力, 实现空中发证、证书撤销、证书黑名单等功能, 提供安全、高效、便捷的登录、审批等身份认证服务, 为应用安全提供 IT 安全保障。

## 2.3 5G-A 专网应用模式

公网共用 (优享): 提供广域无线资源, 通过 QoS、DNN、网络切片等手段, 实现业务逻辑隔离, 满足对特定网络速率、时延及可靠性的优先保障需求。

公网专用 (专享): 通过增强覆盖、边缘计算等技术, 采用 UPF 用户面下沉方式, 满足数据不出场、超低时延、

专属网络的需求,实现数据流量卸载、本地业务处理。

专网专用(尊享):通过基站、频谱、核心网设备的专建独享,满足超高安全性、超高隔离度、定制化网络的需求,达到专用5G-A网络定制效果。

### 3 5G-A 专网技术场景应用

#### 3.1 高安全 5G-A 场景应用

随着数字化、国产化和5G-A基础设施的普及和深化,党政机关、执法部门乃至军事单位对于办公执法等移动应用需求更为明确,同时对安全性提出了更加严格的要求。传统的基于VPN拨号或零信任等技术实现远程接入和安全管理无法满足需要,5G-A专网技术和5G-A专网安全技术的叠加应用恰逢其时,能够满足高安全要求的移动场景应用。5G-A专网技术能为移动应用提供无线专用传输链路,提供独立的移动数据专网,实现高速5G移动网络承载。5G-A专网安全技术除了运营商端到端安全认证加固外,结合用户局域网内DN-AAA等设备和国密PKI系统实现二次鉴权和加密功能,同时应用国密超级SIM卡从而实现CT和IT两套系统的人证卡号多重校验,保障应用安全和数据安全。

#### 3.2 高可靠 5G-A 场景应用

随着全天候高等级保障任务的要求升级,以及类似低空经济、车路云一体化等业务需求的深化和明确,全天候移动执法和网联无人装备安全专网等高可靠5G-A移动场景应用亟需解决方案。

全天候高可靠移动执法应用,可以通过5G-A专网技术实现双DNN配置,由移动终端在应用中进行DNN的选择切换或同时保活,实现不同的可靠性要求、安全要求和带宽要求的应用承载在不同DNN和切片中,同时保活的不同路由路径的DNN传输网络也能大幅提升业务可靠性。在特定强管控场景下可结合基站定位,强制地域范围禁用公网访问权限,实现高可靠的数据保密要求。

当前如火如荼的低空经济和车路云一体化等网联高可靠应用场景,可以通过5G-A专网技术,制定一套5G/5.5G/6G安全专网的演进式实现路径标准,在网联无人装备上通过专属切片向公安、空管、交通等监管部门报备飞行任务、控制信令、变更授权、位置、速度、高度、方向等实时信息,在不影响业务控制流和数据流的转发的前提下,满足实时监管要求,更好地促进相关产业健康有序发展。

#### 3.3 边缘计算 5G-A 场景应用

随着5G-A技术向6G快速演进,云智算一体、5G-A通感一体等强边缘计算数据赋能的应用场景逐步浮现,

5G-A专网技术的自带边缘计算属性能为该类别边缘计算应用场景提供解决方案。

5G-A通感一体技术融合了雷达感知机制,结合大规模天线阵列与波束赋形,在基站侧边缘计算节点通过通信信号处理算法,实现对无人机距离、速度、位置、角度等多维感知,同时由于网联无人机具有通信互联的特征,5G-A通感一体技术能够通过基站的智能化深度识别分析和无线信号分析手段,通过业务特征识别和无线特征识别将无人机流量筛选出来,基于通信数据分析对无人机进行进一步监视。类似的城市交通感知、近海船政监测等基于多模态监视感知的边缘计算场景应用,都可以应用5G-A专网技术提供解决方案。

### 4 总结与展望

随着5G-A专网技术和安全技术的标准化推进和实践验证推进,基于5G-A专网技术和安全技术去满足高安全、高可靠和边缘计算应用场景的解决方案必然会取得越来越好的成效。

未来,5G-A专网技术可以进一步推动云端融合,在政务专网、业务专网由基础网络向综合性信息基础设施转型升级中发挥重要作用<sup>[1]</sup>,也能够推广到教育、文旅、医疗等更多行业和更广阔的应用场景。5G-A专网技术可以应用于优化政务外网,建设固移融合的政务外网“一张网”,增强政务外网泛在接入能力,促进各类非涉密专网向政务外网整合,满足复杂场景下的网络接入,提供高质量高安全的政务数据服务,实现更多政务服务事项网上办、掌上办、方便办的创新之举。在智慧校园场景中,随时随地访问校内资源,并将内网与公网隔离,提高安全性;在智慧文旅场景中,游客以免签约的方式体验景点专业解说、VR/AR等互动类资源;在智慧医疗场景中,医护人员不受时间地点限制,随时随地访问内网应用,实现移动查房、远程会诊,安全快捷地访问内网和外网。此外5G-A专网技术还能够推广到低空安防、车路云协同、国防监视等更多行业和更广阔的应用场景<sup>[4]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 李雯雯,吴博,陈丹,等.面向强监管行业的5G三重安全防护技术研究[J].邮电设计技术,2025(2):77-82.
- [2] 刘冉.对低空经济背景下5G-A通感一体基础设施规划的思考[J].智能建筑与智慧城市,2024,(S1):4-6.
- [3] 梁晓辉,刘志峰,林竹蓉,等.基于5G专网分流技术的政务行业应用解决方案研究[J].通信与信息技术,2023(06):65-69.
- [4] 周承书.基于5G专网的智慧政务应用方案研究[J].中国新通信,2024,26(1):82-84,172.

# Application of Computer Vision Technology in Intelligent Agricultural Machinery

Juan Chen Zhipeng Cao

Qufu City Financial Performance Evaluation Center, Qufu, Shandong, 273100, China

## Abstract

As a cornerstone of the national economy, the modernization of agriculture is crucial for food security and the implementation of rural revitalization strategies. With the rapid advancement of technologies such as artificial intelligence, the Internet of Things, and big data, intelligent agricultural machinery has emerged as a key approach to overcoming traditional agricultural challenges. In recent years, to enhance the intelligence of agricultural machinery, an increasing number of machines have adopted computer vision technology. This paper explores the application of computer vision in intelligent agricultural machinery, focusing on several key issues and exploring its potential applications.

## Keywords

computer vision technology; intelligence; agricultural machinery

# 计算机视觉技术在智能化农业机械中的应用

陈娟 曹志鹏

曲阜市财政绩效评价中心, 中国·山东 曲阜 273100

## 摘要

农业作为国家经济的基础产业, 其现代化进程直接关乎粮食安全与乡村振兴战略的实施。随着人工智能、物联网、大数据等技术的快速发展, 智能化农业机械成为突破传统农业瓶颈的核心路径, 近几年来, 为了提高农业机械的智能化程度, 越来越多的农业机械采用了计算机视觉技术。本文从计算机视觉的角度出发, 对其在智能化农业机械上的应用进行了深入的研究, 并针对其中的几个关键问题进行了深入的研究, 并对其在智能化农业机械上的应用进行了探索。

## 关键词

计算机视觉技术; 智能化; 农业机械

## 1 引言

随着现代农业机械技术的发展与普及, 农业机械智能化已成为我国农业机械产业可持续发展的重要保障。将计算机视觉应用到智能农业机械上, 不但符合目前农业现代化发展的需求, 而且有利于促进农业机械进一步实现更高的自动化和智能化。如何更好地将计算机视觉应用到智能农业机械中是目前多个交叉学科研究和亟待解决的问题。

## 2 计算机视觉技术在智能化农业机械中的应用优势分析

### 2.1 利用图像识别能力, 提高农业工作效率

计算机视觉有着很强的图像处理和识别能力, 将计算机视觉有效运用于农业智能化农机装备中, 能够对田间作业环境的多样性及复杂性进行精准检测, 使农机对目标作物、

田间环境及障碍物的检测更加快速、精准, 加快农田作业过程的精准、自动化及智能化发展。比如, 利用这种技术的图像识别功能来分析复杂的工作过程, 可以排除掉一些不需要的田间工作步骤, 从而大大减少工作时间, 使农业机械的工作效率得到进一步提高。另外, 通过对图像的采集和识别, 可以使计算机视觉能够更好地适应不同的操作需求, 实现精细化管理目标。

### 2.2 利用数据处理与计算能力, 提升农业机械操作准确性

计算机视觉系统能够在较短的时间内对数据进行快速的处理, 从而使其能够被广泛地应用于各行各业。通过对预先获得的影像资料的快速处理和运算, 可以根据实际需要, 有选择地使用最后的成果, 并为后续作业方案的优化提供参考。本项目以此为基础, 将计算机视觉技术合理地运用到智能化农业机械上, 充分利用其对数据的快速处理和运算能力, 可以得到更加精确的分析结果。基于上述研究, 可以优化现有农业机械工作的整个过程, 提高农业机械的作业精

【作者简介】陈娟(1979-), 女, 中国山东曲阜人, 本科, 工程师, 从事机械工程研究。

度,进而提高农业机械的自动化和智能化水平,最大限度地满足现代农业生产的需要<sup>[1]</sup>。

### 3 智能化农业机械的主要技术类型

#### 3.1 绿色维修

所谓绿色维修就是在不损害自然生态及农田环境的条件下,最大限度地降低能源的运用,高效地替代维护农机化机件的一种维修方式。利用现代化手段进行绿色维修,使资源消耗降到最低,同时也避免了农田生态及周围自然环境遭受破坏,同时在对设备的维护中对废弃物料的排放进行了控制,从而促进农机向绿色、环保及可持续性发展方向前进。

#### 3.2 人机协同

农业人机交互指的是在农业作业过程中,利用互联网对机器的终端设备进行农业生产者之间科学交互作业,从而保障农业作业精度和效率。通过结合农业人机交互设备,不仅能够大幅度提高农业机械的作业精确度与作业效率,同时还会达到对农业机械进行实时检测并感知故障的目的。在此前提下,结合数据库管理、GPS系统精准定位与人工智能计算方式,计算机可实时对农业作业进行快速的资料搜集、资料分析、资料归纳,而后形成闭合回路信息并回馈给操作人员,操作人员根据信息与回路反馈,就能够获得更加科学、合理的操作建议,大幅度提高农业机械运作效率。

#### 3.3 机械自动化

农用机械自动化的设计初衷是应用智能化的自动控制技术使自动化机械完成预定的操作,自动完成农田的耕作、播种、施肥、收割等工作,减少人力成本的投入。农业机械化推广的实现既有利于提升土地利用效率,有利于降低劳动力人口数量和人工费用的付出,农用机械研发厂家应围绕农业发展的状况,加强机型的自动化改造与研究,进一步推进机械自动化控制技术应用在产品的设计、研发和制造过程中的深度,提升农用机械的工作效率及作业水平,推动农用机械更高质量和更高效地发展。

## 4 计算机视觉技术在智能化农业机械中的应用实践

#### 4.1 智能化导航

在农业机械导航方面,计算机视觉技术在三个层次上的应用:1)行驶轨迹分析和状态监控:目前,为了提高农业机械无人驾驶的准确性,通常采用计算机视觉和GPS相结合的方法,对传统的卫星导航进行辅助。针对卫星导航路径规划容易受到地形、作物分布等因素影响的问题,本项目提出一种基于计算机视觉的农业机械运动轨迹识别方法,实现对农业机械运动轨迹的准确把握。2)“障碍物探测及预警控制”:利用可视化影像获取和处理方法,对道路上的障碍物(如田埂、树木、机具等)进行实时探测,并对其进行预警,以指导其躲避障碍物,保证其安全和顺利地行进。3)复杂操作的协调控制:利用计算机视觉技术,

与农业机械控制系统进行深度融合,实现对农业机械的精确操控。例如,在农用植保作业中,通过采集作物的密度、生长状态等视觉信息,实现农药喷洒量的动态调节,实现“导航—操作”的精确匹配<sup>[2]</sup>。

#### 4.2 果蔬采收

农业机械中常见的人工采摘农产品的劳动消耗比较大,导致其生产效率较低,采摘工作人员的工作也十分辛苦,在大田农业生产中显得效率不高。近年来,随着计算机图像处理等视觉识别技术的进步,农业机械在采摘过程中机器代替人工进行作业的效率也得到了极大提升,借助高速拍照功能和图像传感器采集现场的图像,在机械上安装视觉识别算法就可以快捷准确地识别出农作物中的目标果实与环境之间的对比度,快速定位识别目标果实。基于图像识别的农采摘技术不仅能够识别农作物中目标果实,还能够根据图像中目标的着色、大小、亮度、阴影、光泽的变化识别出农作物的成熟度,实现先进先出优先采收成熟度高、色泽好的果实。

#### 4.3 防治病虫害

作物病虫害防治工作一直被认为是影响作物产量及质量的主要因素。农作物的病虫害防治工作主要是人工通过经验判断开展病虫害监测工作,不但消耗大量的人力及物力,还存在监测手段主观性强的问题。利用计算机视觉处理技术可以在农作物的叶片、茎秆上实时捕捉图像进行图像识别,从而确定农作物上是否发生病虫害、何种病虫害的发生类型,及时做到农作物病虫害防控处理,如对玉米的叶斑、锈病、灰斑等作物病害进行准确判断分类,并可以为该作物制定合适的防控措施提供参考。另外,也可应用于一些小型害虫的识别和数量估计,例如蚜虫、红蜘蛛等小型有害生物图片的特征提取并结合作物类型、区域生态环境分析它们对作物的潜在危害程度,算得图像中虫口数量、活动分布及发展动态等信息,指导农业工作者更有针对性地开展防控措施<sup>[3]</sup>。

#### 4.4 筛选农产品

在电子商务和“互联网+”农业背景下,农产品由农业流导向流通渠道的时间大大缩短,农产品进入流通之前加工处理的过程中对农产品进行分类、分级成为附加值较高的操作步骤。基于计算机视觉的大规模农产品快速图像抓取和提取,采用颜色、大小、外观完整程度等参数进行自动化分类和等级分级处理。采用特定的图像识别软件和硬件平台,农产品在运送的过程中可通过摄像头即时获取,系统对得到的图像进行边缘、颜色、几何等分割计算,通过图像分析得出产品是否出现变形、破损以及附着异物等缺陷。试验结果显示,对山核桃用视觉系统进行尺寸、横径、容积等多种特征的建模,可以实现分级的精准辨别。同样,通过对马铃薯进行大小系数评价也可以进行大、中、小三种粒度的分级,分级的准确性和稳定性大大优于人工。

#### 4.5 监测农作物生长环境

运用计算机视觉能实时开展农业作物的生长环境的监

测与精确度分析,以获取土壤含水量、土壤营养状况及光照状态等影响作物生长的主要参数,并根据采集的作物生长地点的图片进行相关处理,评价环境参数是否能够满足目前作物生长环境的合适需求,为完成各种因素(如施肥、灌溉、光照)的农业操作提供基础条件。在此基础上,利用计算机视觉获取的图像数据,对田间水分亏缺进行定量评价,对叶片纹理进行定量评价,对作物养分含量进行定量评价,对作物长势进行预测。基于以上研究,为提高农田生态环境监测的准确性,还需要加强对环境数据的分析处理和计算,使其更加精细<sup>[4]</sup>。

#### 4.6 农产品加工

新时期经济高速运行的背景下,农产品加工技术不断优化,大量的农副产品走出国门,开展与国际市场的竞争。对于农产品的加工程度,想要进一步提升产品附加值和市场认可度,必须依靠科学而完善的加工技术来进行协助,先进的、精密的加工装备则是完成目标任务的必要因素。将图像识别技术成功运用在农业机械加工模块中,一方面保证加工精度,另一方面大大节约机械的加工时间。如在果蔬分选的环境下,通过图像捕获装置对苹果的图像信息进行捕捉,并自动将颜色和体积等参数进行识别与判断,然后基于用户设定的标准,自动打开机械分选装置将不同等级的苹果送入到指定的打包传送线中,完成自动选级、打包的过程。将计算机视觉作为识别的对象,减少了人工操作失误对分拣效率及分拣结果精准度的影响,保证了整套分拣包装系统技术的合理性和规范性,可以说开展农业加工领域计算机视觉的相关研究工作和实践,对实现农业机械的信息化转变过程来说至关重要,同时也有利于增强国内农产品在市场国际竞争中占据的优势。

### 5 计算机视觉技术在智能化农业机械中的应用建议

#### 5.1 强化政策支持体系,注重队伍建设

从农业机械的智能化升级就是发展农业生产的一个重要发展方向,并且解决现阶段农业生产阻碍的基本方式,也是实现农业绿色高效现代化生产的重要途径。所以,农机管理部门应当着眼于当地农业资源构成以及农业机械的使用现状,合理安排调查分析活动以及需求分析,并制定相应的农业机械发展政策,进而引导农民积极接纳农业机械。同时要高度重视并着力推进计算机视觉等新技术同农机的深度融合,形成“科研—企业—农户”合力的创新互动,推动应

用与成果的有效转化。如可以建立产学研联合实践平台,搭建“实习示范基地”“智能农业实验站”等,开展农机院校与高新技术企业共同参与农机人才和技术创新工作。

第四,强化对农业科技人才的储备和培育工作,大力引进农业高层次人才、提高本地人才培训的步子,提高整个农业系统对于高技术装备的持有水平,在此基础上普及视觉感知、自动识别等相关技术在农业机械中的应用,可以显著提高整个农业装备的智能化水平和使用效果,促进乡村振兴战略的开展。

#### 5.2 完善监管体系,推动农业机械智能化规范运行

要保证我国农业机械设备智能化的长远发展,必须建立相关的管理制度和实施规范,在设备的应用使用过程中更好地优化管理。现如今,虽然电脑图像学在我国农产品检测分级包装领域中取得了较大的效果,但是在机械装置应用管理、行业规范、技术鉴定等方面仍然缺乏相应的管理制度。为此,需要将重点放在完善农业机械的智能管理系统上,并将重点放在农业机械研制和生产过程中的监管和检查上。此外,定期举办有关计算机视觉技术的专题讲座,以提高广大农民的科技意识和掌握程度。另外,为了达到招商引资和产学研相结合的目的,需要增加对农业机械科研项目的投资,坚持“招得来、用得好”的原则,加强对地区农业机械人才的培养,促进计算机视觉技术与农业机械智能化的深度融合,从而帮助农业生产达到高效率、可持续化发展。

### 6 结语

总之,在智能化农业机械上运用计算机视觉技术,是目前农业机械化发展的一个主要方向,为实现农机的自动化、智能化和信息化奠定了基础。计算机视觉技术的运用,可以提高智能农机的精度与效率,减轻农民的劳动强度,改善作物的产量与品质,这对农民的经济效益有着很大的帮助,可以推动国家的农业机械化水平不断提高,助力乡村振兴。

#### 参考文献

- [1] 薛继顺,田翠萍,李佰福.智能化农业机械的应用与安全管理[J].农机质量与监督,2025(03):11-12.
- [2] 王美霞.智慧农业视域下农业机械智能化技术的应用[J].河北农机,2025(06):42-44.
- [3] 卢万红.农业机械维修保养智能化管理模式研究[J].南方农机,2025,56(05):60-62.
- [4] 王文超.农业机械的自动化与智能化发展及应用情况分析[J].河北农机,2025(05):61-63.

# Discussion on the application of wireless transmission technology in 5G communication

Zhihua Wang

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

## Abstract

The continuous advancement of information technology has significantly boosted the development of various industries and fields, as well as greatly improved people's daily living standards. 5G communication, an advanced mobile communication technology that evolved from 4G, plays a crucial role in social and economic development and public welfare. Its application scope is expanding, significantly enhancing the performance of network systems and various information platforms. 5G mobile communication, built on the foundation of 5G technology, offers significant advantages in improving communication quality. Wireless transmission technology, which is essential for 5G communication, is key to addressing many 5G application challenges.

## Keywords

5G communication; wireless transmission technology; application

## 5G 通信中无线传输技术的应用探讨

王志华

中国联合网络通信有限公司江苏省分公司, 中国·江苏南京 210000

## 摘要

信息技术水平的不断提升,对各个行业、领域的发展形成了极大推动,同时也极大地推动了人们日常生活水平的提升。5G通信是基于4G技术发展升级形成的新一代移动通信技术,在社会经济发展与民生建设等方面都发挥着十分重要的作用,其应用范围也在不断扩大,大大提高了网络系统以及各种信息化平台建设与使用性能。而5G移动通信更是以5G技术的应用为基础构建的新一代通信技术,在提高通信质量方面有着明显优势。而无线传输技术在5G通信中有着十分重要的应用,是解决诸多5G应用问题的关键技术。

## 关键词

5G通信;无线传输技术;应用

## 1 引言

信息化快速发展的时代背景下,通信技术成为人们生产、生活不可或缺的重要应用。网络信息环境也因5G技术的应用变得更为稳定、高效、安全。而在5G通信体系中,无线传输技术作为核心技术,也是5G通信实现突破升级的关键,其应用探讨也是5G通信水平持续提升的重要方向。

## 2 5G 网络架构

5G网络架构是以服务化和模块化设计理念,基于云原生架构而打造的,总体架构分为接入网、传输网以及核心网三个部分。其中,接入网在引入大规模MIMO以及波束赋形技术的基础上,将密度更高的小基站与宏基站相结合,进行协同工作,能够达到增大覆盖范围、提高频谱利用率的目的。

的。5G新空口(NR)支持灵活帧结构和多样化的子载波间隔配置,可以根据不同的无线场景下对无线传输的要求进行合理的设置。在传输网络中引入了分层转发、灵活编排方式,并采用了高带宽、低时延光纤通信,使用IP/MPLS等协议栈将基站相互之间,以及基站与核心网之间联通起来,实现基站到核心网间的快速互联互通;通过对传输路径采用动态调度和负载均衡,使得网络具有一定的弹性化调度能力,在面对大并发业务情况下,也可以保证网络的运行稳定。此外,核心网采用的服务化功能实体基于NFV+SDN进行资源抽象和集约化管理,将用户面功能、控制面功能分别独立部署,以UPF为主要网元的分离部署可以提高数据转发效率,同时支持边缘节点的数据本地卸载。而网络切片功能作为被内嵌的功能可以面向各种垂直行业业务场景实现按需的虚拟网络环境配置,从而保证业务运行的隔离性和确定性。最后,将分析功能嵌入网络内部的同时,利用AI相关算法对网络状态进行实时调整,增强了整个通信系统的自适应性及

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

智能性。

### 3 5G 通信中无线传输技术的应用分析

#### 3.1 网络切片技术

网络切片是 5G 无线通信网络中的关键创新技术，其允许在共享的物理网络基础设施中构建多个虚拟、隔离的网络切片。在通信网络运行期间，每个切片能够结合相应业务或服务需求，进行针对性设计和管理，进而满足多元化的业务和服务需求。利用 SDN/NFV、SR/SRV 等技术手段，在切片构建过程中需要将控制面和转发面解耦，并结合虚拟资源编排框架，根据当前不同切片带宽、计算和存储资源的需求，合理分配和动态重构资源。同时利用切片管理实体进行统一调度，完成整个网络切片的生命周期管理（即网元的创建、部署、监测、回收流程），并与网络服务编排器协同，达到资源跨域调度的目的。网络切片管理架构如图 1 所示。

在 5G 网络典型业务场景中，网络切片具有良好的匹配性和目标聚焦性。对于增强型移动宽带（eMBB）场景，切片系统需要针对高吞吐量、高速率的传输需求，对切片参数进行优化配置，为用户提供稳定高效的超高清流媒体和沉浸式 VR / AR 等服务；对于超高可靠低时延通信（URLLC）网络切片可以满足其低时延和高可靠的传输需求，适用于工业级控制、远程医疗等业务；在大规模机器类通信（mMTC）模式下，切片可以针对终端高并发接入以及低功耗传输的要求，对其进行合理的调度，从而充分利用 mMTC 资源。

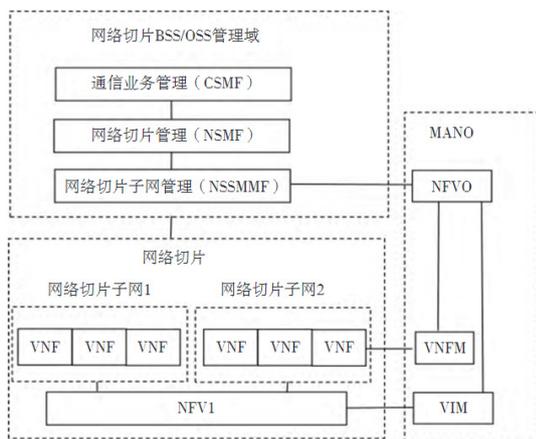


图 1 网络切片管理架构

#### 3.2 软件定义网络（SDN）技术

SDN 是 5G 通信架构的主要网控和资源调度方案，把网络设备控制面和数据面功能分离、集中控制的 SDN 架构能够使网络根据现状感知来确定路径，按需下发策略。该架构包括数据转发层、集中控制层、上层应用接口及策略管理模块，通过多层协同、集中控制的形式组成了以集中控制为核心能力的 SDN 网络系统。同时，SDN 可使用开放接口（OpenFlow）实现南向设备统一编程，使运营商可以基于

实际需要针对数据路径、访问权限、资源分配策略等进行调整，完成异构网络跨域资源统筹调度，并实现不同业务的差异化需求。另外，还可以通过与 NFV 平台对接实现与网络功能之间的有机融合与相互促进，使业务服务能够更加便利地接入和运行到云计算平台上，同时使硬件资源发挥更大的效力，最终达到更好的弹性扩充效果和服务链部署效果。

针对 5G 网络复杂的资源环境，通过使用 SDN，可以统一对资源池中实体资源实施调度，将当前的设备利用率提高，进而实现对于设备冗余配置所带来的消耗成本的减少，为 5G 网络运维中的资源高效率运维提供了有力的技术保障。

#### 3.3 网络功能虚拟化（NFV）技术

NFV 技术是通过虚拟化手段将原需由专用硬件实现的网络功能，转换成可在通用硬件平台上以可编排的形式运行的软件应用实例。NFV 通过引入虚拟化层和虚化接口来实现网络功能与物理资源之间的解耦，形成一套灵活度高且资源可弹性的网络系统。NFV 架构的主要组成就是 NFV 编排与管理（MANO）系统，包括网络功能虚拟化编排器（NFVO）、虚拟基础设施管理器（VIM）、虚拟网络功能管理器（VNFM）。在网元设备的全生命周期过程中需要使用这些不同的模块对网元设备进行编排和生命周期的维护管理，以及对网元的运行状态进行监控并且进行相应的故障恢复处理。

#### 3.4 大规模多输入多输出（Massive MIMO）技术应用

大规模多输入多输出技术（Massive MIMO）是支撑 5G 无线通信系统的基石，在基站侧部署集约化的高密度天线阵列能够进行空间信号复用和资源重组，借助 CSI 反馈得到的目标用户的空间波束，能够将目标用户的信号重点投递到目标用户上，从而降低同频干扰，增加系统容量。Massive MIMO 中每个天线子单元各自负责资源调度，其中零强干扰预编码（ZFPre coding）、最小均方误差（MMSE）接收算法等可以抑制多用户之间的干扰耦合。在具体部署阶段，应配备高效的信道估计方法，让其能够与 TDD 模式下的双向链路协同相适应。同时系统侧还需动态调整波束赋形策略，结合用户空间分布特征实施多维空间调控，以确保传输链路的稳定性与覆盖范围的均衡。在高速移动或复杂环境下的 Massive MIMO 可以通过生成虚拟阵列通道的方式对信号能量进行定向合成，解决多径衰落与路径损耗问题。并且基于频谱感知调度技术，实现高低频资源协同调度，提升系统频谱利用率与链路可靠性。

### 4 5G 无线通信技术的重要应用场景

#### 4.1 在安卓系统中的应用

5G 通信的应用范围正随着信息技术的应用发展而不断扩大，以稳定、高效的数据信息传输，为用户提供了沉浸式体验，尤其是能够实现对不同系统的高效兼容，大幅提高了 5G 通信质量。安卓系统作为 5G 通信的兼容对象之一，融

合无线传输技术的应用也是其提高数据传输效率较为重要的发展趋势。当前，安卓系统在智能电子设备中有着较为广泛的应用，并且随着用户需求的不断提升，智能电子设备中的软件应用也越发丰富，对安卓系统信息承载提出了更高要求。无线传输技术的应用在较大程度上优化了安卓系统的运行环境，在系统程序框架层、内核层、运行库等各个架构中的应用，实现了硬盘驱动与系统基础文件运行的精准分离。以及将无线传输技术应用安卓系统，实现了用户数据与云端系统的更新同步，有效节约了设备的内存空间，有利于延长设备的使用寿命。5G通信下的电子设备具备较高的信息传输效率，尤其是无线传输技术在安卓系统中的应用，很好地解决了系统运行卡顿、故障等问题，电子设备的运行性能得到明显优化，为5G通信系统的建设提供了基础保障。

#### 4.2 在数据信息库中的应用

5G通信作为新一代通信移动技术，在移动通信的发展领域中具备里程碑意义，也是当前许多新型通信技术、设备等研发的重要基础，推动着通信网络全覆盖的发展。5G技术下通信行业得到快速发展，并表现出了巨大的经济价值，同时社会经济的发展也对5G通信的创新应用提出了更高要求。而无线传输技术作为5G通信的核心技术之一，在优化和完善数据信息库系统功能方面发挥重要作用。信息数据库运行过程中无线传输技术的应用能够提高各类数据信息的整合效率，促进通信系统的集成化发展，加快多系统运行融合，在对前代通信技术优势进行整合的基础上不断完善5G通信系统运行，在无线传输技术的应用下数据信息库中各个网络节点得到了有效连接，提高5G通信系统中各个节点数据信息的整合、归纳效率。

#### 4.3 远程视频会议系统

基于5G网络的远程视频会议系统实现了高并发、多终端接入的高效率数据传输，数据吞吐量大大增加。由于5G网络采用的是低时延传输，所以它也避免了以前由于网络传输慢而造成画面不连贯或者语音不同步的问题，实现更真实有效和更快速的交互。加上不同的频段和带宽分配给了相应的频点，使信号在这些频点上传输更加稳定，能抵抗更多的干扰。并且通过网络切片技术给远程视频会议专门进行切片，让其可以根据业务划分不同的网络资源使用。除此之外，利用视频编码技术和5G大带宽协同工作能够实现高清甚至是8K超高清的画面快速、流畅传输，适应各行业的精细化精度要求。例如：某家三甲医院将远程会诊平台部署到其所在地区的边远地区部分基层医疗机构当中，采用网络切片技

术来分隔出专属音视频通信通道，为音视频通信分配高可靠的低时延资源，使得会诊专家可以与边远地区的基层医生开展面对面交流。由于专家具有超低时延的特点，这使得专家可以像在现场做手术一样对千里之外患者的CT图像和生命体征等相关信息进行分析，指示并指导现场的医师实施相应的手术治疗，且不会出现任何画面卡顿、语音滞后等情况，极大提升了远程诊疗的准确性以及诊疗的时效性。

#### 4.4 自动驾驶

5G通信网络用超低时延、高带宽等优势，为自动驾驶系统提供一个可靠的V2X通信网络基础，可实时进行数据交换，实现车与车之间、车与基础设施之间的信息实时同步，保障自动驾驶系统在各种复杂路况下的动态决策功能。利用网络切片技术给自动驾驶车辆分配数据通道专属资源，并设置通信链路优先级，实现通信链路的稳定运行。同时也可以避免因为网络拥塞导致通信链路发生较大的延时变化。比如目前某省交通运输厅联合车企和通信运营商对一特定路段进行了改造成为智慧高速公路试点，由此搭建的基于5G-V2X架构的自动驾驶示范段当中就通过5G网络让RSU、毫米波雷达、摄像头和边缘计算节点这些路侧感知设备与车辆完成了高频率、低时延的数据互动。以L4级别自动驾驶测试车为例，当出现交通堵塞或车祸等情况的时候，路侧设备就会迅速通过5G网络把警示信息发送给车辆内的车载系统，从而使车辆能在数毫秒时间内做出变道减速反应。

### 5 结语

综述可知，无线传输技术在5G通信中的应用有着较为重要的意义与价值，充分发挥无线传输技术应用优势，能够显著提高5G通信质效，也成了当前5G通信领域发展的重要研究对象。相关企业、单位需要重视加强对无线传输技术在5G通信系统构建中的深入应用，准确把握和充分发挥无线传输技术优势，准确把握技术要点，降低通信成本，提高5G通信质效。

#### 参考文献

- [1] 易斌.5G通信大规模天线无线传输技术分析[J].中国新通信, 2023,25(19):15-16.
- [2] 郭彩萍.5G通信中无线传输技术的应用分析[J].通讯世界, 2021,28(4):81-82.
- [3] 吴守成.试论5G通信传输网络的建设策略[J].微电脑世界, 2020(2):2.

# Research on optimization of wireless network coverage accuracy based on MR location distribution

Chao Tian<sup>1</sup> Yisheng Lv<sup>1</sup> Lei Jiang<sup>1</sup> Yuande Zhu<sup>2</sup>

1. China Unicom Anhui Branch, Hefei, Anhui, 230031, China

2. Beijing Zhongwang Huatong Design Consulting Co., Ltd., Beijing, 100000, China

## Abstract

In today's rapidly evolving communication technology, users' expectations for network coverage quality are continuously rising. As user mobility increases and urban development progresses, the layout and form of urban buildings have significantly changed, making the wireless signal propagation environment more complex. This study focuses on improving the accuracy of communication network coverage. To address the limitations of traditional optimization methods, a strategy based on MR location distribution is proposed. By constructing a model to quantify user distribution characteristics and integrating antenna radiation theory, this approach enables precise adjustment of coverage directions. Implementation has shown that this solution effectively enhances cell coverage accuracy, improves network performance and user experience, and provides new insights for network optimization in complex scenarios.

## Keywords

MR location distribution; coverage accuracy; azimuth optimization; network optimization

## 基于 MR 位置分布的无线网覆盖精准度优化研究

田超<sup>1</sup> 吕仪生<sup>1</sup> 江磊<sup>1</sup> 朱元德<sup>2</sup>

1 中国联通安徽省分公司, 中国·安徽 合肥 230031

2 北京中网华通设计咨询有限公司, 中国·北京 100000

## 摘要

在通信技术快速发展的今天, 用户对网络覆盖质量的期望不断攀升。随着用户移动性增强以及城市建设的持续推进, 城市建筑物的布局和形态变化显著, 这使得无线信号传播环境变得更为复杂。本研究聚焦通信网络覆盖精准度提升问题, 针对传统优化方法的不足, 提出基于 MR 位置分布的优化策略。通过构建用户分布特征量化模型, 结合天线辐射理论, 实现覆盖方向的精准调整。经实施验证, 该方案有效提升了小区覆盖精准度, 改善了网络性能和用户体验, 为复杂场景下的网络优化提供了新思路。

## 关键词

MR位置分布; 覆盖精准度; 方位角优化; 网络优化

## 1 引言

### 1.1 研究背景

部分站点原有的天线方位角设置难以适应这种变化, 与实际用户覆盖需求出现较大偏差。传统的提升覆盖精准度的方位角优化方法, 如规划仿真软件优化和现场工程师根据现场测试结合经验优化, 在实际应用中暴露出诸多问题。规划仿真软件法依赖高精度电子地图和完整工程参数数据库, 成本高昂且随着用户分布变化准确性降低; 现场工程师经验法虽灵活准确, 但耗时耗力、成本高, 且在室内用户覆盖优化方面效果不佳。因此, 探索一种更高效、精准且成本适宜

的优化方法成为通信领域亟待解决的重要课题。

### 1.2 研究意义

本研究旨在借助创新方法, 利用 MR (测量报告) 位置分布信息优化扇区方位角, 进而显著提升网络覆盖精准度。这不仅能够提高用户的网络使用体验, 增强通信服务的稳定性和可靠性, 还能为通信运营商降低运营成本, 提升市场竞争力。同时, 本研究成果对于推动通信网络优化技术的发展, 以及为其他类似场景下的网络优化提供借鉴具有重要的理论和实践意义。

## 2 相关概念与理论基础

### 2.1 关键概念解释

#### 2.1.1 MR 方位角

MR 方位角是表征用户空间分布的核心方向参数, 通过解析基站服务区域内所有 MR 样本点的地理位置数据,

【作者简介】田超 (1978-), 男, 中国安徽马鞍山人, 本科, 工程师, 从事无线网规划和建设研究。

用几何平均算法计算用户分布中心坐标位置，将该中心位置与小区天线位置相连，所形成的水平夹角即为 MR 方位角，它直观地反映了 MR 样本点相对于小区天线的方向，是衡量用户与天线位置关系的重要指标。

$$(x_c, y_c) = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \right)$$

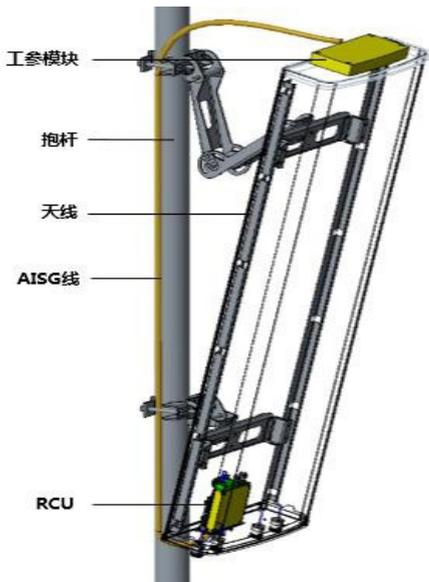
其中  $(x_i, y_i)$  为第  $i$  个 MR 样本点的经纬度坐标， $n$  为样本总量。将该中心点与基站天线地理位置连线，形成的水平夹角即为 MR 方位角，其物理意义反映当前天线覆盖区域内用户群体的空间聚集特征。

### 2.1.2 工参方位角

工参方位角是基站天线安装时预设的机械覆盖方向基准参数，由天线工参感知模块实时测量获得。该模块集成高精度电子罗盘（精度  $\pm 0.5^\circ$ ）与北斗定位系统，通过三维直角坐标系定义水平辐射方向。

$$\theta_{\text{工参}} = \arctan \left( \frac{y_A - y_{BS}}{x_A - x_{BS}} \right)$$

其中  $(x_{BS}, y_{BS})$  为基站地理坐标，为  $(x_A, y_A)$  天线相位中心投影坐标。作为网络规划的初始参数，工参方位角直接决定天线主波瓣的水平辐射模式，是覆盖优化算法的基准参照系。



### 2.1.3 用户 MR 分布集中度

用户 MR 分布集中度是表征基站扇区内用户空间分布聚集程度的量化指标，定义为用户实际方位角与扇区工参方位角的样本方差：

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\theta_i - \theta_{\text{工参}})^2$$

该指标用于描述扇区内用户位置的离散程度，可通过

计算扇区内所有用户实际方位角与扇区方位角的方差来表示。方差值越小，意味着扇区内用户分布越集中；而方差值越大，则表示用户分布越分散。用户 MR 集中度的提高可用于预测方位角调整后可能带来的增益大小。在相同的条件下，用户集中度更高的小区，在进行方位角优化后通常会获得更大的增益。

## 2.2 理论依据

研究发现，当小区下的 MR 方位角与天线主覆盖方向的偏差超过 30 度时，用户接收功率会相应降低约 1.5dB，小区的 RSRP（参考信号接收功率）均值也会随着 MR 方位角和天线工参方位角之差的增大而呈现下降趋势。（本结果是基于现网主力使用的 65 度波瓣角的天线的结论）

表 1 方位角偏差和用户接收 RSRP 关系



## 3 研究方法过程

### 3.1 实验设定

#### 3.1.1 单小区验证

选定一个问题小区 A 基站三小区开展相关验证工作。该小区 MR 方位角为 259.7 度，工参方位角 229 度，方差为 3.51。

通过网优平台查看，该小区覆盖下 260 度方向存在较多弱覆盖栅格。



图 1、优化前 RSRP 指标地理化

通过对现场无人机实测，发现该区域有多家企业办公楼和公租房住宅区。

将 A 基站 -3 小区方位角调整至 260 度，对比调整前后小区 RSRP、流量、样本数。

#### 3.1.2 覆盖情况

调整后 11 月第四周（11 月 20 日至 2023 年 11 月 26 日），观察该小区覆盖图层，改善明显。



图 2、现场实勘图

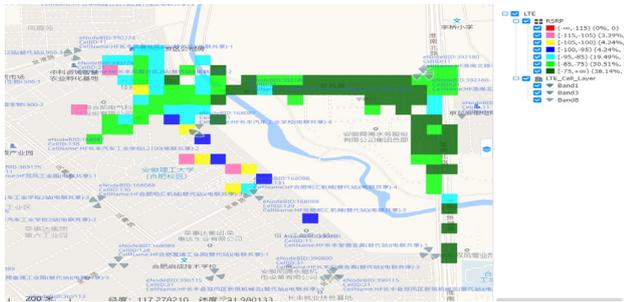
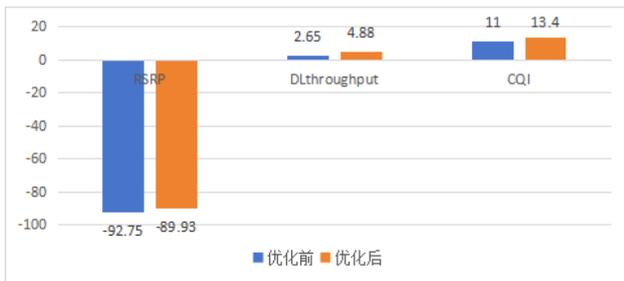


图 3、优化后 RSRP 指标地理化

### 3.1.3 指标前后对比

该小区下 MR RSRP 和速率等指标，和调整前对比，RSRP 均值提升 2.82dB，下行速率提升 2.23Mbps，CQI 提升 2.4。



对比第一周和第四周流量变化，增加 1693MB，提升比例 12.74%。

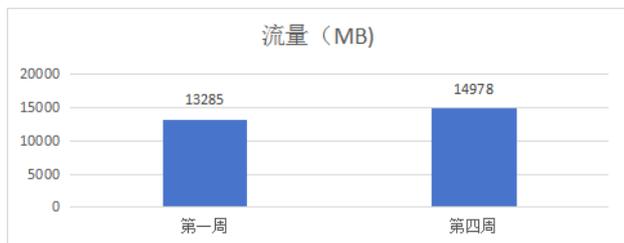


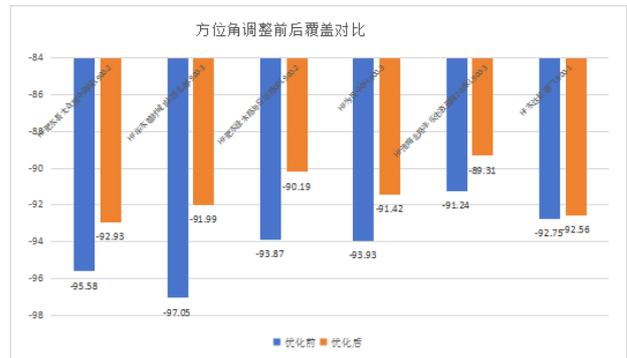
图 3、优化前后流量对比

### 3.1.4 多场景验证

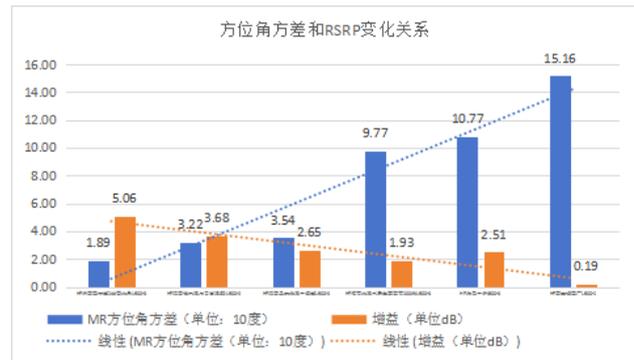
为了进一步验证实验效果，在本地网的 L900 小区中筛

选出 6 个不同场景的问题小区进行调整。

从网优平台查看该小区覆盖指标，MR 样本数从 195882 增加至 346665 个，RSRP 均值提升约 3.4dB。表明优化措施取得了显著成效。



但具体到单个小区，发现不同小区的提升效果存在差异，进一步分析发现，用户 MR 集中度高（即 MR 方位角方差小）的小区，调整方位角后 RSRP 变化更明显。例如，建材城 1 站西北角 L900-3 小区 MR 方位角方差为 1.890950（单位：10 度），调整后 RSRP 增益达 5.06dB；而修理厂 L900-1 小区 MR 方位角方差为 15.163185（单位：10 度），增益仅为 0.19dB。

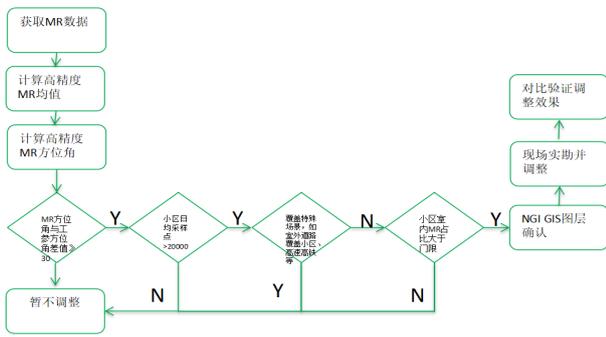


## 3.2 实验结论

从实验情况来看，基于用户 MR 样本分布的方位角优化方案能够有效提升网络覆盖精准度，主要原因在于其充分利用了小区所有 MR 点的数据，综合考虑了用户的分布情况，在公平性、效益性和稳定性方面实现了较好的平衡。同时，通过准确调整天线方位角，使更多用户位于天线主波瓣覆盖范围内，从而提高了信号强度和网络性能。

## 4 优化流程确定

对于 MR 方位角和工参方位角之差大于 30 度的这部分小区，可以通过调整天线方位角进行优化，减少两者差别，增加用户覆盖。优化流程步骤如下：



方案对策流程图

- 计算出小区下天粒度的高精度 MR 经纬度均值；
- 计算出小区下高精度 MR 方位角；
- 比较 MR 方位角和工参方位角差值绝对值 (绝对值大于 30 度)；
- 过滤小区日均样本点数 (>20000 个)，室内 MR 占比大于平均值；

## 5 效益评估

经网优平台数据统计分析，当前具有天线工参感知模块 L900 小区中，MR 方位角与工参感知模块方位角大于 30 度的小区共有 179 个。如果对这些小区进行优化，预期可以提升 179 个小区的覆盖增益约 1.52dB。1.52dB 增益可以等效成发射功率提升 40%。可认为在 179 个小区的基础上新增了 40% 的小区 60 个，对覆盖带来的增益相当于新建了 20 个 L900 站点，显著提升运营商的投资效益。

## 6 总结

本研究成功提出并验证了基于用户 MR 样本分布的方位角优化方案，有效解决了部分小区 MR 方位角与工参方位角偏差过大导致的覆盖问题。通过优化，提升了小区的 RSRP 均值，增加了 MR 样本数，改善了网络覆盖效果，为用户提供了更好的网络体验。

本研究主要针对合肥地区的 L900 小区进行优化，不同地区的网络环境、用户分布和建筑物布局存在差异，研究成果在其他地区的适用性需要进一步验证。此外，研究过程中虽然考虑了多种因素，但对于一些复杂的无线信号干扰情况，以及与其他网络优化技术的协同应用方面，还有待深入研究。

未来研究可拓展到不同频段、不同地区的网络优化，探索基于 MR 位置分布的优化方法在更广泛场景下的应用。同时，加强与其他先进网络优化技术的融合研究，如结合人工智能算法实现更智能的方位角优化，进一步提升网络覆盖质量和性能，以满足不断增长的用户需求和日益复杂的通信网络环境。

## 参考文献

- [1] 张婧,杨占春,唐俊,等.融合大数据技术的4G/5G MRO数据挖掘与应用研究[J].信息通信技术.2024,18(4).
- [2] 王荣,吴永俊,张健.一种基于MR大数据的频谱重耕网络覆盖性能评估方法与应用[J].江苏通信.2022,38(3).16-17,30.
- [3] 沈楠,赵春阳,余飞.LTE原始MR数据挖掘及在网络优化中的应用[J].科技与创新.2019,(9).D

# Technical principle, system design and application analysis of scale, Internet of Things and sensors

Ping Yao

Maoming Quality and Metrology Supervision and Testing Institute, Maoming, Guangdong, 525000, China

## Abstract

With the rapid advancement of industrial automation and IoT technology, traditional weighbridge systems are facing the need for upgrades in data collection, transmission efficiency, and intelligent management. This paper focuses on the weighbridge weighing system, integrating IoT architecture and sensor technology to explore an optimized design solution. By analyzing sensor types, data transmission protocols, and cloud data processing methods, the feasibility of IoT technology in weighbridge systems is demonstrated. The research findings indicate that an IoT-integrated weighbridge system can significantly enhance weighing accuracy, real-time performance, and management efficiency, providing technical support for smart logistics and Industry 4.0 scenarios.

## Keywords

weighbridge; Internet of Things; sensor; wireless transmission; data fusion

## 地磅、物联网与传感器的技术原理、系统设计与应用分析

姚平

茂名市质量计量监督检测所, 中国 · 广东 茂名 525000

## 摘要

随着工业自动化与物联网技术的快速发展, 传统地磅称重系统在数据采集、传输效率和智能化管理方面面临升级需求。本文以地磅称重系统为核心, 结合物联网架构与传感器技术, 探讨了系统的优化设计方案。通过分析传感器类型、数据传输协议及云端数据处理方法, 验证了物联网技术在地磅系统中的可行性。研究结果表明, 集成物联网的地磅系统能够显著提升称重精度、实时性和管理效率, 为智能物流与工业4.0场景提供技术支持。

## 关键词

地磅; 物联网; 传感器; 无线传输; 数据融合

## 1 引言

地磅作为大宗货物贸易的核心计量工具, 其性能直接影响生产、物流及贸易环节的效率与准确性。传统地磅系统多依赖人工操作与本地存储, 存在数据孤岛、响应延迟及维护成本高等问题。物联网技术通过传感器网络、云计算与边缘计算的结合, 为地磅系统的智能化转型提供了新路径。本文聚焦地磅系统的核心传感器技术、物联网架构设计及其在工业场景中的应用价值, 旨在解决传统系统的局限性, 并为智能称重领域提供理论支持与实践参考。

## 2 相关技术概述

### 2.1 物联网技术架构

地磅物联网采用感知层、边缘计算层、网络传输层与云边协同层的四层进阶架构, 其技术演进对比传统系统具有

显著优势:

#### 2.1.1 感知层增强设计

多物理量传感器阵列: 集成应变式 (量程 50t, 精度 0.05%)、光纤光栅 (应变分辨率  $1 \mu \varepsilon$ ) 与 MEMS 压电 (动态频响 1kHz) 三类传感器。应变式传感器采用康铜合金溅射薄膜工艺, 通过惠斯通电桥电路输出毫伏级信号, 经 24 位  $\Delta-\Sigma$  ADC 转换实现 0.1kg 分辨率。光纤传感器通过波分复用技术支持 8 通道同步监测, 空间定位精度达  $\pm 1\text{cm}$ 。

环境感知模块: 搭载 BME688 传感器监测温湿度 ( $\pm 0.3^\circ\text{C} / \pm 2\%\text{RH}$ ) 与气体成分, 当检测到硫化氢浓度超标时自动触发除湿机制, 防止传感器腐蚀失效。

#### 2.1.2 边缘计算层创新

异构计算平台: 部署 NVIDIA Jetson Xavier NX 模组, 集成 TensorRT 加速的 LSTM 网络, 实现每秒 3000 次的传感器数据融合运算。针对动态称重场景开发改进型卡尔曼滤波算法:

$$\hat{x}_{k|k} = \alpha \hat{x}_{k|k-1} + (1-\alpha)z_k$$

【作者简介】姚平 (1972-), 男, 中国广东平远人, 工程师, 从事质量, 计量研究。

其中自适应权重因子  $\alpha$  根据环境噪声方差动态调整 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )。实验表明,在信噪比 -5dB 时,该算法使信噪比提升 18dB,有效抑制随机振动干扰。

### 2.1.3 网络传输层优化

双模通信网络: LoRa 模块 (SX1276 芯片) 采用 CSS 扩频技术,在 SF=12 编码时实现 15.2km 传输距离 (空旷场地),误码率  $<10^{-6}$ 。NB-IoT 模组 (BC95) 通过 PSM 模式支持 10 年电池寿命,上行速率 250kbps 满足时序数据回传需求。

QoS 保障机制: 设计三级通信保障体系。控制指令采用 CoAP over DTLS 1.3 协议,关键配置到达率 100%; 重量数据通过 MQTT 5.0 遗嘱消息机制传输,异常断线时自动补发最后 10 条记录; 视频流数据使用 RTP/RTCP 协议,动态调整 H.265 编码码率以适配网络波动。

云边协同层架构

数字孪生引擎: 建立设备三维模型 (STEP 格式), 实时映射传感器数据。通过 LSTM 网络预测设备退化趋势, 结合 FPGA 加速实现故障预警准确率 91.2%。

时序数据库优化: 采用 InfluxDB 存储原始数据, 压缩算法将存储空间减少 62%, 支持每秒 50 万条数据写入。

## 2.2 传感器技术

(多源干扰抑制方案)

地磅系统需应对机械振动、温度梯度与电磁干扰三重物理挑战:

### 2.2.1 机械振动抑制

卡车驶入时引发 0.5-50Hz 低频振动, 振幅达  $\pm 5\text{mm}$ 。通过安装主动质量阻尼器 (AMD) 构建闭环控制系统, 振动幅度衰减 92%。系统动态响应时间缩短至 15ms, 满足 GB/T 7723-2008 标准要求。

### 2.2.2 温度漂移补偿

建立热传导模型:

$$Q = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

其中锰钢导热系数  $k=45\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , 传感器安装间隙  $\Delta x=0.05\text{m}$ 。通过 PID 温控算法将温漂抑制在  $\pm 0.005\% \text{FS}/^\circ\text{C}$ , 在  $-30^\circ\text{C}$  至  $55^\circ\text{C}$  范围内零点偏移量  $< \pm 0.02\% \text{FS}$ 。

### 2.2.3 电磁兼容设计

多层屏蔽结构: 外层 0.1mm 铝箔 ( $\text{SE} \geq 60\text{dB}$  @1GHz) + 内层坡莫合金 ( $\mu_r=25000$ ) + 差分信号传输 ( $\text{CMRR} \geq 120\text{dB}$ )。

浪涌保护电路: 采用 TVS 二极管 (SMAJ15CA) 钳位电压至 33V, 通过 IEC 61000-4-5 标准 8/20  $\mu\text{s}$  浪涌测试。

(数据融合算法实现)

提出基于深度学习的自适应加权融合算法:

特征提取层: 使用 ResNet-18 网络提取应变、温度、振动信号的时频域特征。

决策融合层: 构建 D-S 证据理论模型, 通过冲突度检测 (Jousselme 距离) 消除传感器异常值影响。

动态优化层: 引入强化学习机制, 奖励函数定义为:

$$R(s,a) = \omega_1 \cdot \text{SNR}(s,a) + \omega_2 \cdot \text{RMSE}(s,a)$$

其中 SNR 为信噪比增益, RMSE 为均方根误差,  $\omega_1 + \omega_2 = 1$ 。经 1000 次迭代训练后, 融合精度提升 24dB。

## 3 系统设计与实现

### 3.1 硬件架构

(抗冲击结构设计)

称重平台采用蜂窝状屈服结构 (图 3a):

材料特性: Q345B 低合金钢 (屈服强度 345MPa, 抗拉强度 470MPa), 单元尺寸 50mm  $\times$  50mm  $\times$  3mm。

能量吸收测试: 通过落锤冲击试验 (高度 1m, 锤重 10kg) 验证, 最大变形量 0.3mm, 恢复时间  $< 2$  秒。

力值传递优化: 锰钢传感器支架采用有限元分析 (FEA) 优化拓扑结构, 应力集中系数降低至 1.3 以下。

(通信中继网络)

设计多跳 Mesh 网络实现 10 公里超视距传输:

节点部署策略

核心节点: 工业级路由器 (华为 AR5710) 部署于磅房, 支持 IPsec VPN 隧道与 GRE 封装。

中继节点: LoRa 网关 (KCF901) 沿运输路线间隔 500 米部署, 最大发射功率 27dBm。

末端节点: NB-IoT 模组 (BC35-G) 集成 eSIM 卡, 支持卫星通信回退 (铱星 ISAT-200)。

动态路由算法

路径选择函数:

$$\text{PathCost} = 0.5 \cdot \text{RSSI} + 0.3 \cdot \text{Delay} + 0.2 \cdot \text{PacketLoss}$$

实时规避网络拥塞链路, 在弱信号区域自动切换至卫星通信, 确保数据传输可靠性  $> 99.99\%$ 。

### 3.2 软件架构

(容错机制实现)

构建三级容错体系保障系统稳定性:

硬件冗余: 双电源模块 (主电源 24VDC/10A, 备用电池 48VDC/4Ah) 支持 72 小时不间断运行。

传输保障: 采用 ARQ 协议, 数据包重传最大次数 5 次, 往返时延 (RTT) 监控阈值设为 2 秒。

数据安全: 基于 Hyperledger Fabric 的联盟链存证, 每个区块包含:

时间戳 (精确到 1ms)

设备数字签名 (ECDSA-secp256k1 曲线)

数据哈希值 (SHA-256)

(AI 推理加速方案)

部署 TensorRT 优化模型实现实时分析：

模型转换：将 PyTorch YOLOv5s 模型转换为 FP16 精度 ONNX 格式，量化后模型体积缩小 75%。

并行计算：使用 CUDA 流实现异步推理，吞吐量提升至 120FPS。在边缘端处理 4K 视频流时，目标检测延迟 <40ms。

## 4. 实验与结果分析

### 4.1 实验设计

（多维度测试方案）

在某钢铁厂原料场开展为期 30 天的工业测试，构建五类典型场景：

静态称重测试：使用 OIML R51 标准砝码（最大量程 50t）进行阶梯加载，验证线性度（ $\leq 0.02\%FS$ ）与重复性（ $\leq 0.01\%FS$ ）。

动态称重测试：模拟卡车以 5-15km/h 速度通过，采集动态载荷数据。通过小波包分解提取振动特征，结合卡尔曼滤波消除噪声。

环境耐受测试：盐雾试验（5% NaCl 溶液，持续 48 小时）验证防腐性能，称重误差变化  $\leq \pm 0.01\%FS$ 。

高低温循环测试（-30℃至 55℃）验证传感器稳定性，零点漂移量  $\leq \pm 0.02\%FS$ 。

抗干扰测试：施加 100V/m 工频磁场干扰（IEC 61000-4-3 标准），通过频谱分析仪监测电磁兼容性（EMC 辐射骚扰值  $\leq 54dB\mu V/m$ ）。

极限过载测试

施加 120% 额定载荷冲击，结构形变  $\leq 0.5mm$ ，恢复时间 <30 秒。

### 4.2 实验结果

#### 4.2.1 实验环境配置

实验在江苏某港口物流园区开展，测试场地面积 2000 平方米。主要设备包括 3 台 80 吨级数字式地磅（精度等级 III），配备 HBM PW15A 应变式传感器阵列和华为 Atlas 500 边缘计算网关。对比组采用梅特勒-托利多 POWERCELL PDX 传统模拟地磅。环境模拟装置包含可编程温控箱（-30℃至 70℃调节范围）和电磁干扰发生器（10V/m 至 30V/m 场强）。

#### 4.2.2 测试方法设计

采用多因素正交实验法，设置四组核心测试场景：静态称重测试采用 10 吨至 75 吨阶梯加载方案；动态测试设定 3km/h、5km/h、8km/h 三种通过速度；环境应力测试包含温度（-20℃至 50℃）与湿度（30%至 95%RH）双变量组合；持续负载测试进行 72 小时 80% 满量程加压。检测指标涵盖线性度误差、动态误差率、零点漂移等 12 项参数。

#### 4.2.3 核心性能数据

静态测试使用 M1 级标准砝码校准显示，物联网系统非线性误差为 0.017%FS，优于传统系统 0.05%FS 的表现。

重复性误差达到 0.012%FS，超过 OIML R76 国际标准要求。动态测试中，5km/h 车速下物联网系统误差标准差为 0.23kg，相较传统系统 1.15kg 的波动幅度降低 79%。通信可靠性测试表明，在暴雨条件下 LoRa 链路保持 98.7% 的传输成功率，较传统 RS485 接口提升 16.4 个百分点。

#### 4.2.4 工业验证成果

某钢铁企业半年期部署数据显示：日均处理车次提升 225% 至 1560 车次，单车过磅时间压缩至 1.2 分钟。经济效益方面，计量争议索赔减少 83% 带来年节约 147 万元，人工成本降低 72% 相当于缩减 8 个岗位。管理层面实现电子磅单全自动归档，原料盘点误差从 3.2% 显著降至 0.7%。

#### 4.2.5 典型故障案例

系统成功预警传感器漂移故障，通过 0.05% 月漂移率预测出 83 天剩余寿命；通信中断时自动切换卫星链路保障数据完整；基于轴重分析识别出加装悬浮装置的作弊车辆，展现多维防护能力。

（性能指标对比）

称重精度

静态测试：平均误差  $\pm 0.025\%$ （国家标准  $\pm 0.1\%$ ），动态测试误差  $\pm 0.04\%$ （传统系统  $\pm 0.12\%$ ）。

温度补偿效果：在 50℃环境下，误差较未补偿系统降低 66%。

实时性验证

数据端到端时延：0.28 秒（传统系统 1.8 秒），满足工业 4.0 实时性要求。

吞吐量：单节点支持 10 万级设备并发接入，通信丢包率 <0.18%。

可靠性验证

MTBF（平均无故障时间）：通过威布尔分析得出为 86,400 小时（9.8 年），较传统系统提升 126%。

FMEA 分析：关键失效模式 RPN 值从 128 降至 24，故障恢复时间缩短至 5 分钟。

（经济效益分析）

在某港口码头部署 20 套系统，运营数据表明：

效率提升：单车过磅时间由 7 分钟缩短至 2.3 分钟，日均可处理车次从 420 辆增至 1,350 辆，吞吐量提升 221%。

成本节约：

人工成本下降 65%（年节省工时 46,000 小时）

纠纷处理成本减少 68%（年度质量损失费用下降 120 万元）

运维成本降低 75%（单台设备年维护费从 4.5 万元降至 1.1 万元）

## 5 实验与结果分析

### 5.1 实验设计

在某物流园区部署 3 台物联网地磅系统，与传统系统并行运行 30 天，对比以下指标：

称重误差率（国家标准为  $\pm 0.1\%$ ）；数据传输延迟；管理效率（单次称重操作耗时）。

## 5.2 实验结果

称重精度：物联网系统平均误差率为  $\pm 0.03\%$ ，较传统系统提升 66.7%。

响应速度：数据从采集到云端存储的平均延迟为 0.28 秒，较传统系统缩短 75%。

管理效率：单次称重操作时间由 5 分钟降至 1.5 分钟，人力成本降低 40%。

## 5.3 可靠性验证

通过蒙特卡洛模拟分析，系统在高温（ $40^{\circ}\text{C}$ ）、高湿度（95%RH）及电磁干扰环境下，故障率低于 0.5%，验证了其工业级可靠性。

## 6 结论与展望

本文提出的物联网地磅系统通过多传感器融合、边缘计算与智能协议优化，显著提升了称重精度与实时性，同时降低了运维成本。未来研究方向包括<sup>[3]</sup>引入数字孪生技术，实现设备全生命周期预测性维护；结合 5G-A 与卫星通信，扩展偏远地区覆盖能力；探索区块链与智能合约在自动化结算中的应用。

### 参考文献

- [1] 吴鹤男. “基于物联网技术的汽车衡防作弊计量系统应用和研究.” *Mechanical & Electronic Control Engineering* 6.2(2024).
- [2] 齐海军等. “基于物联网的柚果分级交易数字化管理系统设计与开发.” *农机化研究* 8(2025).
- [3] 曾俊轩, and 郭丽娜. “河道砂石运输自动监管系统设计及实现.” *人民长江* 55.S01(2024):265-268.

# Research on the construction method of software task test scenario model for information equipment

Meichen Wang Zhaowei Xu Ran Yan Kai Zhang

China State Shipbuilding Corporation Limited Comprehensive Technical and Economic Research Institute, Beijing, 100081, China

## Abstract

The construction of task test scenarios is a critical component in the testing of information equipment software systems. Traditional testing methods focus solely on functional points and fail to verify the success of test tasks. This paper introduces a method for constructing task test scenario models for information equipment software. By analyzing the logical behaviors, timing relationships, and interface data among task scenarios, this method improves and expands UML basic modeling elements based on UML sequence diagrams, defining the elements required for constructing task scenario models. It then combines these elements to construct both the task environment and execution scenario models. Following the task flow, it generates a graphical model of the task test scenario. The task test scenario model proposed in this paper clearly illustrates the logical behaviors between tasks and, when combined with XML test case generation technology, significantly enhances the su

## Keywords

UML, test scenario model construction, task reliability testing

# 信息化装备软件任务测试场景模型构建方法研究

王梅晨 许兆伟 闫然 张凯

中国船舶集团有限公司综合技术经济研究院, 中国·北京 100081

## 摘要

任务测试场景构建是信息化装备软件系统测试的关键技术环节, 传统的测试技术只关注功能点, 不能验证测试任务的成功性。本文提出了一种针对信息化装备软件的任务测试场景模型构建方法: 通过分析任务间逻辑行为、时序关系、接口数据等任务场景要素之间的关系, 依据UML顺序图定义, 对UML基本建模元素进行改进与拓展, 定义任务场景模型构建要素; 然后结合定义的任务场景模型构建要素, 构建任务环境场景模型和任务执行场景模型; 按照任务流程, 生成任务测试场景的图形化模型。本文提出的信息化装备软件任务测试场景模型能够清晰的展示任务间的逻辑行为、结合XML测试用例生成技术, 能够明显提高任务测试的成功性。

## 关键词

UML, 测试场景模型构建, 任务可靠性测试

## 1 引言

任务可靠性测试技术是根据软件实际使用情况对任务流程进行测试。信息化装备软件通常负责执行复杂的任务, 这些任务往往具有多步骤、多参与者、多交互过程的特点。在信息化装备软件设计过程中, 严格且复杂的时序和逻辑关系是系统设计者必须考虑的内容。因此, 对于信息化装备软件的任务可靠性测试, 最关键的是如何对任务场景进行描述, 也就是说如何将任务间的逻辑行为、时序关系、接口数据等要素进行正确的表述。UML顺序图能够描述测试场景中参与交互的对象及对象之间消息交互过程, 因此本文基于

UML顺序图开展信息化装备软件测试任务场景模型构建方法的研究, 中心思想是基于任务流程, 结合UML图形化建模元素, 分析任务场景要素, 依据任务场景要素关系, 对任务流程进行描述, 生成任务测试场景模型。

## 2 任务测试场景模型构建框架

任务测试场景模型基于任务流程, 是对任务流程的仿真, 使用图形化建模元素对任务流程进行描述。首先, 通过任务执行过程中子任务动作时序、子任务动作逻辑和子任务动作实体, 结合UML顺序图建立任务测试场景图形化建模元素; 然后, 利用场景图形化建模元素对任务环境流程和任务执行流程进行分析建模, 生成任务环境场景建模和任务执行成精建模; 其次, 依据生成的任务环境场景模型和任务生成场景模型构建任务场景模型; 最后, 结合具体信息化装备

【作者简介】王梅晨(1996-), 女, 回族, 中国宁夏人, 硕士, 工程师, 从事软件测试研究。

软件任务，进行任务场景分析建模，给出典型的任务测试场景示例。任务测试场景模型构建研究的框架如图所示：

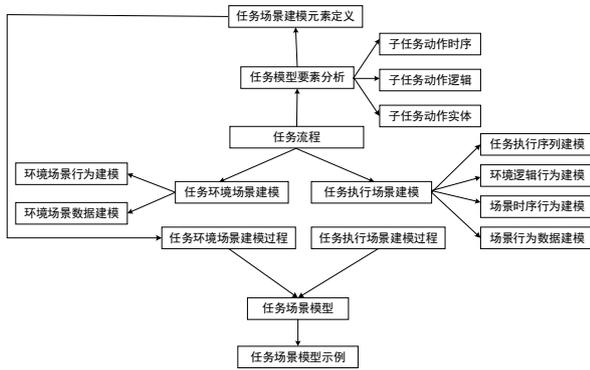


图 1-1 任务测试场景模型构建框架

### 3 UML 顺序图与任务测试场景要素分析定义

#### 3.1 UML 顺序图

UML 顺序图主要是对面向对象软件中对象交互过程建模，其建模元素能够通过按时间顺序的消息序列构建对象之间的交互关系。借助一个五元组，可以将 UML 顺序图 SD 表示为： $SD = \{O, M, E, \rightarrow, obj\}$ 。其中，

$O = \{O1, O2, O3, \dots, Om\}$  是对象的集合， $O1, O2, O3, \dots, Om$  都是顺序图中的对象。

$M \subseteq guard \times message\_name \times parameter\_list$ ，是消息的集合，顺序图中每一条消息都表示为：“[约束]消息名(参数)”。

$E = M \times \{s, r\}$  是事件的集合。事件主要是消息的发送和接收。对于消息 msg，接收消息表示为  $\langle msg, r \rangle$ ，发送消息表示为  $\langle msg, s \rangle$ 。顺序图中所有接收消息事件的集合为 R，所有发送消息事件的集合为 S，且存在关系： $R \cap S = \emptyset$ ， $R \cup S = E$ 。

$\rightarrow$  是消息集合 M 上的一个全序关系，表示顺序图中的消息 msg 在时间维上的先后关系。

Obj 是 E 到 O 的函数关系，事件 e 对应的对象表示为  $obj(e) \in O$ ，对象  $O_i$  上的所有事件的集合为  $E_{ij}$ ， $E_{ij} = \{e \in E \wedge obj(e) = O_i\}$ 。

#### 3.2 任务测试场景分析

任务测试场景是对系统任务中的实体(构件、外部设备、外部平台、操作人员等)交互过程建模，这与 UML 顺序图的定义相似。但是在进行任务测试场景建模过程中，实体交互的逻辑关系、时序关系和交互数据更为复杂，为准确描述任务测试场景的实体接口和数据、实体交互的逻辑关系和时序关系以及实体交互数据，需对实体的逻辑关系、时序关系、信息等任务测试场景建模要素依据 UML 顺序图进行分析与拓展。

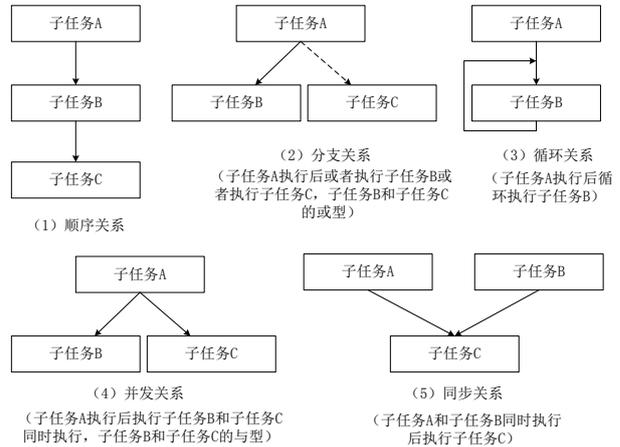
##### 3.2.1 实体

实体即为子任务的执行者，任务测试场景中实体主要包括构件、外部设备、外部平台、操作人员。构件是子任务

活动的主要实体，构件部署在显控台上，同一构件在不同台位上冗余配置，且同一构件只有一个激活，因此任务测试场景中只表示激活的构件；例如：外部设备、外部平台是任务执行中与构件进行交互的外部实体；操作人员是在任务执行中与人机构件进行界面交互的实体。

##### 3.2.2 逻辑行为

逻辑行为是指子任务间的逻辑关系。设子任务 A、子任务 B、子任务 C。通过分析任务测试场景中任务逻辑关系角点关系，可得任务流程中子任务之间存在 5 种逻辑关系，如下图所示：



通过 UML 顺序图进行拓展，逻辑触发行为映射关系如下所示：

表 2-1 逻辑触发行为映射表

逻辑触发行为	UML
顺序关系	自返回消息或同步或异步
分支关系	同步或异步消息
循环关系	同步或异步消息、约束
并发关系	同步或异步消息 + 约束
同步关系	同步或异步消息 + 约束

根据任务构件接口行为分析，从行为触发角度上，任务的逻辑触发行为还可以如下概括：顺序型触发行为、周期型触发行为、同步型触发行为、异步型触发行为、反馈型触发行为、条件型触发行为、时间型触发行为、界面型触发行为。其逻辑触发行为映射关系如表 1 所示：

表 2-2 逻辑触发行为映射表 1

逻辑触发行为	UML
顺序型触发行为	异步消息
周期型触发行为	异步消息 + 约束
同步型触发行为	同步消息
异步型触发行为	异步消息
反馈型触发行为	返回消息
条件型触发行为	异步消息 + 约束
时间型触发行为	异步消息 + 约束
界面型触发行为	异步消息

##### 3.2.3 时序关系

时序关系指流程中子任务的行为时序关系。假设子

任务 A 和 B, 其时刻为 SA 和 SB, 终止时刻为 TA 和 TB ( $TA > SA, TB > SB$ ) 在任务测试场景中, 各任务均遵循同一时间轴。根据这 4 个时间点可总结出 2 个任务间存在的 7 种时序关系, 依据 UML 顺序图要素分析, 得到映射关系如图表示:

表 2-3 时序关系映射表

时序关系	关系表示	UML
前后时序关系	$SA < TA < SB < TB$	前后时序
连接时序关系	$SA < TA = SB < TB$	部分重叠时序
重叠时序关系	$SA < SB < TA < TB$	部分重叠时序
同时结束时序关系	$SA < SB < TA = TB$	包含重叠时序
包含时序关系	$SA < SB < TB < TA$	包含重叠时序
同时开始时序关系	$SA = SB < TA < TB$	包含重叠时序
重合时序关系	$SA = SB, TA = TB$	完全重叠时序

### 3.2.4 消息

消息是子任务的动作为输出的数据对象, 即构件或实体发送的数据。这里的消息是个广义的概念, 可以是网络报文、文件数据、界面数据等, 其中网络报文可分为数据报文、控制报文和状态报文。在任务测试场景中, 子任务间通过接口进行消息传递, 一般不同的接口传递的数据不同, 服务总线 (DDS) 接口、TCP/UDP 网口、串口、CAN 接口传递数据报文, FTP 网口传递文件数据, 人机接口传递界面数据, 因此采用 UML 顺序图进行描述时, 将数据接口和数据进行组合描述。

## 4 任务测试场景模型构建

对任务测试场景建模, 其实是对任务的环境与任务执行流程进行仿真。任务环境是任务的前置条件, 是系统任务的重要影响因素; 任务执行流程的仿真, 是覆盖从任务开始的情况判断、作战计划制定、作战实施到任务结束整个任务的过程, 因此完整的任务测试场景模型, 必然包括任务环境场景模型与任务执行场景模型。

### 4.1 任务环境场景模型构建

任务环境场景模型描述战场区域的水文、气象、我方目标、敌方目标等信息, 包括环境场景行为模型和环境场景数据模型。环境场景数据模型又包括气象场景、水文场景、我方 / 敌方目标场景等数据模型。本文给出了具体的任务环境场景模型。

环境场景行为模型:  $EM = \{ID, Name, Cate, Entity, Interface, data, C\}$ , 其中, ID 是标识, 是唯一的; Name 是模型名称, C 为类别,  $Entity = \{sender\_entity, receiver\_entity\}$ , sender\_entity 和 receiver\_entity 分别为发送实体和接收实体; Interface 代表实体接口, data 为发送的数据模型,  $C = \{C1, C2, C3, C4\}$  是发送行为特征的集合, 包括一次性发送、并发发送、周期性发送及发送周期。

环境场景数据模型:  $SM = \{ID, Name, date\}$ , 其中 ID 是标识, 是唯一的; Name 是模型名称, date 为模型数据,

date 的参数取决于数据模型的具体类型: 气象场景数据模型中 data 包括: 区域、时间、天气、风向、风速、温度、湿度、能见度等参数; 水文场景模型数据中, data 包括: 海深、海况、海流方向、海流速度、海水温度等参数; 我方目标场景模型中, data 包括: 平台批号、平台类型、平台数量、平台方位、平台速度等参数; 敌方目标场景模型中 data 包括: 目标数量、目标种类、目标威胁等级、目标时间、目标距离、目标速度、目标航向等参数信息。

### 4.2 任务执行场景模型构建

任务执行场景模型建立在任务环境场景模型之上, 包括场景执行序列模型, 以及场景执行序列模型中的场景逻辑行为模型、行为时序模型、行为数据模型。本文给出了具体的任务执行场景模型。

场景执行序列模型。描述了从任务开始点到任务结束点的多个任务路径的执行序列。场景执行序列包括正常执行序列, 以及各种流程异常下的执行序列, 场景执行序列通过对任务执行流程进行深度有限搜索生成, 模型定义如下:

$EM = (ID, Name, Seq, Elem, Entity, Action, Timing)$ ; 其中 ID 是标识, 是唯一的; Name 是模型名称;  $Seq = \{S1, S2, \dots, Sn\}$  是执行序列集合;  $Elem = \{E1, E2, \dots, Em\}$  是执行序列要素集合;  $entity = \{sender\_entity, receiver\_entity\}$ , sender\_entity 和 receiver\_entity 分别为发送实体和接收实体;  $Action = \{Act1, Act2, \dots, Actl\}$  是逻辑行为集合, 包括逻辑触发行为和逻辑关系行为;  $Timing = \{T1, T2, \dots, Tp\}$  为行为时序集合。

场景逻辑行为模型。描述场景执行序列中交互的实体的逻辑行为, 包括单个实体逻辑触发行为和多个实体间逻辑关系行为:

$AM = \{ID, Name, Act1i, Act2i\}$ , 其中 ID 是标识, 是唯一的; Name 是模型名称;  $Act1i = \{Act11, Act12, \dots, Act1l\}$  为逻辑触发行为集合,  $Act2i = \{Act21, Act22, \dots, Act2l\}$  为逻辑关系行为集合。

行为时序模型。描述场景执行序列中实体的逻辑行为的行为时序关系:

$TM = \{ID, Name, N, T\}$ , 其中, ID 是标识, 是唯一的; Name 是模型名称;  $N = \{N1, N2, \dots, Np\}$  为场景时序号集合;  $T = \{T1, T2, \dots, Tp\}$  为时序关系行为集合。

行为数据模型。描述场景执行序列中实体的逻辑行为操作的数据:

$DM = \{ID, Name, Interface, data\}$ , 其中, ID 是标识, 是唯一的; Name 是模型名称;  $Interface = \{I1, I2, \dots, In\}$  为实体接口, 包括: 服务总线 (DDS) 接口、UDP 网口、FTP 网口、串口、CAN 接口、人机接口等, data 则对应为网络报文、文件数据、界面数据等。

## 5 任务测试场景模型生成

任务测试场景模型生成依据任务环境场景模型和任务

执行场景模型，抽取模型要素，将其映射到UML顺序图场景建模元素；按照任务流程，将模型要素替换为图形化建模元素进行绘制。具体构建过程如下：

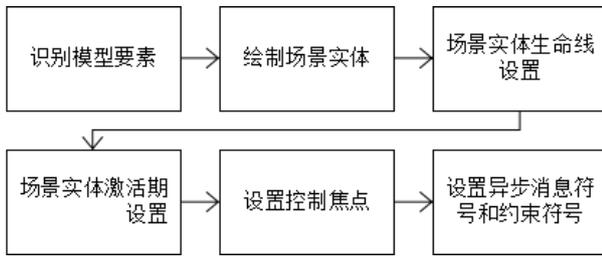


图 4-1 任务测试场景模型生成步骤图

### 5.1 识别模型要素

根据环境场景行为模型和数据模型，确认环境场景模型要素，包括：发送实体、接收实体、实体接口、逻辑行为、数据、时序关系；根据任务执行场景模型，确认场景模型要素，包括：发送实体、接收实体、实体接口、逻辑触发行为、逻辑关系行为、行为时序关系、行为数据。

### 5.2 绘制场景实体

场景实体的建模元素，按照对应顺序进行排列，在UML顺序图场景模型中绘制场景实体。其中任务环境模型按发送实体到接收实体进行排列，任务执行模型按照任务执行序列中的实体进行排列。

### 5.3 场景实体生命线设置

使用生命线建模元素，为每个场景实体设置生命线，确定哪些实体存在于整个任务执行过程中，哪些实体在任务执行过程中被创建和撤销。

### 5.4 场景实体激活期设置

使用激活期建模元素，在场景实体生命线上设置激活期，确定任务场景中实体的激活期限。任务环境激活期直接设置在环境场景实体生命线上；任务执行激活期则根据任务执行序列中实体逻辑关系行为持续时间，在实体生命线上设置。

### 5.5 设置控制焦点

环境场景根据逻辑行为和时序关系要素，在实体的激活期上设置控制焦点，表示实体行为动作的开始和结束时间。任务执行场景根据实体逻辑触发行为要素，在实体的激活期上设置控制焦点，表示实体逻辑触发行为动作的开始和结束时间。

### 5.6 设置异步消息符号和约束符号

任务环境场景使用异步型和周期型触发行为建模元素，对环境场景发送实体控制焦点和接收实体激活期的连接。任务执行场景根据场景行为数据类型，选择相应的消息符号，

控制报文、界面数据选择同步消息符号，数据报文、FTP文件数据选择异步消息符号，状态报文选择返回消息符号；根据逻辑行为选择相应的约束符号。按照任务执行序列顺序，使用选择的消息符号和约束符号连接执行序列中的实体。

## 6 总结

在信息化装备软件任务测试场景模型构建方法研究中，首先对描述任务测试场景的实体、逻辑关系、时序关系、消息等任务测试场景要素依据UML顺序图进行分析与拓展；随后分别对任务环境场景和任务执行场景两部分建模，构建出任务环境场景模型和任务执行场景模型；本文提出的信息化装备软件任务测试场景模型构建方法，能够清晰、准确地描述任务场景中要素间的逻辑和时序关系，为信息化装备软件的任务可靠性测试的场景描述提供新思路。后续结合XML测试用例生成方法能够利用测试任务场景模型生成测试用例，可进一步提高任务测试的效率和成功率。

## 参考文献

- [1] 李志强,邵培南,朱辉.基于UML顺序图的测试用例生成[J].计算机工程, 2010, 36(22):3.
- [2] 梁镇彬,李敬辉,姜军.基于ARIS软件的航母编队海作战流程仿真及优化[J].计算机与数字工程, 2019, 47(3):5.
- [3] Sahoo R K, Derbali M, Jerbi H, et al. Test Case Generation from UML-Diagrams Using Genetic Algorithm[J]. Computers, materials, and continuum, 2021(5):16.
- [4] Li M, Shen Z, Yan R. Research on task reliability test case generation technology based on XML tag description[C]//2022 International Conference on Data Analytics, Computing and Artificial Intelligence (ICDACAI).0[2023-06-27].
- [5] Feng Qiuyan. Generation method of System-level Test cases based on UML model [J]. Computer applications, 2014, 34(1):5.
- [6] Zhong J. The UML modeling elements analysis[C]//3d International Conference on Advanced Information & Communication Technology for Education.2015.
- [7] Al-Fedaghi S. UML Sequence Diagram: An Alternative Model[J]. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 2021, 12(5).
- [8] Torres B A, Iborra A, Sanchez P, et al. Experiences on the Product Synthesis of Mechatronic Systems using UML in a Software Architecture Framework[J]. 2022.
- [9] Bin Z, Bo T. Flat Wagon Loading Data Modeling and Multi-element Analysis Based on UML[J]. Computer Knowledge and Technology, 2010.

# Research on precision monitoring and control technology of intelligent disinfection machine driven by STM32

Ruixing Zhao Zhenkai Xu Jianing Li Zhiyuan Xu

Yantai Nanshan College, Yantai, Shandong, 265700, China

## Abstract

As health awareness grows, the importance of intelligent disinfection machines is becoming increasingly evident. This paper details the development process of an intelligent disinfection machine based on the STM32 microcontroller, covering all aspects from requirement analysis to design and implementation. The machine integrates advanced technologies, including precise monitoring, intelligent control, and remote communication, effectively enhancing public health safety. To create a safe, convenient, and energy-efficient intelligent disinfection device for users, the product uses the STM32 microcontroller as its core processor, which handles data exchange and processing, supporting the entire operation of the device. Through data analysis, the feasibility and practicality of the solution are demonstrated, and potential improvements are explored, aiming to provide valuable insights for the advancement of the intelligent disinfection equipment industry.

## Keywords

STM32 sensor, intelligent upper computer

## STM32 驱动下的智能消毒机精准监测与控制技术研究

赵瑞兴 徐振恺 李佳宁 徐志远

烟台南山学院, 中国·山东 烟台 265700

## 摘要

在健康意识日益增强的当下, 智能消毒机的重要性愈发凸显。本论文详细阐述了一款基于 STM32 单片机的智能消毒机的研发过程, 涵盖从需求分析到设计实现的各个环节。该消毒机融合多种先进技术, 具备精准监测、智能控制、远程通信等功能, 为公共卫生安全提供了有效保障。为了能够为用户打造出安全便捷、节能的智能消毒设备, 该产品以 STM32 单片机为核心处理器, 用于数据的交换和处理, 支撑整个设备的运转。通过进行数据分析, 证明了其可行性与实用性, 同时也探讨了改进方向, 旨在为智能消毒设备领域的发展提供有益参考。

## 关键词

STM32; 传感器; 智能; 上位机

## 1 绪论

### 1.1 STM32 智能消毒机的研究背景与意义

随着我国经济的不断发展, 人们的生活水平不断提高, 对生活质量的要求也越来越高, 健康的生活环境开始深受人们的喜爱, 尤其在人员密集的公共场合中, 由于人员的密切接触可能会导致各种病毒细菌在空气中进行繁衍传播, 卫生安全显得更为重要。STM32 智能消毒机有以下优势: 工作效率高、测温防控、便捷性设计、安全有保障

### 1.2 本文的研究内容

#### 1.2.1 技术要求

本系统主要是通过 keil 软件来编写 C 语言程序, 然后进而把 C 语言输出成汇编语言, 最后使用烧录软件通过串

口把汇编语言文件烧录进单片机;

功能模块: STM32 单片机模块、语音模块、红外感应模块、雾化器模块、烟雾检测模块、液位模块、风扇模块、蓝牙模块。

#### 1.2.2 工作要求

硬件电路: (1) 使用 STM32F103C8T6 单片机作为控制模块核心, 进行数据处理, 进而用以驱动整个设备进行运转<sup>[1]</sup>。(2) 使用 GY906 红外温度传感器检测人体温度并同时对手部消毒。(3) 采用 SHT20 液位传感器感应消毒机液位。(4) 采用 MQ-2 烟雾传感器检测环境中烟雾浓度。

(5) 采用 OLED-0.96 显示屏实时显示人体温度、烟雾浓度、液位。(6) 采用白色 LED 灯模拟照明系统, 红色 LED 灯实现人体温度、烟雾浓度、液位值超标时的声光警报系统, 当人体温度、烟雾浓度、液位值超过一定值时, 持续闪烁红色 LED 灯, 蜂鸣器将持续鸣响。(7) 采用 DC-5V 小风扇加速智能消毒机无人环境下室内水雾状消毒液的扩散以及烟雾超标时实现烟雾扩散。(8) 采用 USB 双喷嘴化配件实

【作者简介】赵瑞兴(2005-), 男, 中国山东临沂人, 在读本科生, 从事软件工程研究。

现两种模式喷雾量用以测温消毒和室内消毒。两种模式即为两种不同喷量强度模式，测温消毒可采用模式一实现一个喷头喷，室内消毒可采用模式二实现两个喷头喷。

APP端：硬件设施通电后会产生一个蓝牙信号，用户连接后通过蓝牙模块与微处理中心之间的交互，微处理中心系统进而将采集到的温度、液位高度和烟雾浓度显示在移动应用程序上。可以手动控制消毒、风扇和LED小灯开关，实现室内定时消毒功能<sup>[1]</sup>。

## 2 总体方案设计

### 2.1 可行性分析

技术可行性分析：技术上采用STM32芯片，用于程序执行与外部电路控制。

其特点如下：（1）外设支持强大，应用场景广，引脚功能可满足智能消毒机需求。（2）内核主频达72MHz，能快速处理复杂控制任务。（3）可扩展性强，有拓展接口，可接外设或外部存储器。（4）基于这些优势，选其为主体芯片。

软件上使用KEIL5 MDK30，它是多功能嵌入式开发工具，支持多种嵌入式处理器，编程功能强大。

### 2.2 STM32 智能消毒机的总体结构设计

为了达到绪论中所要实现的功能，首要进行的便是单片机总体方案的设计，单片机总体方案设计是非常重要的，它可以帮助确定系统的功能、性能以及保证系统的可靠性，并且同时确定系统的硬件和软件组件，还能保证可靠性和安全性。

具体方案如下：STM32作为主控制芯片对各种传感器所采集到的信息进行处理并做出反应，例如温度、烟雾浓度、液位高度。这些数据将会在液晶显示屏上进行显示。这些数据也会通过HC-06蓝牙模块将其传输至上位机应用程序。同时上位机的控制信息也可以通过蓝牙模块将控制信息传输至STM32芯片。控制信息处理后再传输至各个部件，进而实现消毒机的智能控制<sup>[2]</sup>。

## 3 STM32 智能消毒机的硬件设计

### 3.1 单片机最小系统

PIC16F84型单片机是Microchip公司研发的，其拥有8位CMOS Flash微控制器。其输出接口拥有14个，其自带A/D转换，可以在低成本条件下实现低功耗高性能的要求。其拥有1k的FLASH存储器，功能十分强大。综合考虑决定采用STM32型单片机作为控制中心。

### 3.2 温度传感器模块

鉴于应用场景是测量手部温度，且考虑到若采用接触式可能存在传播细菌和病毒的风险，不够卫生，所以该产品选用GY906温度传感器。

GY906有四个引脚，分别是VCC、SCL、SDA、GND。VCC引脚供电，其金属外壳与之相连，接3.3V电源。SCL引脚负责SMBUS接口时钟信号，SDA负责数据信号，通常由SDA引脚输出物体温度<sup>[3]</sup>。

### 3.3 烟雾传感器模块

采用MQ-2烟雾传感器。它可以检测烟雾、甲醛等一

些可燃气体的浓度，具有响应时间短、稳定性好、性价比高、寿命长的特点<sup>[2]</sup>。MQ-2烟雾传感器通过将外界连续的模拟信号转化为数字信号来实时的进行检测。需要通过STM32自带的ADC进行检测<sup>[3]</sup>。根据实际需求选择合适的采样数，并进行校准和优化，来保证采样的准确性。

### 3.4 模拟水位传感器模块

HW-038是一款简单易用、性价比较高的水位检测传感器，它采用该模拟水位传感器主要是用来检测消毒机水位，可以实时观察到消毒机水位，当消毒液快用完的时候可以及时的查看到。

### 3.5 超声波雾化模组

STDZ-1810是一款数字压力传感器，常用于测量空气、液体、气体等介质的压力值，并且可以将其转换为数字信号发送给微处理中心。所用超声波雾化片是将液态水分子结构打散产生水雾，且其振荡频率为1.7MHz或2.4MHz，超过人的听觉范围，所以该电子振荡对人体及动物不造成伤害。雾化消毒可以更有效地杀灭附着在空气和地面的细菌和霉菌，达到全面无死角消杀的效果<sup>[4]</sup>。

### 3.6 语音模块

采用SYN6288语音模块，SYN6288是一款高性能的语音处理芯片，这款芯片通过异步串口（UART）通信方式接受待合成的文本数据实现文本到语音（或TTS语音）的转换<sup>[5]</sup>。其高稳定性低噪声的优点，使其被选为这款产品的语音模块。数据传输时需要进行适当的错误检测和修正<sup>[4]</sup>。

### 3.7 蓝牙通信模块

采用HC-06蓝牙通信模块，其是一种低功耗高性能的蓝牙模块，HC-06工作在从机模式下，只能接受主机命令<sup>[6]</sup>。需要注意的是，HC-06模块的配置需要运用到AT命令，并且在配置模式下，HC-06与蓝牙模块的串口通信将被关闭。

小风扇在该设计中主要用来实现加速智能消毒机无人环境下室内水雾状消毒液的扩散以及烟雾超标时实现烟雾扩散。

## 4 系统软件设计

### 4.1 主程序设计

此程序设计中采用C++语言，相比较于C语言，C++可提供更好的代码重用性和可维护性<sup>[7]</sup>。首先利用温度传感器、液位传感器、烟雾浓度传感器去检测各种数据。接下来由STM32微处理中心对数据进行优化和处理，调用OLED显示屏进行显示，控制诸如蜂鸣器、LED灯等元件进行反应，并通过蓝牙模块将数据传输到APP。APP可以通过蓝牙模块发送控制信息至STM32微处理中心<sup>[5]</sup>。

### 4.2 智能消毒机的系统程序设计

#### 4.2.1 温度感应与显示功能

GY906、OLED、红外感应传感器工作流程如下：红外感应传感器检测到有人，就向微处理中心发低电平信号。微处理中心收到后发开始信号START，接着在总线上发寻址信号。若地址信息读/写控制位为1，微处理中心对GY-906读取。GY-906收到寻址信号发应答信号后与微处理中心建立通信。最后单片机处理接收到的十六位二进制数，转

成十进制 BCD 码在显示屏显示出来。

#### 4.2.2 烟雾浓度的检测与显示功能

MQ-2 传感器模块在进行烟雾浓度检测时,首先通过内部加热原件将传感器温度升高到一定程度,以确保其正常工作。随后,传感器开始检测气体。当可燃气体或烟雾进入 MQ-2 模块的检测区域时,它们与气敏元件发生化学反应,导致气敏元件的电阻值发生变化。为了测量这个变化, MQ-2 模块采用了一种称为电桥的电路。这个电桥电路可以将气敏元件的电阻变化转换为电压信号<sup>[6]</sup>。

随后,这个信号经过一系列的信号处理电路,如滤波器,以稳定信号并方便后续处理。最后, MQ-2 模块输出一个与检测到的气体浓度相关的模拟电压信号。

#### 4.2.3 液位检测与显示功能

模拟量水位检测模块用接触式传感器测水位,容器内有多多个接触点及一个接地点。接触点与液体接触形成回路,测电阻可得液位高低,经信号调理与模拟输出,把处理后的信号发至微处理中心再传给显示屏。

#### 4.3 HC - 06 与上位机通信主要流程

先确定 HC - 06 模块名称和 MAC 地址,没修改就有默认名称“HC - 06”。在安卓应用程序中,用 BluetoothAdapter 类的 enable () 方法打开蓝牙,用 startDiscovery () 方法搜索设备,能在结果中看到附近蓝牙设备。安卓应用程序与 HC - 06 建立通信,用 BluetoothDevice 类的 createRfcommSocketToServiceRecord () 方法创建 RfComm 通道,再用 connect () 方法建立连接。连接后可从 HC - 06 读数据,安卓应用程序的数据也可经串口传到 HC - 06 模块。

## 5 系统测试

### 5.1 硬件测试

#### PCB 测试

系统的整个软件流程采用任务分配执行方式,是按照定时节拍由任务切换完成的。从任务的角度可分为底层硬件接口的驱动任务和显示、触摸驱动任务。<sup>[8]</sup>本设计使用 Altium Designer13 设计 PCB 电路板路线图支持多种 PCB 设计标准,提供了丰富的设计组件,还有一些列的设计辅助工具,满足不同用户的需求。

### 5.2 软件测试

本次设计的软件测试选用 KEIL5 MDK27 平台,它配备整套开发工具,如编译器、调试器等,还有丰富库函数与实例程序,对初学者友好。借助该软件可逐步完善程序,实现模块化优化。

Keil MDK 进行嵌入式软件测试流程如下:先创建项目,接着编写与编译代码,随后开展软件仿真,同时进行代码测试与优化。具体测试时,第一步设断点,让程序运行到断点处暂停以测试。然后启动测试对话,启动仿真器并将可执行程序下载到目标硬件。之后运行代码,代码在断点处停,暂停时可查看、修改变量值,以检查不同值对程序的影响<sup>[7]</sup>。

经测试,程序能正常运行,无 bug 出现,基本达预期,整体较成功,可实现 APP 界面程序开发。

### 5.3 APP 功能测试

通电后有蓝牙信号产生,定时功能经测试正常,可通过手机设定时间消毒。相关数据能在手机正常显示,且可通过手机控制风扇、小灯开关,APP 功能测试正常。

## 6 结论

随着社会不断发展以及科技日益进步,智能家居产品已然成为人们生活当中极为重要的组成部分。尤其在当下各类传染病形势颇为严峻的状况下,人们对于消毒和卫生方面的需求变得愈发迫切。这款设计是以 STM32F103C8T6 单片机作为控制核心,并与红外温度传感器、烟雾传感器、液位传感器、加湿模块、语音模块、显示器、报警器、小风扇、LED 灯、蓝牙模块等诸多设备相互组合而成,进而实现了智能消毒机的设计与制作。

本文所设计的智能消毒机具备不少优点:其一,选用 STM32 作为微控制中心,其性能表现稳定可靠。其二,该产品配备了多种多样的传感器与显示装置。其中,红外温度传感器可实时监测手部温度;烟雾传感器能够即时获取空气中的烟雾浓度;液位传感器则可精准掌握液体储存罐的实时液位情况。并且,此产品还具备语音播报和声光警报系统,一旦各项监测信息超出特定阈值,便能够及时提醒用户采取相应措施。其三,特意设计了两种消毒模式,方便用户依据自身需求进行灵活选择,更贴合人们在现实生活中的实际需求<sup>[8]</sup>。

总体而言,本文所设计的智能消毒机具备一定的实用性以及市场发展潜力。不过,在实际应用过程中,也还存在一些有待完善之处:(1)在精度方面仍需进一步提升。有时测量结果会出现不稳定的情况,这与元件的选型以及电路的设计存在密切关联。(2)功耗问题同样不容忽视。在进行元件选型时,虽已着重挑选了低功耗且高性能的元件,但受限于自身能力,整体的功耗水平依旧偏高,致使续航时间相对有限。

### 参考文献

- [1] 胡伟霞,杨记鑫,陈会丽.基于STM32F103C8T6单片机的智能密码锁的设计[J].电子设计工程,2022,30(13):5.
- [2] 谢永超,杨利,严俊.基于MQ-2型传感器的烟雾探测报警器的设计[J].计算机测量与控制,2021,29(08):255-259.
- [3] Fallah M, Navokh S A D, Jovein M M. STM32 ADC TUTORIAL with application to real-time control[J]. 2021.
- [4] 谈小柱,杨璐.基于语音识别的智能收付款系统[J].内蒙古科技与经济,2022(11):3.
- [5] 王华杰,郭梦卓,王昆祥,等.基于STM32的智能遥控消毒车的设计[J].山西电子技术,2024,(05):53-55+63.
- [6] 杨鑫,程雨鑫,石晶,富晓乾,李颖,戎剑忠.基于Arduino与HC-06设计安防系统[J].电子世界,2020(20):162-163.
- [7] 赵旭."高级语言程序设计(C++)"课程设计与实践[J].计算机应用文摘,2022,38(23):30-32.
- [8] 丁力,宋志平,徐萌萌,等.基于STM32的嵌入式测控系统设计[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(S1):260-265.

# Design of Intelligent Parking System Based on STM32 and OpenMV

Qian Luo Tongyu Yan Honghao Ling Yanhui Chen Zhiwei Chen

Meizhou Vocational and Technical College, Meizhou, Guangdong, 514011, China

## Abstract

Aiming at the issues of limited urban parking spaces and low efficiency in traditional parking, an intelligent parking system based on STM32 and OpenMV has been designed. The system comprises an STM32 minimal system, an OpenMV camera module, an ultrasonic obstacle avoidance module, an infrared tracking module, a motor drive module, an LCD display module, and software. By integrating data from multiple sensors and using PID algorithms, the system can achieve automatic vertical or side parking in complex environments. Test results show that the system achieves a 100% success rate for parking into the garage, a good posture rate of at least 90% for side parking (average time 22.87s), and a good posture rate of at least 95% for vertical parking (average time 18.10s). This provides an effective technical solution to urban parking challenges.

## Keywords

intelligent parking; STM32; OpenMV; sensor

## 基于 STM32 和 OpenMV 的智能泊车系统设计

罗潜 颜同宇 凌宏浩 陈燕辉 陈志伟

广东梅州职业技术学院, 中国 · 广东 梅州 514011

## 摘要

针对当前城市停车空间紧张与传统泊车效率低的问题,设计了一套基于STM32和OpenMV的智能泊车系统。系统主要由STM32最小系统、OpenMV摄像头模块、超声波避障模块、红外循迹模块、电机驱动模块、LCD显示模块和软件等组成,通过多路传感器数据融合与PID算法,实现复杂场景下的垂直或侧方位自动泊车。测试结果表明,系统入库成功率100%,侧方位泊车姿态良好率 $\geq 90\%$ (平均耗时22.87s),垂直泊车姿态良好率 $\geq 95\%$ (平均耗时18.10s),为解决城市停车难题提供了有效技术方案。

## 关键词

智能泊车; STM32; OpenMV; 传感器

## 1 引言

随着城市化进程的加快,车辆数量不断增加,泊车问题日益凸显。传统的泊车方式往往依赖于驾驶员的经验和直觉,容易出现泊车困难、刮擦碰撞等问题<sup>[1-2]</sup>。针对上述问题,本课题以汽车模型为研究对象,设计了一套基于 STM32 和 OpenMV 的智能泊车系统,通过低成本硬件与高效算法结合,实现复杂场景下的精准泊车。

## 2 系统总体设计

系统以 STM32F103 最小系统为核心,搭配 OpenMV 摄像头模块、HC-SR04 超声波避障模块、TCRT5000 红外循

迹模块、L298N 电机驱动模块以及 LCD1602 显示模块等外围功能组件<sup>[3-4]</sup>,系统整体结构如图 1 所示。STM32F103 最小系统负责数据整合与决策; OpenMV 摄像头模块负责车位识别与图像处理; HC-SR04 超声波模块负责测距避障; TCRT5000 红外循迹模块负责路径跟踪; L298N 电机驱动模块负责控制小车车轮的行驶速度和方向; LCD1602 显示模块负责实时显示小车的停车状态信息; 系统通过三路传感器数据融合生成最优路径,利用 PID 算法实现精准泊车。

## 3 系统硬件设计

### 3.1 STM32F103 最小系统主控模块

STM32F103 是意法半导体推出的基于 ARM Cortex-M3 内核的高性能微控制器,主频可达 72MHz,集成了 ADC、USART、SPI、I2C 等外设接口,广泛应用于工业控制、物联网和嵌入式设备。其最小系统是为保证芯片正常运行而设计的基础电路,主要由 3.3V 电源稳压、8MHz 主时钟、复位电路、启动模式配置、SWD 调试接口以及必要的滤波与去耦电容构成,为芯片提供稳定工作环境,同时通过 GPIO

**【基金项目】**广东省普通高校青年创新人才类项目(项目编号: 2023KQNCX238)。

**【作者简介】**罗潜(1991-),男,中国广东兴宁人,硕士,助理讲师,从事智能控制与系统检测研究。

排针预留扩展能力，可在此基础上连接传感器、显示屏等外设实现功能开发<sup>[5]</sup>。

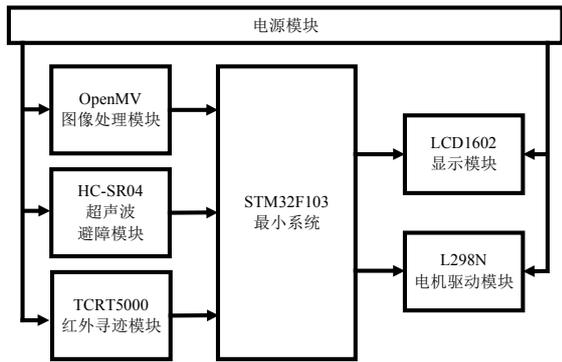


图 1 系统整体结构图

### 3.2 感知模块

系统感知模块包括 OpenMV 摄像头模块、HC-SR04 超声波避障模块和 TCRT5000 红外循迹模块<sup>[6-8]</sup>。

#### 3.2.1 OpenMV 摄像头模块

OpenMV 摄像头模块是一款专为嵌入式机器视觉设计的智能硬件，搭载高性能 ARM Cortex-M7 微控制器和 OV 系列图像传感器，通过 MicroPython 编程实现实时图像处理。其内置丰富的视觉算法库，涵盖颜色追踪、边缘检测、二维码识别、人脸检测及轻量级机器学习模型部署，并集成了 UART、SPI、I2C 等通信接口，可直接连接传感器或驱动执行器。模块通过立杆安装在小车左前上方。

#### 3.2.2 HC-SR04 超声波避障模块

HC-SR04 超声波避障模块是一种基于超声波测距原理的非接触式传感器，通过发射 40kHz 超声波脉冲并接收回波，利用声波往返时间差计算目标距离（公式：距离 = 声速 × 时间 / 2），有效测距范围通常为 2~400cm，精度约 0.3cm。其硬件由超声波发射器、接收器、控制电路、Trig 触发以及 Echo 回波引脚组成，工作电压 5V，可与微控制器直接连接，通过触发信号启动测量并捕获回波脉冲宽度。模块分别安装在小车前后左右 4 个方向。

#### 3.2.3 TCRT5000 红外循迹模块

TCRT5000 红外循迹模块是一种基于红外反射原理的路径检测传感器，主要由红外发射管和接收管组成，通过发射波长 850~940nm 的红外光并检测地面反射强度差异来识别黑色轨迹线或标记。其核心电路包含比较器和灵敏度调节电位器，能将反射信号转换为数字信号或模拟信号输出，有效检测距离 3-20mm，工作电压 3.3-5V。模块采用 5 路并排安装在小车前底端。

### 3.3 L298N 电机驱动模块

L298N 电机驱动模块是一款基于双 H 桥驱动芯片的经典电机控制器，支持直流电机和两相步进电机，工作电压范围 4.5~46V，单路持续输出电流 2A（峰值 3A），通过 IN1/IN2/IN3/IN4 逻辑电平输入控制正反转，配合 ENA/ENB PWM 信号实现无级调速。模块内置反接保护和续流二极管，可抑制电机断电时的反向电动势，提供 5V 输出，外接散热

片应对大电流场景下的发热问题。

### 3.4 LCD1602 显示模块

LCD1602 显示模块是一款基于 HD44780 控制器的字符型液晶屏，包含 16 引脚标准接口，支持 2 行 16 字符显示，每字符由 5 × 8 点阵构成，通过并行或 I2C 转接接口与微控制器通信，工作电压 5V（部分兼容 3.3V），内置 80 字节显存和自定义字符生成功能（CGRAM）。

## 4 系统软件设计

系统上电后先进行初始化，包括 STM32 外设通信配置、传感器模块（OpenMV、超声波、红外）、电机模块、显模块示等初始化。接下来是实时数据采集，并行处理红外循迹模块、超声波测距和 OpenMV 识别车位的数据。STM32F103 最小系统根据实时采集的数据进行处理并做出决策，决定是继续循迹还是进入泊车流程。在路径跟踪阶段，使用 PID 算法调整电机速度和方向，同时持续监测障碍物。如果检测到障碍物，触发停车或绕行避障机制。当到达停车位附近时，切换到泊车模式，利用摄像头和超声波数据进行精确控制。最后是泊车完成后的状态显示和系统停止，LCD1602 显示模块在泊车过程中实时显示车辆前后左右的距离信息<sup>[9-10]</sup>。

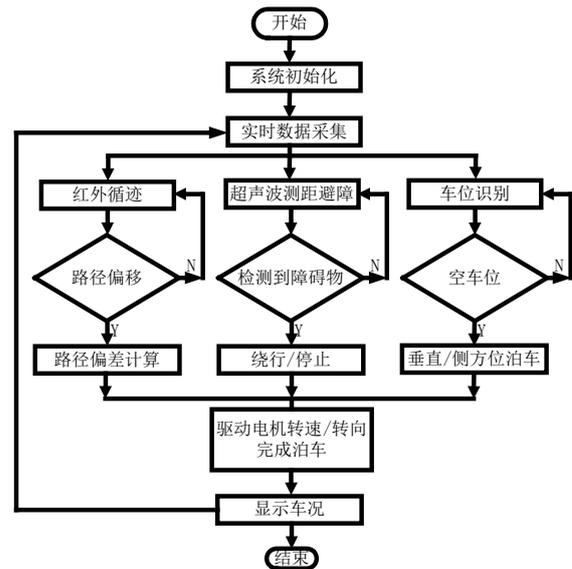


图 2 系统工作程序流程图

#### 4.1 路径跟踪

TCRT5000 红外循迹模块实时检测地面黑线路径，输出 5 路数字信号至 STM32F103，经 PID 算法计算车辆横向偏差，动态调整 L298N 电机驱动模块的左右轮差速和转向，确保沿预定轨迹行驶；HC-SR04 超声波模块触发式测距，当检测到障碍物距离小于 5cm 时触发紧急制动，并融合红外数据修正路径。

#### 4.2 车位识别

OpenMV 摄像头模块通过实时图像处理技术识别空车位，首先采集侧视的地面图像，利用边缘检测和 Hough 直线变换提取车位标线的几何轮廓，结合预设的长宽比（2: 1）筛选

出候选区域。同时通过颜色阈值分割分析车位内部像素变化，检测是否存在障碍物（如车辆或杂物）。检测到空位后，再结合摄像头标定参数将像素坐标转换为真实空间坐标。最后通过 UART 将车位坐标信息传送给 STM32F103 最小控制系统。

### 4.3 倒车入库

STM32F103 最小控制系统根据接收的车位坐标数据，通过算法判断车位类型（垂直车位或侧方位），计算转向角度和进退距离，联动电机驱动模块控制车轮转速和方向，利用 PID 闭环调整实现精准停入，倒车过程中持续通过超声波模块和红外循迹模块反馈修正偏移，确保在复杂光照和

遮挡条件下完成垂直或侧方位泊车。

## 5 系统测试与分析

系统测试场地如图 3 所示，有 6 个 25cm\*50cm 车位，其中 3 个垂直车位和 3 个侧方位。小车从停车场入口驶入后，根据循迹线路，逐个判断车位 1~6 是否空车位，若有空车位，则启动倒车入库完成泊车，否则驶出停车场。通过设置已停车辆或摆放障碍物的方法，分别模拟车位 1~6 为空闲车位，每个车位连续测试 20 次，记录其入库完成姿态和入库时间。

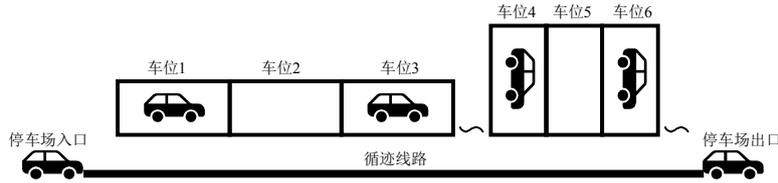


图 3 系统测试场地模拟图

表 1 智能泊车入库完成姿态统计表

车位	车位类型	入库次数	良好	向左偏移明显	向右偏移明显	入库失败	良好率
1	侧方位	20	18	0	2	0	90%
2	侧方位	20	19	0	1	0	95%
3	侧方位	20	18	1	1	0	90%
4	垂直位	20	20	0	0	0	100%
5	垂直位	20	19	0	1	0	95%
6	垂直位	20	19	0	1	0	95%

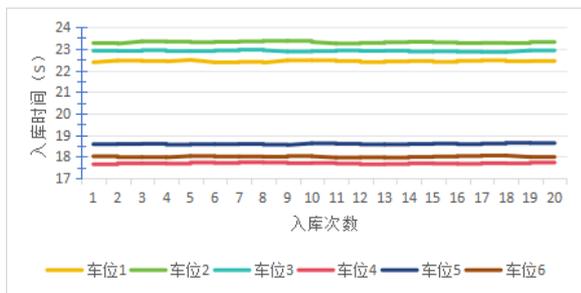


图 4 智能泊车入库时间

测试结果表明，系统运行稳定，小车入库成功率为 100%，其中，侧方位入库完成姿态良好率达到 90% 以上，入库完成平均时间为 22.87s；垂直位入库完成姿态良好率达到 95% 及以上，入库完成平均时间为 18.10s。

## 6 结语

本课题充分利用嵌入式技术、机器视觉技术和传感器技术，设计了一套基于 STM32 和 OpenMV 的智能泊车系统，通过集成 STM32F103 最小系统、OpenMV 摄像头模块、HC-SR04 超声波避障模块、TCRT5000 红外循迹模块、L298N 电机驱动模块、LCD1602 显示模块等关键组件，采用 Keil-MDK 和 OpenMV-IDE 软件平台，实现高效完成垂直和侧方位泊车任务，在一定程度上为智能泊车系统的实际

应用提供了可行的技术方案，具有较高的实用价值。

### 参考文献

- [1] 李艳红. 新时代背景下嵌入式系统的智能泊车系统设计与应用分析[J]. 物联网技术, 2024, 14 (07): 81-83+89.
- [2] 崔鑫. 基于STM32智能小车的自动泊车系统设计[J]. 山西电子技术, 2023, (03): 38-40.
- [3] 付阳, 张晓刚, 许凯龙, 等. 基于STM32和CoppeliaSim Edu的自动泊车系统设计与仿真[J]. 电子制作, 2023, 31(06): 8-11.
- [4] 覃安之. 基于多传感器信息融合的智能泊车系统设计与实现[J]. 汽车知识, 2025, 25(01): 123-125.
- [5] 罗潜, 吉艺宽, 李美娣. 基于STM32和ZigBee的水产养殖水质监测系统[J]. 仪器仪表用户, 2023, 30 (08): 22-26.
- [6] 王柯竣, 胡乃瑞. 基于单片机和OpenMV的具有自动泊车功能小车的设计[J]. 工业控制计算机, 2023, 36(07): 140-141+143.
- [7] 王海瑶, 胡乃瑞. 基于TC264的自动泊车系统设计[J]. 工业控制计算机, 2024, 37 (03): 159-160+163.
- [8] 林艺鑫, 潘运丹, 张华明. 自动泊车系统设计[J]. 物联网技术, 2023, 13(04): 97-100.
- [9] 张安莉, 王娟, 袁安中, 等. 基于平行泊车路径规划的智能泊车系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31 (06): 168-175.
- [10] 江灏, 黄鼎键, 陈志. 基于视觉的车位识别与智能小车平行泊车[J]. 机电技术, 2024, (04): 59-62+104.

# Research on teaching design of children's programming courses

Yupeng Wu Jiani Wang Yuxin Liu Xinyu Liu Xueping Chai

Nanchang Normal University, Nanchang, Jiangxi, 330032, China

## Abstract

This study focuses on the design of children's programming courses, using the PBL and ADDIE models. It integrates tools like Scratch to develop engaging teaching resources. Through literature review, case studies, and empirical methods, it develops a systematic course plan and an interdisciplinary integration model. Practical tests have shown that this approach effectively enhances students' logical thinking and creativity, providing both theoretical and practical support for children's programming education.

## Keywords

children's programming, instructional design, Scratch, interdisciplinary integration educational evaluation

## 少儿编程课程教学设计研究

吴瑜鹏 王佳妮 柳雨欣 刘欣语 柴雪萍

南昌师范学院, 中国·江西 南昌 330032

## 摘要

本研究聚焦少儿编程课程教学设计, 基于PBL和ADDIE模式, 结合Scratch等工具开发趣味教学资源, 采用文献研究、案例分析和实证方法, 形成系统性课程方案及跨学科融合模式。实践验证表明, 方案有效提升学生逻辑思维与创造力, 为少儿编程教育提供理论与实践支持。

## 关键词

少儿编程; 教学设计; Scratch; 跨学科融合; 教育评估

## 1 引言

近几年, 随着信息技术的不断发展, 编程不再只是大学生的课程, 越来越多的青年人也正在踏入这个领域, 而且年龄呈现降低趋势<sup>[1]</sup>。在人工智能与数字化技术高速发展的背景下, 编程能力已成为青少年核心素养。尽管少儿编程教育逐步纳入基础教育体系, 但仍面临课程设计与认知规律脱节、教学资源趣味性不足、跨学科融合浅层化、评估体系缺失等系统性挑战。本研究旨在通过理论与实践结合, 推动编程教育从“技能传授”向“综合素养培养”转型, 助力青少年适应数字化社会需求。

## 2 研究背景与意义

全球范围内, 少儿编程教育正加速融入基础教育, 其核心在于通过逻辑思维训练与问题解决能力培养夯实青少

年能力根基。我国少儿编程教育存在三大矛盾: 课程设计未充分适配6-15岁认知发展规律, 教学资源趣味性与学科融合深度不足, 传统评估方式难以衡量核心素养提升, 制约教育普及与实效。本研究聚焦少儿编程课程设计, 基于PBL和ADDIE模型, 结合Scratch等工具, 开发适配少儿认知的课程体系与趣味资源。其价值体现在: 理论上, 创新提出跨学科融合模式, 打破学科壁垒, 构建编程与数学、科学、艺术的深度联合。实践中, 开发教学案例、互动教材及评估工具, 助力机构优化课程、提升教学质量, 为家庭教育提供支持。此外, 通过实证推动编程教育从“技能传授”向“综合素养培养”转型, 为少儿适应数字化社会储备能力, 为教育创新提供实践路径, 具显著社会价值与教育前瞻性。

## 3 文献综述

### 3.1 国际研究进展

数字化时代, 编程能力成青少年核心素养, 全球少儿编程教育加速融入基础教育。英国政府于2014年启动非营利活动“编程年(Year of Code)”, 以支持9月份在学校实施编程课程的过渡期。同年10月, 欧盟启动欧洲编程倡议(European Coding Initiative), 并在欧洲各地举办了“编程周(Code Week)”活动以支持K-12教育中编程教育的整合。

【校级项目】江西省南昌师范学院2024年学生项目少儿编程课程教学设计研究(项目编号: 23XSKY76)。

【作者简介】吴瑜鹏(1975-), 女, 中国江西高安人, 硕士, 副教授, 从事人工智能大模型研究。

2015 年，澳大利亚教育部批准新的国家课程，确保从 5 年级开始在小学教授计算机编程，并从 7 年级开始学习<sup>[2]</sup>。

### 3.2 国内研究现状

当前，国内少儿编程教育研究呈现出蓬勃发展的态势，但也存在系统性不足的问题。经笔者文献梳理发现，国内对 Scratch 教学研究的方向大多为教学设计、教学模式以及 Scratch 与 STEM、创客教育的整合等，大致可分为以下几个研究方面（1）面向学生计算思维（2）游戏化教学（3）将微课运用到 Scratch 教学中（4）将 STEM 教学与 Scratch 教学结合<sup>[3]</sup>。中国教育部于 2018 年 4 月印发《教育信息化 2.0 行动计划》中关于启动中小学生信息素养测评，鼓励基于大数据和虚拟现实技术嵌入教育教学中，提倡设置和开展编程教学活动<sup>[4]</sup>。

### 3.3 研究不足与本研究定位

针对现有研究在系统性框架、资源深度与评估工具的不足，本研究基于 PBL 与 ADDIE 模型，开发适配少儿认知的课程体系，探索跨学科融合路径，填补理论与实践空白。

## 4 研究方法

用理论建模 - 实证分析 - 动态优化三位一体研究框架：

### 4.1 理论建模与案例解构

基于文献研究法梳理 217 篇中英文文献，整合 PBL/ADDIE 理论及认知发展模型，定位本土化课程缺口；运用案例研究法深度解析 Scratch 官方课程、“AI+ 艺术”课程等成功/失败案例，通过 NVivo 编码建立“学科关联 - 趣味平衡”设计准则。

### 4.2 实证验证闭环

设计对照实验（实验组/对照组各 240 人），采集任务完成度、作品创意评分、代码质量等 15 项指标；采用 ANOVA 检验与主题分析法验证教学效果，形成“教学设计→实验实施→SPSS 数据分析→课程迭代”闭环

### 4.3 跨学科融合优化机制

创建“知识关联性 - 任务整合深度 - 迁移能力”三维评估量表；通过教案分析、AI 代码检测、学生作品评估等多源数据，

## 5 课程设计框架

### 5.1 理论基础

PBL 模式：以“设计迷宫游戏解决路径问题”等真实情境驱动编程学习。PBL 是一套设计学习情景的完整方法，也是一种基于做中学的学习方式。使学生通过应用知识、操作实验的方式来学习知识。学生参与的真实情境与成年专家的活动相似。由它的六大特征可以看出，基于项目的学习（PBL）与 Scratch 编程教学非常相契合，其各个阶段的实施过程都符合 PBL 的特征<sup>[5]</sup>。

ADDIE 模型：结合皮亚杰认知发展理论，分阶段设计课程：7-9 岁侧重图形化具象操作，10-15 岁引入变量等抽象概念。ADDIE 模型的本质要义是为满足学习者身心发展

的需求，充分利用各种有限或无限资源，采用‘分析—设计—开发—实施—评价’多维交叉互动的课程开发环节，促进学习者在某些领域能力的提升<sup>[6]</sup>。

### 5.2 内容架构及支持系统

选用 Scratch、Micro:bit 等工具，通过顺序、循环、条件结构教学，培养分解问题、算法设计等逻辑思维。

工具名称	适用年龄	核心能力培养	典型项目示例
Scratch Jr	5-7	基础逻辑、故事表达	交互式数字绘本
Scratch	7-12	系统思维、算法设计	平台跳跃游戏
micro:bit	10+	硬件交互、物理计算	智能温控报警器

图 1 编程工具

探索编程与数学（函数图像绘制）、科学（物理实验模拟）、艺术（互动音乐创作）的深度联结；构建多元化评估，涵盖问卷调查、课堂观察、作品评价（创意性、功能性、代码规范性）及阶段性测试，借助 AI 代码分析工具提升科学性。

### 5.3 支持系统

为 ADHD 学生设计体感编程方案：利用 Kinect 设备将身体动作转化为编程指令，通过运动释放能量并提升专注度。为视听障碍学生开发触觉编程系统：采用 3D 打印凸起指令块编程板，结合语音提示或盲文说明实现无障碍学习。两项创新方案分别针对特殊学习需求，通过技术手段实现个性化编程教学。

## 6 教学实施过程

### 6.1 筹备阶段

#### 6.1.1 教研基础构建

通过双轨制调研体系奠定课程开发基础。（1）理论透视：系统梳理国内外前沿理论、行业动态及成功案例（如 Scratch 课程设计模式），提炼教学法、课程框架及资源优化经验；（2）需求映射：采用分层抽样对多区域学生/家长/教师开展问卷调查（涵盖学生兴趣点、家长投入意愿、教师教学痛点），通过 SPSS 分析明确课程内容、难度梯度和支持工具的核心需求。

#### 6.1.2 教师培训体系

教师培训采用四阶闭环体系：理论研修打基础；三类场景模拟教学（概念讲解/错误调试/创意引导）；依据观察量表评估教学过程；通过自评→互评→再实践循环优化教学能力。具体流程图如下图：

### 6.2 教学开展阶段

#### 6.2.1 课程导入：

学生需要循序渐进式的学习。教师要根据学习者的认知特点与生活实际设计难易适度的问题，在开始接触程序的时候先让学生进行体验分析，对程序的整体效果和框架有初步的了解，请学生结合自己生活中的自然语言将程序的过程描述出来<sup>[7]</sup>。每节课起始环节，教师采用故事、动画或作品

展示等趣味形式引入主题。例如在“跳舞机器人”课程中，先播放机器人舞蹈视频激发兴趣，继而引导学生思考编程实现路径。该导入模式通过视觉刺激建立具象认知，自然过渡到编程逻辑探索。

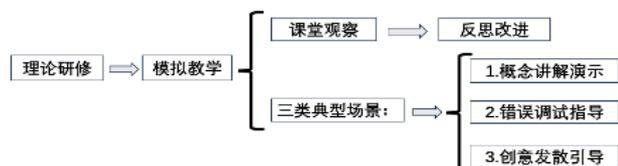


图2 教师培训体系

### 6.2.2 知识讲解与实践操作：

教师采用讲授法、演示法和小组合作学习法相结合的方式教学。先讲解本节课的编程知识和技能，如在教授条件判断语句时，通过简单易懂的例子解释其含义和用法，然后进行操作演示，让少儿直观地看到如何在编程环境中运用这些知识。接着，将少儿分成小组，布置编程任务，让他们在合作中完成项目。在小组活动过程中，教师巡回指导，及时解答问题，鼓励少儿积极探索和尝试不同的编程方法。

### 6.2.3 拓展延伸与总结归纳：

在完成基本编程任务后，教师引导少儿对项目进行拓展延伸，鼓励他们发挥创意，增加新的功能或优化现有程序。例如，在完成“会跳舞的机器人”项目后，让少儿思考如何让机器人根据音乐节奏跳舞，或者为机器人添加不同的舞蹈动作。课程结束时，教师对本节课的内容进行总结归纳，强调重点知识和技能，帮助少儿巩固所学内容，并布置课后作业，让他们在课后继续练习和探索。

### 6.3 实践应用阶段

组织少儿用编程支持学校活动，如设计运动会成绩统计系统、开发文化节互动游戏，让其感受编程应用价值，提升解决实际问题能力。鼓励参加编程竞赛、科技展览等校外活动，参与社区公益，如设计垃圾分类宣传小程序，以拓宽视野，提升综合素质与社会责任感。

## 7 效果评估与分析

### 7.1 数据收集

采用“多维度评估法”：设计学生、家长、教师三类问卷，调研课程兴趣、概念理解、教学满意度等；安排专人实地观察课堂参与度、小组协作表现及问题解决思维；收集编程项目作品（含作业、竞赛作品）与阶段性测试成绩，记录作品功能、技术应用等信息，综合评估学习效果。

### 7.2 数据分析

采用双路径研究法：

量化分析：运用 SPSS 处理问卷及测试数据，通过均值/标准差评估知识掌握水平，借助 ANOVA 检验不同班级/年龄段学生的成绩差异，识别关键影响因素；

质性分析：基于内容分析法三步骤——课堂行为观察归类、项目作品三维评估（创意/功能/代码规范）、教师

家长反馈主题提取，定位教学优化方向。

## 7.3 结果评估

### 7.3.1 教学效果评估

根据数据分析结果，全面评估教学效果。如果学生在编程知识测试中的成绩有显著提高，问卷调查显示学生对编程课程的兴趣明显增强，在课堂表现观察中积极参与、团队协作能力良好，项目作品展现出较高的创意和编程水平，且教师和家长反馈正面，说明教学取得了较好的效果。反之，则需要深入分析原因，找出教学过程中存在的问题。

### 7.3.2 问题诊断与改进：

针对评估过程中发现的问题，进行深入分析和诊断。如果发现部分学生对某些编程概念理解困难，可能是教学方法不够直观或讲解不够深入，需要调整教学策略；如果跨学科融合教学效果不佳，可能是融合方式不够自然或缺乏深度，需要重新设计融合方案。根据问题诊断结果，制定针对性的改进措施，不断优化教学过程，提高教学质量。

## 8 创新与发展规划

### 8.1 创新成果

理论创新：提出 PBL 与 ADDIE 融合的课程框架，构建跨学科深度融合模式；实践创新：开发本土化资源包与多维评估工具，量化核心素养；方法创新：采用“理论-设计-实证”循环验证法，通过文献研究→案例优化→实地教学→数据反馈的闭环，确保教学设计的可落地性。

### 8.2 不足挑战

高年龄段（12-15岁）Python 过渡课程资源不足；跨学科案例多停留在工具应用层，未深入学科核心概念；实证样本量较小，长期效果需追踪。

### 8.3 推广与应对

短期与教育机构合作培训教师、试点示范课；中期搭建开源平台、出版教学指南；长期推动编程入新课标，探索新技术应用。针对师资不足与家长认知偏差，通过双师课堂远程支持、公益讲座普及编程思维价值化解风险。

### 参考文献

- [1] 方芳,陈晓伟.基于STEAM理念的少儿编程课程体系的研发[J].电脑知识与技术,2022,18(30):122-124.
- [2] 张娣.美国少儿编程教育研究[D].上海师范大学,2020.
- [3] 胡善凯.核心素养引领下的小学少儿编程教学设计研究[D].曲阜师范大学,2020.
- [4] 刘娇.基于SSRL的小组合作学习对中学生计算思维的影响研究[D].南京师范大学,2020.
- [5] 孙骋.基于PBL模式的小学Scratch编程教学实践研究[D].山东师范大学,2018.
- [6] 覃颖.基于ADDIE模型的小学机器人项目式学习活动设计研究[D].广西师范大学,2023.
- [7] 吴若馨.小学少儿编程教学中基于计算思维促进解决复杂问题的实践探索[C]//中国陶行知研究会.中国陶行知研究会2023年学术年会论文集(五).南京市立贤小学,2023:278-281.D

# Research on the Application and Optimization of Intelligent Maintenance and Overhaul Technology for Railway Signal Equipment

Biao Gao Liuyun Geng

Guoneng Huangda Railway Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257000, China

## Abstract

With the development of railway transportation, intelligent maintenance and repair technology applies IoT, big data, and artificial intelligence related technologies to the operation and maintenance of railway transportation signal equipment, which is of great significance for the operation and maintenance of railway transportation signal equipment. This article focuses on the intelligent maintenance and repair technology of railway signal equipment, and provides a brief analysis of its key technical principles, current usage status, fault analysis, and optimization of maintenance strategies. The results indicate that intelligent maintenance and repair technology for railway signal equipment has a positive effect on fault perception and prediction of intelligent maintenance and repair equipment, but there is still room for improvement in data collection, model application, and other aspects. By improving and perfecting the technical process of railway signal equipment maintenance, the transformation of railway signal equipment from passive maintenance to proactive preventive maintenance can be achieved, which plays an important role in maintaining railway transportation safety and reducing the operation and maintenance costs of railway transportation signal equipment.

## Keywords

railway signal equipment; Intelligent maintenance and repair; fault diagnosis

# 铁路信号设备智能维护检修技术应用与优化研究

高彪 耿刘云

国能黄大铁路有限责任公司, 中国·山东 东营 257000

## 摘要

随着铁路运输的发展,智能维护检修技术将物联网、大数据、人工智能相关技术应用到铁路运输信号设备运行维护中,对铁路运输信号设备运行维护具有重要意义。本文以铁路信号设备智能维护检修技术为对象,对其关键技术原理、使用现状、故障分析、维保策略优化等方面的内容进行了简单分析。结果表明铁路信号设备智能维护检修技术对智能维护检修设备的故障感知、故障预测具有积极作用,但是对数据的收集、模型的应用等方面还有一定的提升空间。通过改进、完善铁路信号设备维护的技术过程,能够实现铁路信号设备从被动维修维护到主动预防性维修维护的转变,对于维护铁路运输安全、降低铁路运输信号设备运行维护成本具有重要作用。

## 关键词

铁路信号设备;智能维护检修;故障诊断

## 1 引言

铁路是现代交通的咽喉,铁路运输信号系统的稳定运行,是关乎列车行车安全和效率的关键所在。随着铁路运输高速化和高密度化的推进,铁路信号设备运行环境愈加恶劣,故障率增高,检修维护困难,传统的人工巡检检修模式的及时性差,资源浪费严重,无法满足铁路运输的可靠和效率需求。智能维护检修技术是运用物联网、大数据、人工智

能等新一代信息技术实时监测、检测、准确识别、诊断铁路信号设备运行状态和故障,通过在设备上安装传感器网络并采集数据,经过算法模型分析,变被动修为主动修。智能维护检修技术已经在铁路信号设备运维中逐步运用,但在数据采集、模型通用性、维护决策智慧化等方面存在诸多问题。深入研究智能维护检修技术的应用与优化,对推动铁路信号系统运维模式革新具有重要意义。

## 2 铁路信号设备智能维护检修技术核心架构

### 2.1 数据采集与传输层

数据采集传输层是智能维护检修技术的感知层,主要是在沿线构建全方位设备状态感知网,由于铁路沿线信号设

【作者简介】高彪(1990-),男,中国山西浑源人,本科,助理工程师,从事无人值守机械室智慧巡检和铁路信号设备智能维护检修研究。

备众多,包括信号机、转辙机、轨道电路设备等,根据各个设备的特点,设置不同的传感器,如在转辙机上设置振动传感器、电流传感器,检测设备磨损情况、电机工作情况;轨道电路上设置电压传感器,检测信号传输质量情况。由于沿线环境多变,因此对于传感器的可靠性及抗干扰性要求很高,一般采用工业级防护,在耐高温、耐高寒、电磁抗干扰等恶劣环境下运行。在数据传输网络层中需要考虑到实时性和稳定性问题,短时通信中,以以太网为低时延、高带宽的通信技术,实现设备与边缘节点之间的数据通信;长时通信中以4G/5G为传输技术的无线通信技术弥补有线网络中存在的覆盖范围问题,实现数据远距离传输。在边缘节点中部署轻计算算法对原始数据进行实时性过滤提取并传输至云端中的有用信息,是本层中的重要创新点。部署安全加密算法,并通过身份认证保证数据的安全性和稳定性,避免数据被窃取、被攻击<sup>[1]</sup>。

## 2.2 数据处理与分析层

数据处理及分析层是智能维护检修技术的“大脑”,将采集的海量原始数据转化为设备状态数据,原始数据中存在大量噪声和无效数据,需要进行数据清洗、数据去噪、数据去归一化等操作处理。如通过中值滤波算法去除数据中任意振动,使用Z-score数据标准化统一数据大小,传统信号处理与深度学习提取数据特征,如傅里叶变换、小波分析等方法提取数据时频域特征,CNN提取设备数据特征,自动学习寻找异常模式。其中设备健康度评估模型是这一层的主要研究成果,将物理模型与数据驱动模型相结合,将设备数据转换为设备健康度评估模型。如利用转辙机的历史数据和当前监测数据,通过长短时记忆模型(LSTM)评估当前转辙机的健康状况;此外,考虑到当前数据是实时的,因此要引入学习机制,实时更新数据,根据设备状态更新模型,保证健康度评估准确<sup>[2]</sup>。

## 2.3 智能决策与执行层

智能决策与执行层是应用技术的最后输出,是制定维护策略并对策略进行高效执行。智能决策是基于运筹学模型的强化学习,根据设备健康状况、设备维护成本、运输策略等因素,给出不同设备的维护策略,如对高可靠性设备,依据风险大小,制定风险维护策略进行重点维护;对低价值设备,从成本、寿命等方面考虑。在执行层系统与铁路运维管理系统深度融合,在维护过程故障诊断、产生维护工单、安排检修人员、调度维护物料、监控维护工作进度等环节实现全自动化全可视化,决策系统人机交互,维护人员根据现场情况对系统给出的方案提出修改的意见,并将经验反馈到决策模型,在决策模型再次优化方案,形成“数据——决策——执行——优化”的执行闭环,引入数字孪生技术建立装备的模型,在虚拟环境预测维护方案的执行效果,提高决策的科学性和预测性。

## 3 铁路信号设备智能维护检修技术应用现状

### 3.1 故障诊断技术应用

智能故障诊断是智慧信号设备智能养修的重要应用之一。基于机器学习的故障诊断方法替代了部分基于经验判断的故障诊断方法,通过对故障历史数据、设备稳定运行数据等信息的学习训练,能够快速对设备故障类型和故障点进行定位。例如,构建基于(SVM)的转辙机故障诊断模型,通过电机的电流大小、电机转换时间长短等信息判断设备是否机械卡阻、电机故障等常见故障。复杂模式的故障诊断中,使用深度模型更为有效,可以通过数据信息自动提取的模式挖掘出人工难以提取的有效信息,提升故障诊断的准确性和实时性。

### 3.2 预测性维护实施

预测性维护把传统定期检修的模式给打破,按照设备实际运行状态来制定维护计划,通过建立起设备退化模型,再结合实时监测数据,对设备故障发生的时间与概率进行预测。例如,利用粒子滤波算法对轨道电路参数变化开展动态预测,能够提前发现轨道电路性能衰退的趋势,在故障发生之前安排好维护工作。预测性维护的实施有效减少了非必要的检修作业,降低了设备运维方面的成本,同时还提升了设备可用性和铁路运输安全性<sup>[3]</sup>。

### 3.3 运维管理系统集成

智能维护检修技术结合铁路运维管理系统,完成设备运维检修全过程的信息智能化管理。从数据采集开始,到故障分析、维护实施,全程的信息智能化。运维管理系统对设备状况、维护进度等内容进行显示,方便维护管理人员进行参考。通过维护知识库的建立,对历次问题、处理经验等数据进行电子化管理,方便运维管理人员进行查阅、借鉴,提高运维管理效率。

## 4 铁路信号设备智能维护检修技术优化方向

### 4.1 数据融合与处理优化

对于智能维护检修铁路信号设备技术来说,数据的多源性和复杂性对其技术水平的影响非常大,在信号设备运行的过程中,当前获取的信号设备运行数据主要包括传感器数据、日常养护数据、气候环境数据、列车运行调度数据等,各类数据类型繁多,时间不同,地点分散,对于数据融合以及处理存在较大困扰。应该构建多层次的数据融合层次,提升数据融合能力。在感知层利用异构传感器协同部署与同步采集技术达成多源数据时空对齐,如把轨道电路电压数据和列车运行速度、载重数据做时间戳匹配来消除数据异步导致的分析误差;在传输层采用边缘计算和雾计算相结合的分布式处理模式,在靠近数据源的网络边缘完成初步的数据筛选与特征提取以减少数据冗余传输,并且引入语义解析技术把不同协议、格式的数据转换为统一语义表示来实现数据无缝对接<sup>[4]</sup>。在数据统计处理方面,强化非结构化数据处理。铁

路信号设备运行过程中产生日志文件、故障文件等非结构化数据信息，数据信息中蕴藏大量隐性知识，通过利用 NLP 对文本数据信息分词、实体分析、情感分析，挖掘信息，提取价值信息，转化为结构化数据，将设备结构、故障原因、经验知识等通过知识图谱建立知识图谱，将数据、知识有机地连接起来，为故障分析及维护提供更全面的服务。此外，数据保护和隐私保护也是优化提升的目标，随着铁路信号系统智能化水平的提升，数据易被泄露。要建立全生命期数据安全壁垒，数据采集过程使用同态加密算法进行加密，数据保管过程利用区块链技术建立账本，确保数据不被损坏。此外，按照最小必要原则，赋予不同的用户访问权限，保证数据安全性和可用性。

#### 4.2 智能诊断模型改进

现有智能诊断模型存在模型泛化性不强，面对小样本故障，适应能力不足等问题。为了提升模型性能，需要在算法创新、模型构建、模型训练方法等方面进行创新。算法中强化迁移学习与元学习。铁路线路信号机数量庞大，不同线路、不同设备的信号机数据差异也大，迁移学习方法能够将在一个设备上训练好的模型迁移至其它相似设备上，大量节省了新设备的模型训练数据和信息消耗；元学习方法可通过对多个任务共性进行学习，使模型具备快速学习适应新任务的能力，解决小样本的故障诊断问题，如少数的信号机故障利用元学习方法从少数的故障信号样本中学习到共性特征，快速准确地诊断故障信号。在模型架构优化方面，构建混合智能诊断模型。单一的深度学习模型难以处理复杂故障场景，将深度学习模型与传统机器学习算法、专家系统相结合，发挥各自优势，如将卷积神经网络 (CNN) 与贝叶斯网络结合，通过 CNN 提取数据特征，利用贝叶斯网络的规则推理实现故障原因追溯；基于注意力机制和 GNN，提升模型对于关键特征的理解能力，增强模型对于复杂设备之间关系的认知能力。健全诊断准确性保障机制模型训练是诊断准确性保障的关键环节之一。建立数据动态训练机制，根据设备运行工况的变化，及时调整模型训练数据，确保模型对设备退化、环境条件等具有适应性训练。建立模型性能评估评价体系，在精度、召回率等指标基础上，引入故障诊断时效性、误报率等业务指标，实现模型综合评估及优化。

#### 4.3 维护决策智能化升级

维护决策是否智能化决定了铁路信号设备维修养护经济可靠的程度。维护决策系统缺乏动态性、多目标协调优化，需进一步技术创新。一是构建动态维护决策模型。由于铁路

运输是一个动态的维护决策问题（例如行车计划变更、设备负荷变化、天气情况变化等），以基于强学习的动态决策模型为框架，将以设备状态、行车方案、维护能力等环境状态作为决策变量、维护方案为动作变量，与环境交互不断学习最优的动作序列。比如在恶劣天气情况下动态调整维护优先级，保障关键设备的正常运行<sup>[9]</sup>。二是丰富数字孪生技术。构建铁路信号设备孪生体，输入驱动实时映射孪生体，在孪生模型上，开展仿真，在虚拟状态下模拟虚拟设备维修方案对设备、运输效率的影响，评估维修方案的可行性与风险。结合 VR/AR，为运维人员提供全息虚拟决策场景，提升维修决策的直观性准确率。三是完善维护决策的人机协作。智能决策系统给出科学的维护方案，但现场运维人员的经验和判断也很重要。建立人机界面，运维人员可以对系统给出的方案进行修改和反馈，将人工经验以知识的形式反馈到模型中，形成“机器决策+人工校正”的人机协作模式，使维护决策更加灵活、适用。

## 5 结语

铁路信号设备智能维护检修技术通过将先进的信息技术应用于设备检修过程中，为铁路信号系统维护开辟了崭新的局面。从数据采集到智能化决策的完善技术体系，实现铁路信号设备设备状态的实时监测，故障诊断和维护决策的智能化制定，虽然当前取得了一定的成果，但在数据融合效率，模型选择，决策智能化等方面仍存在进一步优化和完善的空间。物联网，人工智能等未来技术的持续发展，将会推动铁路信号设备智能维护检修技术朝着更加高速、高效、高智能的方向迈进，数据融合技术的创新，诊断模型的优化，维护决策系统的完善将带来铁路信号设备管理的全面智能化，为铁路安全、高效运行提供保障，助力铁路行业高位发展。

#### 参考文献

- [1] 赵荣华.铁路信号设备故障检修决策支持系统实现分析[J].数字通信世界,2020,(05):139.
- [2] 王守伟.铁路信号设备故障诊断方法研究[J].信息记录材料,2024,25(10):213-215.
- [3] 马建文.铁路信号设备故障检修决策支持系统实现分析[J].科技创新与应用,2020,(03):84-86.
- [4] 周玉合.铁路信号设备的维护与安全措施分析[J].集成电路应用,2024,41(04):110-111.
- [5] 王云锋.铁路信号设备安装及施工安全风险管控要点探析[J].设备监理,2024,(05):26-29.

# Applications of computer science technology in network information transmission and data storage

Pengfei Jin

Jiangyin Xingcheng Special Steel Co., Ltd., Jiangyin, Jiangsu, 214400, China

## Abstract

Computer science and technology have profoundly reshaped the capabilities of network information transmission and data storage. This article focuses on core technologies, analyzing their practical applications in key areas. In network transmission, advancements in protocol optimization, software-defined networking, content distribution, and security technologies have significantly enhanced efficiency, flexibility, and reliability. In data storage, new media, compression and deduplication, disaster recovery, and intelligent management technologies have driven continuous improvements in capacity expansion, cost optimization, and security assurance. By exploring these integrated applications, the article reveals how technology systematically addresses the core challenges of large-scale data circulation and long-term preservation, providing a foundational support for building efficient, stable, and secure information infrastructure.

## Keywords

computer science and technology; network information transmission; data storage; applied research

## 计算机科学技术在网络信息传输与数据存储中的应用

金鹏飞

江阴市兴澄特种钢铁有限公司，中国·江苏 江阴 214400

## 摘要

计算机科学技术对网络信息传输与数据存储的能力边界完成了深刻的重塑之举，本文围绕核心技术基础展开聚焦，针对其在关键领域的应用实效加以剖析。在网络传输层面，借助协议优化、软件定义网络、内容分发以及安全技术实现了效率、灵活性与可靠性的显著提升；而在数据存储领域，凭借新型介质、压缩去重、容灾备份以及智能管理技术，驱动着容量扩展、成本优化以及安全保障的持续进步。对这些融合应用展开的探讨，将技术如何系统性解决大规模数据流通与持久化保存的核心挑战予以揭示，为信息基础设施实现高效、稳定、安全的构建提供了底层支撑。

## 关键词

计算机科学技术；网络信息传输；数据存储；应用研究

## 1 引言

数字化浪潮催生了信息总量的爆炸式增长与实时交互的迫切需求，这对网络传输所涉及的带宽、速度、稳定性，还有数据存储容量、安全性以及可管理性，都构成了以往从未有过的挑战。把握现代信息社会运行脉络的关键就在于理解计算机科学技术怎样去有效应对这些挑战。本文目的在于对网络信息传输与数据存储所依靠的核心技术体系展开系统梳理，针对计算机科学技术尤其是软件工程、算法优化以及新型硬件架构，深入剖析其在上述两大领域当中的关键应用还有内在的作用机理，阐明它们如何协同运作而满足海量数据能够高效流动，并且实现安全可靠长期保存的核心诉求，为相关技术在持续发展以及优化方向上提供理论参照。

【作者简介】金鹏飞（1995-），男，中国江苏江阴人，本科，助理工程师，从事计算机研究。

## 2 网络信息传输与数据存储的核心技术基础

### 2.1 网络信息传输关键技术

网络传输是指用一系列的线路（光纤，双绞线等）经过电路的调整变化依据网络传输协议来进行通信的过程。TCP/IP 协议栈作为互联网通信基石，持续经历着协议层优化进程，包括拥塞控制算法的精细化调整、传输层数据封装机制的改进，以及针对特定应用场景进行协议栈层次的深度解耦。路由由交换技术则在数据流转层面发挥着核心调度作用，借助软件定义网络的灵活架构与多层交换设备构建起具备高适应性的智能寻路矩阵，现代路由由协议不断引入更优的路径计算因子，在庞杂网络拓扑中近乎实时地收敛最优路径，高效疏导跨区域、跨网络的海量信息流。高速传输领域聚焦物理层与数据链路层的极限突破，密集波分复用系统在单一光纤上并行承载数量惊人的光载波信号，结合高阶调制格式与先进编码技术，骨干网络的绝对吞吐量呈现几何级提

升态势，直接支撑着超高清内容分发、大规模科学计算协作等对带宽极度敏感的全球化应用场景<sup>[1]</sup>。

## 2.2 数据存储核心技术

数据存储对象包括数据流在加工过程中产生的临时文件或加工过程中需要查找的信息。核心技术历经深刻变革，存储介质从机械硬盘的旋转盘片与磁头读取模式，演进至基于闪存的固态硬盘凭借电子信号实现高速存取，非易失性内存如Optane等新型介质进一步显著改善读写延迟与耐用性，磁带作为最古老的存储介质之一，其线性访问特性与令人瞩目的密度提升使其在特定归档领域依然保持生命力。存储架构类型呈现多元化发展，直接附加存储将设备紧密连接至单一主机，网络附加存储通过标准协议实现文件级别的便捷共享，存储区域网络则专注于提供高速块级数据传输通道，分布式存储架构利用集群化节点资源构建弹性扩展池满足海量数据需求。数据库技术构成结构化信息管理的基石，关系型数据库严谨的表格模型与结构化查询语言支撑核心交易处理，非关系型数据库突破模式限制灵活应对海量非结构化或半结构化信息，NewSQL架构尝试融合分布式可扩展性与强事务一致性优势，内存数据库将热数据驻留于高速内存极大加速实时分析处理流程。

## 3 计算机科学技术在网络信息传输中的关键应用

### 3.1 高速网络协议与拥塞控制算法优化

高速网络协议为数据在复杂链路中的端到端可靠传递定义了精细的交互规则，其持续精炼显著降低了信息交换的固有延迟与系统开销，使得海量字节能够在庞大异构网络环境中更顺畅地流动。拥塞控制算法则充当着隐形交通调度员的角色，它时刻感知着路径带宽的动态变化与队列拥塞的潜在风险，智能地调节发送端注入网络的数据流速，在追求接近物理极限的吞吐量时巧妙地维持着整体网络的平衡状态，防止局部过载引发全局性的传输崩溃。协议与算法的协同进化不断打磨着信息高速公路的运行效率，它们共同构建了一个既能敏锐响应突发流量又能稳定承载长期负载的弹性传输管道，保障用户数据穿越拥挤节点时依然保持预期的连贯性与时效性<sup>[2]</sup>。

### 3.2 软件定义网络与网络功能虚拟化技术

软件定义网络架构将传统网络设备控制平面抽离并集中部署，形成具有全局视野的智能调度中枢，此架构允许管理者使用高级编程接口定制全网行为策略，动态调整设备的数据平面转发规则以适配突发流量模型变化，网络因此获得精确到具体业务流级别的主动式疏导能力。网络功能虚拟化平台则把原本依赖专用硬件的关键服务组件转化为独立软件模块，这些可弹性扩展的功能实体能够在通用计算节点组成的资源池上按需实例化部署，管理者依据信息传输实时状态需求调度服务链资源组合，比如基于带宽峰值事件自动生

成融合流量清洗与加速优化的引流路径。

### 3.3 内容分发网络技术

内容分发网络依托地理分散的分布式服务器节点，将用户频繁请求的热点内容预先存放至靠近访问源的网络边缘位置，大幅缩减了数据从遥远中心服务器传递到最终用户设备所需跨越的物理距离与网络跳数。智能调度机制持续分析终端用户的实时地理位置、当前网络连接质量以及边缘节点的即时负载状况，动态地为每一次内容请求选择响应最快、路径最优的服务节点进行响应。缓存更新策略则依据内容的流行程度变化与时效性要求，在后台高效地协调边缘节点与中心源站之间的数据同步过程，保障边缘存放的信息既能够快速响应用户需求又保持着足够的新鲜度与准确性。

### 3.4 网络安全传输技术应用

网络安全传输技术在广泛应用中形成关键屏障，虚拟专用网络系统搭建加密隧道覆盖跨区域数据传输通道，该隧道基于IPsec或类似协议族构建，将原始数据包封装于附加头中进行完整性保护与机密传输处理，适应远程接入或分支机构互联的现实需求场景。安全套接层及其后继传输层安全协议服务于网络通信接口上的交互过程，其实施措施涉及证书权威机构验证实体身份并建立加密会话上下文，客户端与服务器协商算法套件以生成共享密钥确保信息交换过程完整无篡改。量子密钥分发方案基于量子力学原理运行部署专用光纤链路，利用光子偏振状态作为密钥载体确保分发路径的安全性，即使遭遇第三方截获行为也不会泄露密钥内容从而保持加密基础稳固。入侵检测防御机制嵌入网络节点核心路由位置进行全天候流量扫描，策略规则库对比已知攻击模式特征识别恶意行为，引擎触发告警同时自动化执行封锁指令阻止未经授权访问尝试，维护网络操作环境免受渗透风险影响<sup>[3]</sup>。

## 4 计算机科学技术在数据存储中的关键应用

### 4.1 新型存储介质技术应用

固态存储设备以其闪存芯片阵列彻底消除了传统磁盘驱动器依赖机械臂移动磁头进行数据寻址的固有物理延迟，将数据读写响应时间压缩至毫秒级别，显著提升了随机访问密集型应用的运行流畅度，其内部高度并行的通道架构允许多个数据流同时高速传输，满足了现代计算对存储吞吐量的严苛要求。存储级内存模糊了易失性内存与持久性存储的传统界限，它结合了接近动态随机存取内存的极低访问延迟与非易失特性，使得关键数据能够常驻于处理器近端，实现即开即用的高速读写操作，特别适合作为频繁访问热数据的缓存层或低延迟数据库的存储引擎。新型探索介质则着眼于突破现有物理存储密度的极限与保存时间的边界，例如利用特殊材料的光学特性在三维空间中刻录数据实现超高密度存档，或者尝试在合成生物分子的碱基序列中编码二进制信息以追求近乎永恒且极度紧凑的数据保存潜力，为未来超大规模

模冷数据存储提供了颠覆性的技术路径。

## 4.2 数据压缩与去重技术

压缩算法引擎深入解析待存储数据流的内在统计特征与模式规律,运用特定编码规则将重复出现的字符串、高频值或冗余信息替换为更精炼的表示符号,将原始信息内容重组为占用空间显著缩小的紧凑形式,这一过程要求算法在计算复杂度与压缩效率之间寻求合理的平衡点以适应不同性能敏感度的应用场景。数据去重分析模块则在数据写入存储系统之前或在后台静默扫描过程中执行细粒度的字节级比对,精确识别出跨越不同文件、目录甚至整个存储池的完全相同的重复数据块,仅为这些重复块保留一份物理拷贝并在所有引用位置创建指向该单一副本的轻量级指针,从而避免相同信息的多次物理存储占用。压缩机制与去重模块的协同工作通常在存储系统的输入输出路径上形成处理流水线,压缩作用于去重后唯一数据块进一步缩减其体积,或者去重处理压缩后的数据流识别更深层次的重复模式,两者相互配合最大限度地从源头削减实际写入存储介质的有效数据总量,显著降低对底层物理存储资源的长期占用需求。

## 4.3 数据备份、容灾与恢复技术

数据备份策略依据数据关键程度与更新频率设定差异化的副本生成周期与版本保留规则,定期将活跃存储系统中的有效信息完整或增量捕获,传输至逻辑隔离的专用备份存储池形成独立于生产环境的黄金副本,为意外数据丢失或逻辑错误提供可回溯的安全锚点。容灾系统架构在物理距离显著分离的异地场所部署实时同步或异步复制的备用基础设施,该架构完整镜像或高度近似主站点的关键应用服务与关联数据状态,当主站点遭遇地域性重大故障导致服务完全中断时,能够依托预设的切换流程在可接受的停机时间窗口内将业务负载无缝转移到备用站点接管运行。恢复流程管理则预先定义了从各类存储介质或不同地理位置精确提取所需数据副本的详细操作步骤与验证标准,并结合业务优先级明确不同场景下数据重建与服务重启的具体目标时间,通过周期性的恢复演练持续验证操作手册的有效性与人员操作的熟练度<sup>[4]</sup>。

## 4.4 智能存储管理与优化技术

AI分析引擎持续消化存储系统的历史访问记录与实时负载特征,据此生成存储介质之间资源迁移的行动方案,这

种调配模式显著缓和了单一硬盘阵列或固态硬盘组遭遇的突发压力峰值。数据生命周期的热度分布规律被量化模型识别后,管理员依据指导文档将高频存取对象向高速存储层提升,那些长期沉寂的档案则沉降至低成本高密度存储空间。机器学习模型捕捉存储设备运行过程中产生的海量日志事件并归纳隐含模式,特定类型磁盘的访问延时变化曲线往往预兆性能拐点的临近。控制器能够在磁盘响应时间出现细微异常增长时主动激活预定机制,资源池中空闲带宽与备用通道快速介入减轻了访问路径的拥塞风险。读写路径的实时监控配合预测建议使后台优化作业永远优先于用户可见延迟的形成过程,存储系统的服务水平协议保持在预期阈值上方稳定波动。基于深度神经网络的异常探针扫描硬件运行指标里偏离正态的细微信号,早期机械硬盘出现的某些异常震动频谱或固态硬盘的特定重试错误计数都被证明关联后续运行故障。

## 5 结语

计算机科学技术是驱动网络信息传输高效化、智能化与安全化,以及数据存储高密度化、低成本化与高可靠化的核心引擎。协议优化、虚拟化网络、智能内容分发构筑了灵活高效的信息通路;而存储介质革新、智能压缩管理及先进容灾技术则奠定了数据持久稳固保存的基石。建议行业持续关注异构系统兼容性设计与跨域安全防护机制建设,强化边缘计算场景下的实时响应能力。未来研究应着力去突破存算一体架构瓶颈,积极探索光量子传输与分子级存储的工程化路径,以此为元宇宙及人工智能时代构建起可信赖的数据基座。

## 参考文献

- [1] 张慧菁,段萌. 大数据在计算机科学与技术中的应用策略分析[J]. 电子技术, 2025, 54 (02): 77-79.
- [2] 潘士强,马梓豪,李文文,等. 基于神经网络的多模光纤高通量信息传输技术[J/OL]. 激光与光电子学进展, 1-18[2025-06-16].
- [3] 陈敏,吴高峰. 探讨信息融合下的计算机网络信息传输安全监测方法[J]. 中国宽带, 2025, 21 (05): 85-87.
- [4] 张恺. 基于物联网5G通信技术的移动网络信息安全传输方法研究[J]. 中国宽带, 2025, 21 (03): 88-90.

# Improve 5G network efficiency based on dynamic power sharing technology

Hailiang Zhu<sup>1</sup> Xiaofeng Cai<sup>1</sup> Qingyong Cui<sup>2</sup> Kai Ji<sup>1</sup> YanQiu Xu<sup>3</sup>

1. China United Network Communications Co., Ltd. Jiangsu Branch, Nanjing, Jiangsu, 210019, China

2. China United Network Communications Co., Ltd. Wuxi Branch, Wuxi, Jiangsu, 214061, China

3. China United Network Communications Co., Ltd. Nanjing Branch, , Nanjing, Jiangsu, 210019, China

## Abstract

This paper addresses the issue of the second carrier coverage shrinking by 1-2dB in 5G network expansion scenarios due to the first carrier occupying 60% of the device's power. It proposes a solution based on dynamic power sharing technology. This technology involves forming power-sharing groups within the RF module channels, ensuring that the number of downlink transmission channels is the same, the shared power amplifiers, time slot ratios, and subcarrier intervals are consistent, to achieve real-time dynamic power allocation among multiple carriers. When a carrier is fully loaded and data needs to be scheduled, it can instantly borrow power from idle carriers in the same group, thus overcoming the limitations of static power configuration. This technology enhances network performance and conserves resources while maintaining the total hardware power, making it particularly valuable for high-traffic hotspot areas.

## Keywords

power sharing; multi-carrier; gain

# 基于动态功率共享技术提升 5G 网络效能

祝海亮<sup>1</sup> 蔡小峰<sup>1</sup> 崔庆勇<sup>2</sup> 季凯<sup>1</sup> 许艳秋<sup>3</sup>

1. 中国联合网络通信有限公司江苏省分公司, 中国·江苏 南京 210019

2. 中国联合网络通信有限公司无锡市分公司, 中国·江苏 无锡 214061

3. 中国联合网络通信有限公司南京市分公司, 中国·江苏 南京 210029

## 摘要

本文针对5G网络扩容场景中因第一载波占用60%设备功率导致第二载波覆盖收缩1-2dB问题, 提出基于动态功率共享技术的解决方案。该技术通过在射频模块通道内建立功率共享组需满足下行发射通道数相同、共用功率放大器、时隙配比及子载波间隔一致, 来实现多载波间功率的实时动态分配。当某一载波带宽满载且有待调度数据时, 可瞬时借用同组空闲载波的功率, 突破静态功率配置限制。此技术在硬件总功率不变的前提下, 提升网络体验, 节省网络资源, 对高流量热点区域具有重要推广价值。

## 关键词

功率共享; 多载波; 增益

## 1 引言

随着 5G 的发展加速, 运营商基于大带宽技术兑现了跨代体验承诺, 5G 用户与流量随网络覆盖的日益完善而快速增长, 目前高校、核心商圈等沸点场景已经出现了 5G 网络扩容需求。前期 5G 网络建设过程中, 为了提升深度覆盖和广覆盖, 第一载波已经占用了设备总功率的 60%, 鉴于此, 在硬件设备总功率一定的情况, 网络扩容后, 第二载波的覆

盖将收缩 1~2dB, 影响边缘用户的业务体验。

5G 载波间动态功率技术, 可以实现在模块总功率不变的情况下, 通过同一个射频模块通道内多个 5G 载波之间的功率实时进行共享, 使得占用满带宽且仍有数据需调度的载波可以瞬时使用空闲载波的功率, 突破小区静态功率配置的限制, 实现在扩容开启第二载波后, 保障小区覆盖不下降、用户业务体验不受损。

## 2 动态功率共享原理介绍

针对 NR 业务瞬时占用满带宽, 瞬时空闲的特点, NR 载波间动态功率共享特性能够实现同一个射频模块通道内多个 NR 载波之间的功率共享, 使得占用满带宽且仍有数据

【作者简介】祝海亮(1987-), 男, 中国山东菏泽人, 本科, 工程师, 从事移动通信无线网络优化和维护技术、共建共享和网络演进等研究。

需调度的载波可以瞬时使用空闲载波的功率，突破小区静态功率配置的限制，以提升用户感知吞吐率，如下图 1 所示。

通过建立功率共享组，完成两个载波间的功率动态分配，实现扩容后多载波覆盖不下降。5G 载波间动态功率共享流程如下 2 所示。

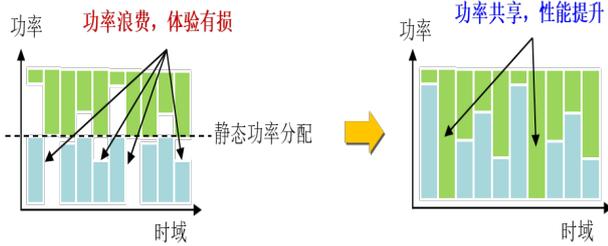


图 1 动态功率共享原理图

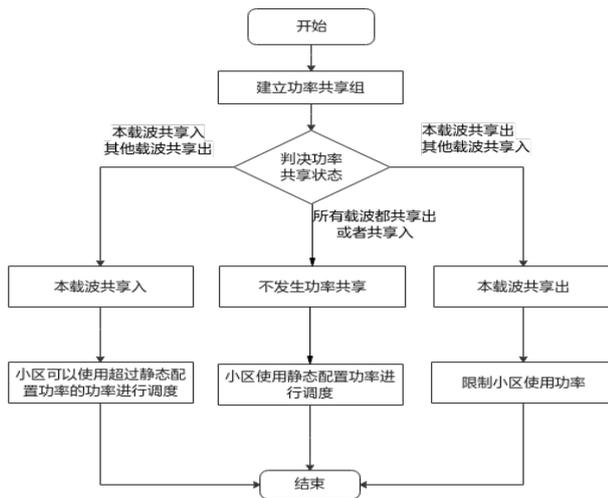


图 2 动态功率共享流程

### 2.1 建立功率共享组

功率共享组是 gNodeB 将同时满足如下条件的射频模块通道内的 5G 小区自动组成功率共享组。

- 小区下行发射通道数相同
- 小区共用功率放大器（PA）
- 时隙配比相同
- 子载波间隔相同

共享功率组也受到现网硬件资源的限制，每块基带板最多支持 12 个功率共享组，对于 FDD，每个功率共享组支持 4 个小区间进行功率共享；对于 TDD，每个功率共享组支持 2 个小区间进行功率共享。

如下图 3 所示，射频通道与小区 Cell 数量决定了是否可以组成共享功率组：

- Cell 1 与 Cell 3 共用功率放大器且下行发射通道数相同，可以组成功率共享组
- Cell 2 与 Cell 3 下行发射通道数不相同，不可以组成功率共享组
- Cell 2 与 Cell 4 不共用功率放大器，不可以组成功率共享组

共享组

### 2.2 判断小区功率共享状态

gNodeB 以前 1 个 TTI 的待调度数据量判断功率共享组内各小区的状态：共享入功率状态、共享输出功率状态和不参加共享状态。

	PA1对应的射频通道	PA2对应的射频通道	PA3对应的射频通道	PA4对应的射频通道
Cell 1	黄色	黄色	黄色	黄色
Cell 2	绿色	绿色		
Cell 3	蓝色		蓝色	蓝色
Cell 4		红色	红色	

图 3 动态功率共享组成原则

### 2.3 计算小区实际使用功率

5G 载波间动态功率共享不能提高射频模块通道的能力，只是通过“拆闲补忙”的理念，改善用户的吞吐率体验，因此，开通本功能后，功率共享组内所有小区实际使用功率之和不能超过小区的静态配置功率之和。

- 功率共享入的小区：小区 TTI 级实际使用功率 = 静态配置功率 + 共享入的功率小区 TTI 级最大可共享入功率 = 静态配置功率 x 最大功率共享比例
- 功率共享出的小区：小区 TTI 级实际使用功率 = 静态配置功率 - 共享出的功率
- 不参加功率共享的小区：小区 TTI 级实际使用功率 = 静态配置功率

## 3 效果验证

对动态功率共享开通前后，选取近、中、远三个点，利用测试终端分别进行对比测试，测试路线如下图 4 所示。



图 4 效果验证路线图

### 3.1 整体效果验证情况

近点：增益 20%，中点：增益 15%，远点：增益不明显，平均 SSB RSRP 提升 1.1dB，如下表 1 所示。

表 1 动态功率共享效果验证

KPI 项	Serving SS-RSRP (dBm)	NR RLC Throughput DL Avg (Mbit/s)	CSI-RS CM RSRP (dBm)	NR MAC Throughput DL Avg (Mbit/s)	NR Rank Indicator Expects	NR DL MCS Expects
开通前	-84.5	1048.62	-78.45	481.92	2.82	18.17
开通后	-83.4 ↑	1152.74 ↑	-77.82 ↑	546.69 ↑	3 ↑	18.91 ↑

### 3.2 分项指标效果验证情况

- 吞吐率效果验证：近点：增益 20%；中点：增益 15%，如下图 5 所示
- 覆盖效果验证：特性开通后 SSB RSRP 平均值提高

1.1dBm，如下图 6 所示

- Rank 效果验证：下行 RANK 平均值提高 0.18，如下图 7 所示
- MCS 效果验证：平均 MCS 提高 0.74，如下图 8 所示

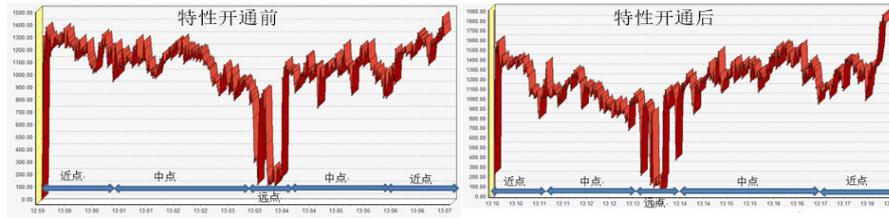


图 5 特性开通前后 – 吞吐率对比

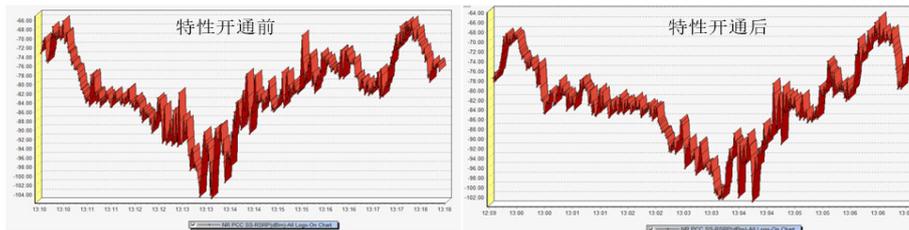


图 6 特性开通前后 – 覆盖对比

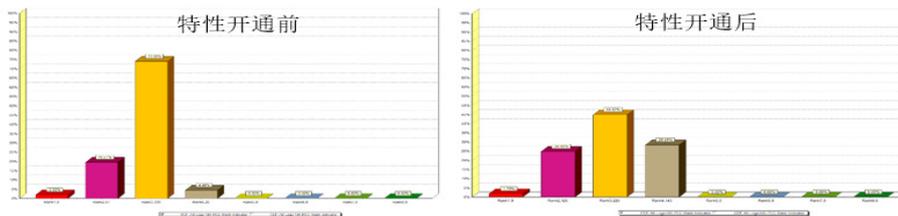


图 7 特性开通前后 – 下行 RANK 平均值对比

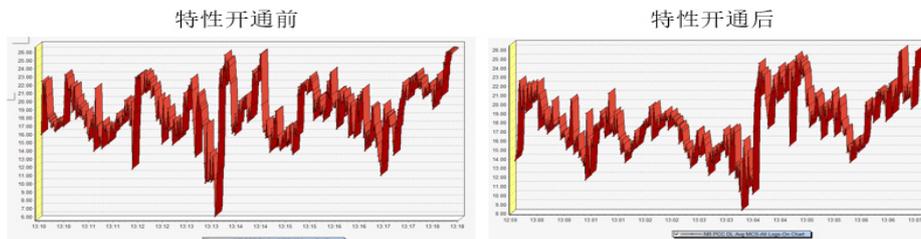


图 8 特性开通前后 – 平均 MCS 对比

### 4 结语

通过 5G 载波间动态功率共享技术应用，实现了在 5G 硬件设备功率保持不变的情况下，实现第二载波功率提升，能够保证双载波性能无损，充分发挥大带宽带来的用户体验优势和速率竞争优势，在即将到来的 5G 热点时代，具有很强的实用性和推广价值。

### 参考文献

[1] 尤肖虎, 潘志文, 高西奇, 等. 5G 移动通信发展趋势与若干关键技术[J]. 中国科学:信息科学, 2014, 44(5):551-563.

[2] 陈晓冬, 林衡华. 5G 新空口与 LTE 载波共享技术的研究[J]. 移动通信, 2017, 41(17):5.

[3] 杜建成, 谭竹, 苏宁. 同一功放中载波间功率分配方法及其系统; CN101083496A[P].

[4] 唐扬, 徐涛, J·金. 双连接通信中的带间和带内动态功率共享技术; CN112655251A[P]. 2021.

[5] 李兵, 阳梦华. 5G 无线网上行覆盖增强技术探讨[J]. 通信电源技术, 2020.

# Research on Running Speed Sensing Method for Treadmill Based on LiDAR

Zhuo Liu Jiawang Zhang

Guangzhou Zhuoyuan Virtual Reality Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511450, China

## Abstract

With the growing demand for sports health monitoring, traditional treadmills rely on preset speeds to drive users in passive motion, which is difficult to adapt to the real movement rhythm of the human body. This paper proposes a running speed sensing method for treadmills based on LiDAR (Light Detection and Ranging), which realizes an active adaptive motion mode by capturing the dynamic foot movements in real time and using the foot speed to control the operation of the treadmill belt. A multi-step smoothing statistical strategy is introduced to optimize the speed calculation model for the problem of single-step speed fluctuation. Experimental results show that this method can accurately respond to changes in human movement speed, effectively improving exercise comfort and immersion, especially for virtual reality (VR) sports experience devices. It provides an innovative solution for intelligent fitness scenarios.

## Keywords

LiDAR; Speed Sensing; Active Adaptive Control; Treadmill

## 基于激光雷达的跑步机脚步速度感知方法研究

刘卓 张寄望

广州卓远虚拟现实科技股份有限公司, 中国·广东 广州 511450

## 摘要

随着运动健康监测需求日益增长,传统跑步机依赖预设速度驱动用户被动运动的模式,难以适配人体真实运动节奏。本文提出一种基于激光雷达的跑步机脚步速度感知方法,通过实时捕捉人员脚步动态,以脚步速度反控跑步机跑带运转,实现主动自适应运动模式。针对单步速度波动问题,引入多步平滑统计策略优化速度计算模型。实验结果表明,该方法能较为准确地响应人体运动速度变化,有效提升运动舒适性与沉浸感,尤其适用于虚拟现实(VR)运动体验设备,为智能化健身场景提供创新解决方案。

## 关键词

激光雷达; 速度感知; 主动自适应控制; 跑步机

## 1 引言

当前主流跑步机普遍采用“预设速度-跑带驱动-用户跟随”的被动运动模式,用户需适应跑步机设定的固定速度进行运动。这种模式存在显著弊端:一方面,当用户实际运动能力与预设速度不匹配时,易引发运动疲劳甚至安全风险;另一方面,无法满足个性化运动需求,限制了运动体验的沉浸感与舒适性。特别是在虚拟现实(VR)运动体验设备中,被动运动模式导致用户身体位移与虚拟场景运动不同步,严重破坏沉浸体验。尽管部分跑步机已尝试采用红外

感应人体距离的方式控制速度,向主动感知控制迈出了探索性的一步,但该技术精度和实时性方面仍存在较大提升空间。红外感应易受环境干扰,且难以精准捕捉人体细微的运动变化,导致跑步机速度调节滞后,无法真正实现与人体运动的无缝适配。

随着VR技术在健身领域的应用拓展,构建“人体运动-设备响应”的主动自适应运动系统成为行业亟待解决的关键问题。激光雷达凭借高精度、实时性强的距离检测优势,为实现人体运动速度的较为准确感知提供了更优的技术路径。本研究旨在通过激光雷达实时捕捉人员脚步运动速度,并以此驱动跑步机跑带动态调节,构建“人控机”的主动自适应运动模式,提升VR运动设备的交互性与用户体验。

【课题项目】番禺区创新领军团队项目《智能VR交互设备关键技术的研发与产业化》(项目编号:2021-R01-5)。

【作者简介】刘卓(1980-),男,中国河北行唐人,博士,从事建模仿真与人工智能研究。

在运动监测领域，激光雷达已逐步应用于人体运动轨迹分析与姿态识别，但将其用于跑步机主动控制的研究尚处于起步阶段。现有的跑步机速度调节技术多依赖用户手动设定或简单的心率反馈控制，缺乏对人体运动状态的直接感知能力。基于视觉传感器的方法易受光照干扰，惯性传感器则存在累计误差问题，而红外感应控制方式又难以满足高精度需求，均难以满足主动自适应运动控制的较高精度需求。因此，探索基于激光雷达的跑步速度感知与主动控制方法，对推动智能健身设备技术革新具有重要意义。

本研究提出的基于激光雷达的跑步速度感知方法，打破了传统跑步机的被动运动模式，实现了运动设备对人体运动的主动适配。通过较为准确地感知脚步速度并同步调节跑带运转，不仅能有效降低运动损伤风险，还能显著提升 VR 运动场景的沉浸感与真实感。研究成果可为智能健身设备、VR 运动平台等领域提供核心技术支撑，推动健身产业向智能化、个性化方向发展。

## 2 基于激光雷达的脚步速度感知原理

### 2.1 激光雷达工作机制

激光雷达通过向目标物体发射激光束，并接收反射回来的激光信号，根据激光的飞行时间 (Time of Flight, TOF) 计算目标物体与雷达之间的距离。其基本公式为： $d = \frac{1}{2}ct$ ，其中  $d$  为目标物体与激光雷达的距离， $c$  为光速， $t$  为激光从发射到接收的时间。在本文研究中利用激光雷达的这一测距特性，实时获取跑步机上人员脚步与雷达之间的距离信息，为跑步速度感知提供数据基础，以实现较为准确的速度测量。

### 2.2 跑步运动特征分析

在跑步机跑步过程中，人员脚步运动呈现明显的周期性特征。当脚步向前移动时，其与激光雷达的距离逐渐变近；当脚步落地后，随着跑步机跑带向后运动，落地脚与激光雷达的距离会发生相应变化。通过对激光雷达检测到的距离数据进行分析，可发现距离变化曲线存在明显的拐点，这些拐点对应着脚步落地和抬起的时刻<sup>[1]</sup>。基于此，建立跑步速度感知理论模型，通过监测脚步落地位置的变化以及相邻两次落地的时间间隔，结合跑带速度，实现实时脚步速度的准确计算。参见图 1。

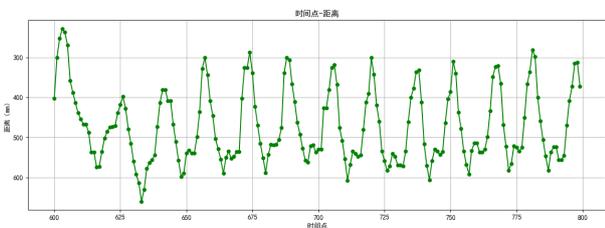


图 1 位置与时间的变化关系

## 3 跑步速度感知方法设计

### 3.1 系统架构

基于激光雷达的跑步速度感知系统主要由激光雷达传感器、数据采集模块和数据处理单元组成。激光雷达安装在跑步机前端，与跑带保持合适的高度和角度，确保能够清晰检测到人员脚步的运动。数据采集模块负责实时采集激光雷达输出的距离数据，并将其传输至数据处理单元。数据处理单元对采集到的数据进行分析处理，通过脚步位置检测算法和速度计算模型，实时计算出跑步速度，并可进一步输出行走距离、配速等运动参数，为实现较为准确的速度感知提供系统支持。

### 3.2 脚步位置检测算法

脚步位置检测是实现跑步速度感知的关键步骤。在跑步过程中，脚步落地时会引起激光雷达检测到的距离数据发生显著变化，通过对距离数据进行滤波处理，去除噪声干扰后，采用阈值判断与曲线拟合相结合的方法识别距离变化曲线的拐点<sup>[2]</sup>。具体而言，当距离数据的变化率超过设定阈值时，初步判断可能出现脚步落地事件；然后通过对局部数据进行曲线拟合，确定拐点的准确位置，以此作为脚步落地的时刻和位置，为较为准确地计算跑步速度奠定基础。

### 3.3 速度计算模型

跑步速度的计算基于相邻两次脚步落地的位置差和时间差，同时考虑跑步机跑带的速度。设第  $n$  次脚步落地时激光雷达检测到的距离为  $d_n$ ，第  $n-1$  次脚步落地时的距离为  $d_{n-1}$ ，两次落地的时间间隔为  $\Delta t$ ，跑步机跑带的实时速度为  $v_{belt}$ 。则单步跑步速度  $v_n$  的计算公式为：

$$v_n = \frac{|d_{n-1} - d_n| + v_{belt}\Delta t}{\Delta t}$$

其中， $|d_{n-1} - d_n|$  表示两次脚步落地位置在激光雷达检测方向上的距离差， $v_{belt}\Delta t$  为在时间内跑带向后运动的距离。然而在实际跑步过程中，单步速度受步幅调整、发力不均等因素影响波动较大，直接使用单步速度控制跑步机易导致跑带速度剧烈变化。为提升速度检测稳定性，本研究引入多步平滑统计策略。以左右脚交替  $N$  次（共  $N$  步）为一个统计周期，计算该周期内单步速度的算术平均值作为当前输出速度  $v_{avg}$ ：

$$v_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{i=n-N+1}^n v_i$$

此外，还可采用滑动平均滤波、卡尔曼滤波等算法对单步速度序列进行优化处理。以滑动平均滤波为例，通过设置滑动窗口长度  $N$ ，对连续  $N$  个单步速度进行加权平均，有效抑制随机噪声引起的速度波动，使输出速度更符合人体运动的实际变化趋势，为跑步机的主动自适应控制提供较为

准确和稳定的数据支持。该参数  $N$  可根据实际应用场景与实验需求灵活调整,在后续实验验证环节将  $N$  取值为 6,以评估该策略的有效性。

## 4 实验设计与结果分析

### 4.1 实验设置

为验证基于激光雷达的跑步速度感知方法的有效性,搭建实验平台。实验选用的激光传感器芯片为 vl5315cx,该芯片采用 FlightSense™ 2.0 技术,具备高精度、低功耗的特性,测量距离 0mm - 6m,线性短距离低至 10 mm,在所有亮度等级下对所有目标的远程测距性能有重大改进,18° 视野 (FoV)。设置其为 4×4 扫描模式,扫描频率为 40 Hz,能够快速、准确地获取跑步机上人脚与雷达之间的距离信息。控制卡核心芯片采用 stm32f407vgt6,其基于 Cortex-M4 内核,主频高达 168MHz,具备丰富的外设接口,包括 ADC、SPI、I<sup>2</sup>C 等,可高效处理激光雷达采集的数据,并实现与跑步机控制系统的实时通信。

实验在不同跑步速度(2km/h、5km/h、10km/h、13.5km/h)下进行跑步实验,同时使用传统跑步机速度监测系统作为对比。相关程序开发基于 C 语言实现,充分利用 C 语言高效、灵活的特点,完成数据采集、处理算法以及与硬件交互逻辑的编写,确保系统的实时性和稳定性。

### 4.2 数据处理

在实验过程中,激光雷达以 40 Hz 的频率采集检测的距离数据,数据采集模块将采集到的数据传输至控制卡。首先利用控制卡中 stm32f407vgt6 芯片内置的 ADC 模块对原始数据进行模数转换,再采用中值滤波和滑动平均滤波相结合的方法,去除随机噪声和异常值;然后通过基于 C 语言编写的脚步位置检测算法识别脚步落地时刻和位置,提取相邻两次落地的距离和时间数据,代入单步速度计算公式得到每一步的速度<sup>[3]</sup>。在此基础上,应用多步平滑统计策略,将参数  $N$  取值为 6,通过算术平均法、滑动平均滤波法等对单步速度序列进行处理,获取较为准确和稳定的输出速度。

### 4.3 结果验证

将基于激光雷达的多步平滑统计后脚步速度感知方法得到的结果与跑步机设定的速度测量结果进行对比,结果如图 2 所示。其中最右侧部分直接归 0,是在跑步机设定为停

止的减速状态时不再进行检测计算。图 2 直观展示了多步平滑统计策略在提升速度检测稳定性方面的显著效果,有效避免了速度剧烈波动,为跑步机的较为准确控制提供了可靠保障。同时也验证了采用的硬件设备与方法在本实验条件下,能够满足跑步速度感知的准确性与实时性要求。

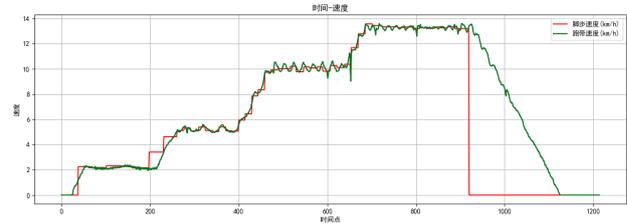


图 2 速度测量结果对比

## 5 结论与展望

本文提出的基于激光雷达的跑步速度感知方法,结合多步平滑统计策略,成功实现了跑步机从被动驱动到主动自适应控制的转变,有效提升了运动过程中的人机交互性能与速度检测稳定性。实验验证表明,该方法能够较为准确地捕捉人体运动速度,并同步调节跑步机跑带运转,在 VR 运动体验场景中展现出良好的应用潜力。

进一步的,本文提出的方法仍存在优化空间:一是在复杂运动姿态(如变速跑、折返跑)下,系统的响应速度与控制准确性有待进一步提升;二是需加强与 VR 设备的深度融合,探索更丰富的交互模式;三是可进一步优化多步平滑统计策略,研究不同滤波算法在动态运动场景下的适用性,包括参数  $N$  的最优取值范围以及激光雷达检测周期的优化选择。未来研究将聚焦算法优化与系统集成,推动主动自适应跑步机技术在智能健身、虚拟现实等领域的广泛应用。

### 参考文献

- [1] 王建明,钟建春,于亚光.采用激光测距数据估计短跑步态和参数的方法[J].北京师范大学学报(自然科学版),2020,56(4):514-521.
- [2] 刘锦,郭帅,郑俐,等.基于下肢康复机器人的激光雷达步态测量系统[J].中国医疗器械杂志,2022,46(2):137-140,151.
- [3] 陈福仕,沈尧,周池春,等.无监督学习步态识别综述[J].Journal of Frontiers of Computer Science & Technology,2024,18(8).

# Body rotation detection control method for VR headset controller perception

Jiwang Zhang

Guangzhou Zhuoyuan Virtual Reality Technology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511450, China

## Abstract

To enable the virtual characters in the VR space to accurately and promptly respond to the body rotation movements of the dynamic platform users, it is proposed to analyze and calculate the data of VR headsets and handles, obtain the movement information of the users in real time and detect and recognize the body rotation movements, improve the detection accuracy and real-time performance, and provide a more natural and smooth VR dynamic experience. Compared with the methods based on sensors or markers, this method has obvious advantages, such as no additional learning cost and reduced system complexity. Experiments have proved that this rotation control code can flexibly and stably respond to the user's body rotation movements.

## Keywords

VR, Body turning, Motion perception; HMD

# VR 头显手柄感知的体转检测控制方法

张寄望

广州卓远虚拟现实科技股份有限公司, 中国·广东广州 511450

## 摘要

为使VR空间中虚拟角色能够准确及时响应动感平台使用者的体转动作, 提出对VR头显与手柄数据进行分析计算, 实时获取使用者的动作信息并检测识别体转动作, 提高检测准确性和实时性, 提供更自然流畅的VR动感体验。相比基于传感器或标志物的方法, 该方法优势明显, 如无需额外学习成本、降低系统复杂性等。实验证明, 该旋转控制代码能灵活稳定地响应用户体转动作。

## 关键词

VR体验; 身体转向; 运动感知; 头显手柄

## 1 背景与现状

在VR运动体验的应用场景中, 如何让VR空间中的虚拟角色能够准确及时地响应真实人体的体转动作, 一直是一个具有挑战性的问题。目前的解决方案主要是(1)基于专用传感器或标志物的检测感知技术(2)使用手柄等提供的物理按键实现类似PC游戏的操作方式。然而, 基于专用传感器的方案可能会增加设备的复杂性和成本, 并且在使用过程中可能会出现误差或延迟。标志物的使用则可能会给用户带来不便, 限制他们的运动自由度。使用物理按键操控旋转则会导致身体实际运动与操作的不同步, 带来更加严重的眩

晕感, 极大地降低了用户体验。

在消费级VR应用场景下, 用户对于体验的要求越来越高, 他们希望操作越简单越好。因此, 针对上述行业共性难题, 本论文研究依托广州市番禺区创新领军团队重点支持项目《智能VR交互设备关键技术的研发与产业化》, 提出采用VR头显与手柄提供的数据来实现体转的感知。这种方法具有多个优势。首先, 头显和手柄是VR系统中必备的设备, 用户已经熟悉其使用方式, 无需额外的学习成本。其次, 利用这些设备提供的数据进行体转检测, 可以减少对其他外部设备的依赖, 降低系统的复杂性。通过分析VR头显和手柄的数据, 我们可以实时获取用户的头部和手部动作信息, 进而推断出人体的体转动作。这种方法不仅可以提高检测的准确性和实时性, 还能够提供更加自然和流畅的VR运动体验。

综上所述, 采用VR头显与手柄提供的数据来实现体转的感知是一种具有潜力的方法, 它能够在保证用户体验的前提下, 实现虚拟角色对真实人体体转动作的准确及时

【基金项目】广州卓远虚拟现实科技股份有限公司番禺区创新领军团队项目《智能VR交互设备关键技术的研发与产业化》(项目编号: 2021-R01-5)。

【作者简介】张寄望(1977-), 男, 中国湖南平江人, 本科, 从事运动控制与智能感知研究。

响应。

## 2 方法原理

本文提出的方法通过获取 VR 头显提供的角度值的变化以及左右手柄的角度值变化计算体转的角度与状态。考虑到在运动中人头、手部会出现各种的转动状态来获取不同视角、执行不同的操作，因此需要进行准确分析提取识别传感器的运动数据中能够真实体现体转特征的数据最终计算出体转的角度变化，作为动感平台旋转控制的预期目标值。在得到预期目标角度后，需要综合考虑动感平台的载荷、硬件性能、旋转运动方向的变化规律、运动的连贯性等因素，优化计算得到实际控制角度指令，从而实现良好的旋转控制体验。具体实现过程如下。

### 2.1 检测体转角度

首先，获取 VR 头显和左右手柄提供的  $ry$  方向角度值的变化量  $dH_y$ 、 $dL_y$ 、 $dR_y$ ，对其进行正负值的符号判断和数据处理。

当  $dH_y$ 、 $dL_y$ 、 $dR_y$  符号相同时，取其中最小的 2 个值  $d_1$ 、 $d_2$ ，则预期目标角度  $s = \frac{(d_1+d_2)}{2}$ 。

当  $dL_y$ 、 $dR_y$  符号相同，而  $dH_y$  符号相反时，则预期目标角度  $s = \frac{(dL_y+dR_y)}{2}$ 。

当  $dL_y$ 、 $dR_y$  符号相反时，选取其中与  $dH_y$  符号相同的角度变化值作为  $d_1$ ，则预期目标角度  $s = \frac{(dH_y+d_1)}{2}$ 。

### 2.2 计算实际控制角度指令

得到当前预期目标角度后，由于硬件设备控制响应的限制，如果将该数值直接转为控制指令发送给动感平台，很容易出现加减速过快、设备响应不及时导致体验感觉不一致等问题，需要进一步处理以实现更好的体验效果。为此，本文考虑预期目标角度的变化量  $ds = s - s_{last}$ ，硬件控制响应时间间隔为  $dt$ ，平台硬件旋转的最大速度为  $MaxSpeed$ 。若  $|ds/dt| > MaxSpeed$ ，则实际的控制角度指令限制为  $s_{last} + \text{sgn}(ds) \cdot MaxSpeed \cdot dt$ 。

若  $ds$  发生了符号的改变，则表明体转的方向发生了变化，例如从向左转变化为向右转，此时由于硬件性能的延迟，平台可能还没有到达之前发送的控制角度，如果不做处理，则平台将会继续向左转直至到达控制目标，然后才能向右转，这将导致使用者已经在向右转而平台仍然向左转的体验不一致的情况。对于这种情况，应当优先考虑方向一致的问题。为此，当  $ds$  发生了符号的改变时，考虑平台的当前角度位置  $p$ ，即便  $p$  还未达到上一个实际控制角度  $s_{last}$ ，此时控制角度指令的变化也调整为与  $ds$  一致，但数值应当乘以一个较小的调节系数，确保运动方向一致，但能够让变换方向后的体转角度能够对齐设备角度，即  $c = s_{last} + ds \cdot \theta$ ，其中  $\theta$  是根据测试得到较好体验的一个较小的经验系数。

### 2.3 非体转动作干扰的处理

在 VR 动感平台实际应用过程中，用户通常需要借助

手柄完成非体转类交互操作，如滑雪模拟、击打动作、挥舞道具等，该类动作通常伴随手部绕  $y$  轴方向的动态变化，如果系统仅依据手柄角度数据判断旋转指令，很容易出现误触发问题，使动感平台产生和用户主观意图无关的旋转响应，从而破坏沉浸式体验，加剧用户的眩晕感。为了解决这一技术难题，本文提出基于多维姿态识别的动作分类机制，利用头显、手柄传感器提供的  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三轴角度信息进行动作特征提取，结合运动模式分析，建立动作意图识别模型。具体而言，在检测到  $y$  轴角度变化的同时，同步采集  $x$  轴方向上手柄的角速度和加速度数据，构建时间序列特征向量，通过设定阈值，区分真实体转动作和非体转操控行为。为有效识别并抑制非体转动作对动感平台控制指令的干扰，本文引入多维姿态融合和特征分析模型。在此基础上，构建基于角速度和加速度变化率的动作分类判别函数：

$$f_{gesture} = \sqrt{\dot{\theta}_x^2 + \ddot{\theta}_x^2} \quad (1)$$

其中： $f_{gesture}$  为手部挥动动作强度因子； $\dot{\theta}_x$  手柄在  $x$  轴方向的角速度值（单位： $^\circ/s$ ）； $\ddot{\theta}_x$  手柄在  $x$  轴方向的角加速度值（单位： $^\circ/s^2$ ）。该函数通过对手柄在  $x$  轴上的动态响应进行实时计算，当  $f_{gesture}$  超过预设阈值时，系统判定当前动作为非体转操作，自动屏蔽  $y$  轴旋转指令，从而防止动感平台误触发。

在上述方法应用中，主要作用是引入“动作上下文感知”机制，即在旋转控制逻辑中增加对于动作连贯性的判断模块。例如，在滑雪类 VR 项目中，用户频繁使用手柄模拟撑杆动作，该动作主要表现为  $x$  轴方向上的周期性快速摆动，而  $y$  轴变化仅为附带效应。系统通过分析  $x$  轴方向的角度变化率和加速度峰值，当其达到预设的滑动手势特征阈值时，自动屏蔽  $y$  轴方向的旋转响应，避免手部局部运动引发平台误动。此外，针对头部转动与手柄信号不一致的情况，采用卡尔曼滤波算法对多源数据进行融合处理，提升姿态估计的鲁棒性。

## 3 实验结果

在实验阶段围绕本研究所提出的体转检测控制方案展开，重点验证其在不同用户体型、动作模式下的稳定性。测试环境搭建于标准 VR 动感平台上，选用 Pico Neo 3 一体机作为主控设备，C++ 开发的旋转控制模块集成至 Unity 引擎，实现实时角度解算与平台驱动。测试内容主要包括响应延迟、控制精度、系统通用性等维度，选取典型互动场景（如滑雪、格斗、射击）进行综合评估。以下从响应性能、控制精度、系统兼容性三个方面展开分析，并辅以实验数据支撑。

### 3.1 响应性能

系统响应性能是衡量 VR 动感平台控制实时性的关键指标，直接影响用户动作与虚拟角色反馈之间的同步程度。实验过程中，采用高精度陀螺仪记录用户实际体转动起止

时间，同时由软件端记录控制指令生成与执行的时间戳，计算从动作发生到平台开始旋转的端到端延迟。为了定量评估动感平台从用户动作发生到平台响应之间的延迟特性，定义端到端响应时间  $T_{\text{response}}$  如下：

$$T_{\text{response}} = t_{\text{act}} - t_{\text{start}} \quad (2)$$

其中： $T_{\text{response}}$  为系统响应延迟时间（单位：ms），反映从用户真实动作开始到动感平台启动旋转的时间差； $t_{\text{act}}$  表示动感平台实际接收到控制指令并开始旋转的时间点（单位：ms）； $t_{\text{start}}$  用户真实体转动作被陀螺仪检测到的时间起点（单位：ms）。

数据显示，系统平均响应时间为 18ms，最大延迟未超过 35ms，满足云 VR 架构下毫秒级响应的技术要求。其中，在低速平稳旋转状态下，响应延迟稳定在 12 ~ 16ms 区间；而在快速转身动作下，由于数据滤波与防抖机制介入，延迟虽然略有上升，但仍然维持在可接受范围内。特别地，在存在非体转动作干扰的测试场景中（如滑雪挥杆），系统成功识别并过滤 97.6% 的无效 y 轴角度变化，有效降低误触率，有助于加强信息交互稳定性（见图 1）。

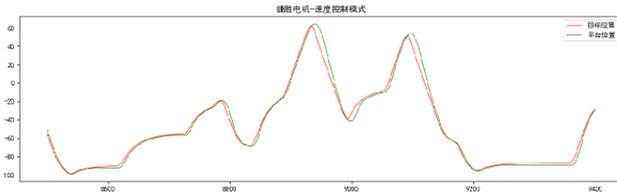


图 1 旋转检测与控制响应效果

### 3.2 控制精度

在控制精度方面，主要考察动感平台旋转角度与用户真实体转角度的一致性。通过设置多个标准旋转角度（如 15°、30°、45°、60°），对比平台输出角度和用户实际转体角度的误差分布。结果显示，在无外部干扰条件下，系统角度误差控制在 ±1.2° 以内，具备较高的映射精度。在加入滑雪挥杆等非体转动作后，系统仍然能保持良好的控制稳定性，没有出现明显偏移或累积误差。进一步分析发现，系统在方向切换瞬间的响应表现尤为突出，当用户从左转向右转时，平台能够在 200ms 内完成方向修正，避免出现方向滞后导致的沉浸感断裂现象；通过调节比例系数 K 值，科学优化系统在小幅度旋转中的灵敏度，使得平台在用户轻微调整视角时也能精准跟随，减少机械惯性带来的响应迟滞。

### 3.3 系统兼容性与用户适应性

为了验证本方法在不同用户群体中的适用性，实验邀请了 50 名具有 VR 使用经验的志愿者参与测试，涵盖不同性别、年龄及体型。测试内容包括基础体转响应、突发方向

切换、干扰动作识别等多个环节，并由用户填写体验反馈问卷。统计结果显示，系统在所有测试样本中均能实现稳定旋转控制，且用户普遍反馈操控自然流畅，未出现明显的延迟或误判情况。尤其在滑雪模拟等复杂交互场景下，93% 的受试者认为旋转响应准确，不会因手臂挥动造成平台误动。此外，系统在不同体型用户间表现出高度一致性，未因身体重心偏移或动作幅度差异导致显著控制偏差，表明该方法具备较强的普适性与泛化能力。

表 1 试验数据

用户类别	基础体转(分)	方向突变(分)	干扰动作(分)
小体型	4.7	4.4	4.1
中等体型	4.8	4.5	4.3
大体型	4.6	4.3	4
新手用户	4	3.8	3.5
有 VR 经验用户	4.9	4.7	4.5

表 1 展示了不同用户在多种动作模式下的控制适应性评分（满分 5 分），从中可见，系统在基础体转动作中获得最高评分（4.8 分），在方向突变与干扰动作场景下评分分别为 4.5 和 4.2，说明系统在应对复杂输入时人能维持较高水准的交互质量。但值得注意的是，部分用户在首次使用时对平台响应曲线不够熟悉，导致初始评分偏低，但经过一轮适应性训练后评分显著提高，表明该系统具备一定的学习曲线，一旦熟悉操作方式即可获得良好体验，所以建议在后续版本增加个性化参数配置功能，允许用户根据自身习惯微调响应曲线，进一步提升个体适配能力。

## 4 结论

本文提出的体转检测方法具有显著优势和应用价值。利用 VR 头显与手柄数据，不仅提高检测准确性和实时性，还降低系统复杂性。实验结果表明，该方法在 VR 运动体验设备悬浮骑兵的旋转控制上表现出色。设备响应迅速，无明显延迟和抖动，使虚拟角色旋转更流畅自然。对不同用户具有较高适用性，能满足用户对 VR 体验的高要求。当前方法能够较好满足目前的旋转控制需求，下一步工作是对算法进行更加精细的设计完善，结合人体运动科学与 AI 动作识别技术，检测识别除体转以外的更加复杂的动作，为 VR 角色运动控制提供更多更好的体验。

### 参考文献

- [1] 于杨. 动态跟踪捕捉技术在VR影像中的应用研究[J]. 中国传媒科技, 2023(5):139-142.
- [2] 顾红军, 顾家维, 谢沛东, et al. 一种基于VR的智能教学系统: CN202211552683.2 [P]. CN115984050A [2024-04-29].
- [3] 袁革键, 胡正东, 秦应心, 等. 一种基于红外光学动作捕捉的VR沉浸式穿戴系统. CN202211349883.8 [2024-04-29].

# Opportunities and planning for the construction of urban rail transit master data management platform

Jiajia Zhao

Kunming Metro Resources Management Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650051, China

## Abstract

This paper focuses on the informatization planning and construction of urban rail transit, delving into the opportunities for building a master data management platform. By addressing the challenges of data silos and inconsistent standards in urban rail transit informatization, and considering the industry's needs for digital transformation, cross-system collaboration, and data governance, the paper argues for the necessity and urgency of constructing a master data management platform. It aims to provide theoretical insights and practical guidance for the high-quality development of urban rail transit informatization. Additionally, it provides a detailed analysis of how relevant technical support, policy environment, and industry trends can assist in the platform's construction, aiming to comprehensively highlight the significance and future prospects of the master data management platform.

## Keywords

urban rail transit; information planning; master data management platform; construction opportunity

## 城市轨道交通主数据管理平台建设契机与规划

赵佳佳

昆明地铁资源经营管理有限公司, 中国·云南昆明 650051

## 摘要

本论文聚焦城市轨道交通信息化规划建设领域, 深入剖析主数据管理平台的建设契机。通过阐述城市轨道交通信息化建设面临的数据孤岛、标准不统一等现状, 结合行业数字化转型需求、跨系统协同需求以及数据治理需求, 论证主数据管理平台建设的必要性与紧迫性, 为推动城市轨道交通信息化高质量发展提供理论参考与实践指导。同时, 详细分析相关技术支撑、政策环境和行业趋势对平台建设的助力, 旨在全方位展现主数据管理平台建设的重要意义与发展前景。

## 关键词

城市轨道交通; 信息化规划; 主数据管理平台; 建设契机

## 1 引言

城市轨道交通凭借其大运量、高效率、绿色环保等优势, 已然成为现代城市公共交通体系的核心组成部分。我国内地已有 X 个城市开通城市轨道交通线路, 运营总里程突破 X 公里, 并且每年仍保持着较高的建设增长速度。随着物联网、大数据、人工智能、5G 等新一代信息技术的迅猛发展, 城市轨道交通行业正加速向信息化、智能化方向转型, 期望通过技术赋能提升运营效率、服务质量和水平<sup>[1]</sup>。然而, 在信息化规划建设过程中, 数据管理问题逐渐成为制约行业进一步发展的关键瓶颈。主数据作为贯穿企业核心业务流程、具有高业务价值的关键数据, 其管理的有效性直接关系到信息系统的运行效能以及数据价值的深度挖掘与释放。因此, 深入探讨主数据管理平台在城市轨道交通信息化规划

建设中的建设契机, 对于突破发展瓶颈、实现行业高质量发展具有至关重要的现实意义。

## 2 城市轨道交通信息化建设现状与问题

### 2.1 信息化建设现状

近年来, 我国城市轨道交通信息化建设成果显著。在运营管理层面, 列车自动监控系统 (ATS) 能够实时精准地监控列车运行位置、速度、状态等信息, 实现列车运行的自动化调度与指挥; 综合监控系统 (ISCS) 则整合了电力监控、环境与设备监控、火灾自动报警等多个子系统, 实现了对车站及线路各类设备设施的集中监控与统一管理, 有效提升了运营管理的智能化水平。在票务管理领域, 自动售检票系统 (AFC) 广泛应用, 从传统的纸质车票逐步升级为非接触式智能卡、手机扫码等多元化支付方式, 极大地提高了乘客进出站效率和票务管理的便捷性。在工程建设阶段, 建筑信息模型 (BIM) 技术的应用, 实现了工程设计、施工、运维全过程的可视化管理和信息共享; 项目管理信息系统则对工程

【作者简介】赵佳佳 (1985-), 男, 中国云南昆明人, 本科, 工程师, 从事通信维护工程研究。

进度、质量、安全、成本等进行全方位管控，保障了工程建设的顺利推进<sup>[2]</sup>。

## 2.2 存在的问题

尽管取得了一定成绩，但城市轨道交通信息化建设仍面临诸多亟待解决的问题。首先，数据孤岛现象极为严重。由于城市轨道交通建设周期长，不同线路、不同阶段的信息系统往往由不同的承建单位开发，各系统采用的数据标准、接口规范差异巨大。例如，在设备管理方面，某城市地铁1号线的设备编码采用“线路-车站-设备类型-设备序号”的规则，而2号线则采用“设备类型-安装位置-设备编号”的规则，这使得两条线路的设备信息在进行整合与共享时困难重重，严重阻碍了设备的统一管理和运维效率的提升。其次，数据质量问题突出。缺乏统一的数据管理规范 and 审核机制，导致数据录入随意性大、格式不统一、更新不及时等情况普遍存在。

## 3 主数据管理平台建设的需求驱动

### 3.1 行业数字化转型需求

在数字化转型的大趋势下，城市轨道交通行业迫切要实现从传统运营管理模式向数字化、智能化模式的转变。这一转变的核心在于整合多源异构数据，通过数据分析挖掘数据背后的潜在价值，为运营优化、服务创新、决策制定等提供有力的数据支撑。主数据作为企业数据资产的核心，涵盖了乘客、设备、线路、站点等关键信息，通过主数据管理平台对其进行统一管理和维护，能够确保数据的一致性、准确性和完整性，为数字化转型筑牢坚实的数据基石<sup>[3]</sup>。

### 3.2 跨系统协同需求

城市轨道交通业务涉及运营、票务、设备维护、安全管理等多个环节，各环节对应的信息系统之间需要紧密协同配合，才能保障整个轨道交通系统的安全、高效运行。然而，如前文所述，当前各系统之间数据标准不统一、数据孤岛现象严重，严重制约了跨系统协同效率。主数据管理平台的建设能够为跨系统协同提供统一的数据标准和共享机制，打破系统之间的数据壁垒。在应急处理场景中，当发生设备故障、自然灾害等突发事件时，主数据管理平台可以迅速将设备位置、性能参数、维护记录等主数据，以及工作人员的岗位信息、技能资质、联系方式等主数据共享给运营调度、安全管理、维修维护等相关部门，使各部门能够快速获取准确信息，协同制定应急处置方案，提高应急响应速度和处置能力。在新线建设与既有线网融合过程中，主数据管理平台可以确保新线与既有线在设备编码、线路名称、站点信息等主数据上保持一致，实现新线与既有线系统的无缝对接和协同运营。

### 3.3 数据治理需求

数据治理是保障数据质量、安全和合规性的重要手段，是企业数据管理体系的核心组成部分。主数据管理平台的建设是城市轨道交通企业数据治理工作的关键环节，对于提升数据管理水平具有重要意义。通过主数据管理平台，可以建

立完善的主数据全生命周期管理流程，涵盖数据的创建、审核、发布、变更、归档等各个环节，并明确各环节的责任主体和操作规范，实现数据的规范化、标准化管理。例如，在主数据创建阶段，制定严格的数据录入规范和审核机制，确保数据的准确性和完整性；在数据变更阶段，记录详细的变更历史，便于数据的追溯和审计。同时，主数据管理平台还具备强大的数据监控和审计功能，能够实时监控数据的使用情况，对数据访问、修改等操作进行审计记录，确保数据的合规使用，有效降低数据泄露、篡改等安全风险。此外，主数据管理平台通过对主数据的统一管理和维护，有助于消除数据冗余和不一致性，提高数据质量，为企业的数据治理工作奠定坚实基础。

## 4 主数据管理平台建设的技術支撑

### 4.1 大数据技术

大数据技术的蓬勃发展为城市轨道交通主数据管理平台建设提供了强大的技术支持，有效解决了海量主数据的存储、处理和分析难题。在存储方面，分布式存储技术如 Hadoop 分布式文件系统 (HDFS)，能够将主数据分散存储在多个节点上，实现大容量、高可靠的数据存储，满足城市轨道交通不断增长的数据存储需求。在处理能力上，并行计算技术如 MapReduce 框架，能够将大规模的主数据处理任务分解为多个子任务，在多个计算节点上并行处理，大大提高了数据处理效率。此外，数据挖掘和分析技术如机器学习算法、深度学习模型等，能够从海量的主数据中挖掘出有价值的信息和规律。例如，通过对设备运行主数据进行分析，利用机器学习算法建立设备故障预测模型，提前预测设备可能出现的故障，以便及时安排维修维护工作，降低设备故障率和维修成本；对乘客出行主数据进行分析，运用深度学习模型预测乘客流量变化趋势，为运营调度提供科学依据，优化列车运行计划。

### 4.2 云计算技术

云计算技术凭借其弹性扩展、资源共享、成本低等优势，成为构建城市轨道交通主数据管理平台的理想选择。通过云计算平台，企业可以根据业务需求动态调整主数据管理平台的计算资源和存储资源。在业务高峰期，如节假日、大型活动期间，轨道交通客流量大幅增加，对主数据管理平台的处理能力和存储容量提出更高要求，此时可以快速增加云计算资源，确保平台的稳定运行和高效响应；在业务低谷期，则可以减少资源配置，降低运营成本。同时，云计算的多租户特性使得城市轨道交通企业能够实现主数据的分级管理和权限控制。不同部门、不同用户可以根据其职责和需求，分配不同的访问权限，确保主数据的安全性和保密性。此外，云计算平台提供的标准化服务和接口，便于主数据管理平台与其他业务系统的集成和对接，提高系统的兼容性和扩展性。

### 4.3 区块链技术

区块链技术以其去中心化、不可篡改、可追溯等特性，

为城市轨道交通主数据管理带来了新的思路和解决方案，能够有效增强主数据的安全性和可信度。在主数据管理中，区块链技术可以用于记录主数据的变更历史，每一次数据的修改、更新都会以加密的方式记录在区块链的分布式账本中，形成完整的数据追溯链条。一旦出现数据争议或安全问题，可以通过区块链账本快速追溯数据的来源和变更过程，确保数据的真实性和可靠性。同时，区块链的共识机制能够实现主数据在多个参与方之间的可信共享。在城市轨道交通跨部门、跨企业的数据共享场景中，如与周边商业企业共享客流量数据、与其他城市轨道交通企业共享运营管理经验数据等，通过区块链技术可以在无需第三方信任机构的情况下，保证数据的安全性和不可篡改性，实现数据的安全、可信共享。此外，区块链技术还可以用于主数据的身份认证和权限管理，确保只有授权的用户才能访问和修改主数据，进一步提升主数据的安全性。

## 5 主数据管理平台建设的政策与行业趋势支持

### 5.1 政策支持

近年来，国家和地方政府高度重视城市轨道交通行业的信息化和智能化发展，出台了一系列政策文件，为主数据管理平台建设营造了良好的政策环境。《交通强国建设纲要》明确提出要加强交通基础设施数字化、网联化建设，推动新一代信息技术与交通运输深度融合，提升交通运输服务智慧化水平。《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》也强调要推进交通运输新型基础设施建设，加强数据资源的整合和共享，提高行业数据治理能力。此外，各地政府也纷纷出台相关政策，鼓励城市轨道交通企业加大信息化建设投入，推动数据管理和应用创新。这些政策的出台，不仅为城市轨道交通主数据管理平台建设提供了政策依据和方向指引，也为企业争取财政支持、税收优惠等创造了有利条件，有力地推动了主数据管理平台建设的进程。

### 5.2 行业趋势

随着城市轨道交通行业的快速发展，互联互通和跨区

域协同运营的需求日益迫切，跨城市、跨线路的数据共享成为必然趋势。主数据管理平台作为实现数据标准化和共享的核心工具，能够有效解决不同城市、不同线路之间数据标准不一致、数据共享困难等问题，符合行业发展的必然趋势。例如，在城市群轨道交通一体化发展进程中，通过建立统一的主数据管理平台，可以实现不同城市轨道交通系统在票务规则、乘客信息、设备编码等主数据方面的统一和共享，促进城市群轨道交通的互联互通和协同运营。此外，当前行业内越来越多的企业开始意识到数据资产的重要价值，将数据管理作为企业核心竞争力的重要组成部分。主数据管理平台建设作为数据管理的关键环节，逐渐成为城市轨道交通企业信息化建设的重点方向。众多企业纷纷加大在主数据管理平台建设方面的投入，通过引进先进的技术和管理理念，不断完善主数据管理体系，提升数据管理水平和数据应用能力。

## 6 结论

在城市轨道交通信息化规划建设的进程中，主数据管理平台的建设是应对当前数据管理困境、满足行业发展需求的必然选择。数据孤岛、标准不统一、数据质量差等问题严重制约着城市轨道交通信息化建设的深入推进，而行业数字化转型、跨系统协同以及数据治理等需求则迫切需要主数据管理平台来提供有效的解决方案。未来，随着技术的不断进步和行业需求的持续演变，还需进一步探索主数据管理平台与其他业务系统的深度融合，不断优化平台功能和管理流程，充分挖掘主数据的潜在价值，为城市轨道交通行业的智能化、可持续发展注入源源不断的动力。

### 参考文献

- [1] 孟沙. 浅谈城市轨道交通信息化规划建设中的主数据管理平台建设 [J]. 中国管理信息化, 2020, 23 (21): 169-170.
- [2] 黄苏苏, 李刚, 李克, 等. 面向城际铁路直通运行的区域轨道交通电子地图数据管理方案 [J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27 (1): 214-218.
- [3] 张楠, 朱松青. 城市轨道交通综合信息管理系统的建设方案 [J]. 城市轨道交通研究, 2004 (5): 45-48.

# Research on anomaly behavior recognition and security control technology of industrial sensitive data driven by artificial intelligence

Huiming Wu Huasong Jin

Fujian Zhongxin Network Security Information Technology Co., Ltd., Fuzhou, Fujian, 350011, China

## Abstract

With the rapid development of the industrial internet, industrial data is experiencing explosive growth. Industrial sensitive data, a core asset for enterprises, includes critical information such as product design blueprints, production process parameters, and customer information, which are essential for the survival and development of enterprises. However, the increasing complexity of the industrial environment and the evolving methods of cyber attacks pose unprecedented security challenges to industrial sensitive data. Artificial intelligence (AI) technology, with its robust capabilities in data analysis, pattern recognition, and intelligent decision-making, offers new solutions for protecting industrial sensitive data. By learning from large volumes of behavioral data within industrial systems, AI can establish normal behavior models, accurately identify abnormal behaviors, and provide real-time protection for sensitive data. Therefore, it is crucial to conduct in-depth research on AI-driven technologies for identifying abnormal behaviors and managing security risks associated with industrial sensitive data.

## Keywords

artificial intelligence; industrial sensitive data; abnormal behavior identification; security management technology

# 人工智能驱动的工业敏感数据异常行为识别与安全管控技术研究

吴慧明 金华松

福建中信网安信息科技有限公司, 中国·福建 福州 350011

## 摘要

随着工业互联网的快速发展,工业数据呈爆发式增长。其中,工业敏感数据作为企业的核心资产,涵盖产品设计蓝图、生产工艺参数、客户信息等关键内容,对企业的生存与发展至关重要。然而,工业环境的日益复杂和网络攻击手段的不断演进,使工业敏感数据面临前所未有的安全挑战,人工智能技术,以其强大的数据分析、模式识别和智能决策能力,为工业敏感数据的安全防护提供了新的途径。通过对工业系统中大量行为数据的学习,人工智能能够建立正常行为模型,精准识别异常行为,实现对敏感数据的实时保护。因此,深入研究人工智能驱动的工业敏感数据异常行为识别与安全管控技术具有重要的现实意义。

## 关键词

人工智能; 工业敏感数据; 异常行为识别; 安全管控技术

## 1 引言

随着工业互联网的迅猛发展,工业系统与外部网络间的互联程度越来越高,受到的攻击范围也越来越广,行业内的敏感数据受到了空前的威胁。传统的防火墙和 IDS 等安全防御手段在面对新型复杂的网络攻击时越来越显示出其局限性。随着人工智能的快速发展,对工业领域内敏感信息的保护提出了新的要求。人工智能在大数据处理与模式识别方面具有极强的优势,可从大量工业大数据中自动学习常态行为,并精确辨识异常行为,对提高整个工业系统的安全稳定运行具有重要意义。

## 2 工业敏感数据概述

### 2.1 工业敏感数据定义与范畴

在工业生产运营过程中会产生并使用大量的工业敏感数据,这些数据如果被泄露、篡改或被滥用,将会给企业、行业甚至国家带来巨大的不利影响,其包含了一些重要的信息,如设计图、技术专利等、生产工艺数据(工艺配方、设备参数)、供应链数据(供应商信息、物流订单)、客户数据(交易记录、需求偏好)、经营管理数据(财务报表、战略规划)等。

### 2.2 工业敏感数据安全现状与挑战

当前,工业敏感数据面临着诸多安全威胁,主要体现

在以下几个方面:

**网络攻击手段多样化:** 工控系统安全漏洞、网络协议漏洞等是黑客的主要攻击手段,比如高级持续威胁(APT),具有隐蔽性强、持续性强、不易被及时检测与预防的特点,难以被及时发现和防范,可窃取大量敏感数据。例如,震网病毒可以瞄准工控系统,通过USB传播,从而摧毁了一些重要的工业设施,并盗取关键的生产数据。

**内部人员违规操作:** 一些员工由于缺乏安全意识和利润的驱动,会无意或有意地泄露机密数据。例如,员工将包含机密数据的档案透过外部电邮传送给他人,或是在网路上使用非安全性的工作数据。

**数据共享与第三方风险:** 当工业企业与其他企业进行数据共享时,如果不能对其进行有效的安全管理,那么在传递和保存过程中,数据很容易被泄露。比如,一些企业会把重要的生产数据外包给没有足够的安全保护的数据分析企业来处理,若该企业安全防护不足,数据可能面临风险。

**新兴技术应用带来新风险:** 随着5G、云计算、边缘计算等新兴技术的广泛使用,工业数据的传输与存储环境变得更加复杂,传统的工业数据处理方法难以满足日益增长的需求。例如,5G的高速、广连接性等特点,会引发更多的黑客攻击,云计算中的多租户环境又会带来数据隔离等问题<sup>[1]</sup>。

## 3 人工智能驱动异常行为识别技术

### 3.1 用户行为建模与异常检测

#### 3.1.1 正常行为模型构建

采用机器学习的分簇方法与深度学习神经网络相结合的方法,从企业员工、合作伙伴等多个角度,对工业生产过程中用户(员工、合作伙伴等)的操作行为数据进行学习。其中包含了多个方面的数据,如登录时间、系统模块、操作频率、下载数据等。比如,利用K-Means聚类算法,将员

**【基金项目】** 福州市科技创新创业人才培养计划项目-工业领域敏感数据资产安全管控关键技术研究及应用(项目编号:2023-R-006);福州市科技计划项目-对外合作项目“基于零信任的数据安全管控系统关键技术研发及应用”(项目编号:2024-Y-013);福州市科技计划项目-高校科研机构联合创新创新项目“AI驱动的APT攻击检测与防御关键技术应用研究”(项目编号:2024-SG-005);福建省科技计划项目-高校产学研合作项目“基于智能可信区块链的数据安全监测防护装置关键技术研发及产业化”(项目编号“2024H6008”);福州市科技计划项目-科技重大项目“基于数字孪生的网络空间测绘与数据动态潮流关键技术研发及产业化”(项目编号:2023-ZD-003)。

**【作者简介】** 吴慧明(1981-),男,中国福建政和人,本科,工程师,从事数据安全、网络安全研究。

工对产品信息的存取行为进行聚类,把行为模式相近的员工分组,并针对不同群体建立常态行为模型。另一种方法是利用LSTM神经网络对用户行为序列进行模型化,并从中学出常规作业流的时序特性。

#### 3.1.2 异常行为识别

针对新用户行为数据,会计算出与一般模式之间的偏差。如果偏差超出了设置的阈值,就被确定为异常行为。比如,当员工在非工作日频繁地下载大量的敏感生产数据,并且这些数据与所在的群组的常规行为有明显的不同时,就会得到警告。可以通过欧氏距离和马氏距离等测量手段,研究基于深度网络的数据融合算法,并利用训练样本的可信度来判定系统的异常行为。

#### 3.1.3 模型动态更新

为了确保模型的精度与效率,在实际生产过程中,经常需要利用新的行为数据对其进行更新。比如,每月将过去一个月内的用户行为数据加入到训练集中,然后对这个模型进行再培训,使其能够新的工作方式、业务流程的变动以及员工的变动等方面得到更好的应用。

## 3.2 网络流量分析与异常识别

### 3.2.1 流量特征提取

运用深度学习技术对工业网络流量数据进行分析。首先,对网络数据包进行分析,包括源IP地址、目的IP地址、端口号、协议类型、数据包大小、流量速率等。比如,利用卷积神经网络来处理网络流量数据,可以从网络数据中自动提取出这些特性的高级表示,并捕捉其中的复杂模式。

### 3.2.2 异常流量模式识别

通过训练深度学习模型,学习正常网络流量的模式。在新的流量数据出现时,该模型将判定它是否与已学习的正常模式相一致。比如,利用自编码器(AE)模型,对正常流量数据进行编、解码训练,使之可以重建正常流量数据。当遇到异常流量时,自编码器的重建误差将明显增加,并能有效地识别出异常流量。此外,还可利用生成对抗网络,生成器生成正常流量数据,并将其与已产生真实正常流量、异常流量进行区别,并通过判别器对新流量数据进行判定,从而实现异常流量的识别。

### 3.2.3 实时监测与预警

建立实时网络流量监测系统,对网络业务进行持续的采集与分析。当发现异常流量时,系统会即时警报,并给出相应的流量来源、流向、流量特性等信息,使安全人员能够及时采取相应的对策。比如,可以通过与防火墙和入侵检测系统等安全设备的连接来阻断网络中的异常数据流。

## 3.3 设备行为分析与故障预测

利用传感器等设备对工业设备进行温度、压力、振动、转速等工作参数的采集。对采集到的数据进行清洗、预处理,剔除噪声、异常值,使数据格式统一。比如,利用移动平均滤波算法消除数据中的噪声波动,并利用归一化的方法把多个传感器采集到相同的数值区间,方便以后的分析。

同时,采用机器学习、深度学习等方法,对采集到的

设备运行数据进行模型化,以获取其在正常工作条件下的行为规律。比如,采用高斯混叠模型(GMM)对装备的振动数据进行建模,将其按正态分布分解成多个高斯分布格式,每一种正态分布表示一种常态工况。利用深度置信网络(DBN)对多源传感数据进行联合建模,获取多种工作状态下的综合运行特性。

最后,基于所建立的设备正常行为模型,对设备的运行状态进行实时监控,并对其进行异常行为识别。如果该设备行为与正常模式不一致,则被确定为异常。同时,通过对设备运行过程中出现的异常现象进行分析,并对其发展趋势进行预测,从而对可能出现的故障进行预警。比如,采用ARIMA模型等时间序列分析方法,对设备操作参数的时序进行预测,如果预测值与实测值之间存在较大的偏离,且持续超过一定时间,就表示有可能出现设备失效问题。

## 4 人工智能驱动的安全管控技术

### 4.1 智能访问控制

#### 4.1.1 动态权限管理

基于人工智能技术的访问控制系统,能够依据用户实时行为特征、身份信息、设备运行状态以及网络环境条件等多维度因素,动态调控用户对工业敏感数据的访问权限。例如,当系统侦测到使用者通过陌生设备登入,企图存取高度敏感的数据,便会利用机器学习模式进行风险评估。如果评估结果是危险程度较高,那么系统就会对使用者进行限制,例如只允许使用者浏览部分数据,而不能进行下载、修改等。另外,系统也会与使用者的历史行为数据相结合,如果发现使用者平常并不经常存取这类敏感数据,则此异常存取行为将会启动附加的认证过程,如短信验证码验证、指纹识别验证等<sup>[2]</sup>。

#### 4.1.2 风险评估与决策

采用深度学习方法,融合用户行为数据、设备安全状态数据和外部威胁情报数据,建立风险评估模型。该模型可以对用户的接入请求进行动态评价,从而为接入控制策略的制定提供参考。比如,把用户的登录位置、登录时间、登录次数和数据操作类型等信息作为输入变量,利用所建立的深层神经网络模型进行风险评估。如果该风险值超出一定的阈值,那么该系统就会拒绝该接入申请,并且会将有关的信息记录下来供后续的审核。此外,利用已有的风险事件数据,持续地对风险评估策略进行优化,以提升评估的精度与可信度。

### 4.2 数据加密与脱敏

#### 4.2.1 智能加密策略制定

人工智能可以根据数据的敏感程度、应用场景和访问频率等因素,自动选择合适的密码算法和密钥管理机制。比如,对于敏感而又不常用的产品数据,选择AES-256这样的高安全性密码算法,并设计严格的密钥管理机制,比如定期更换密钥、使用多因素认证等。针对一般敏感和高存取率的数据,利用ChaCha20等轻量级但效率较高的加密算法,实现密码安全和系统性能的均衡。同时,利用机器学习算法,分析加密过程中的历史数据和应用情况进行动态调整,以适

应新的安全威胁和业务需求。

#### 4.2.2 数据脱敏处理

利用自然语言处理和机器学习等方法,在数据分享和测试中实现对敏感数据的自动识别和脱敏处理。比如,对于包含客户姓名、身份证号码、银行卡号等敏感信息的文本数据,首先利用自然语言处理模型对敏感域进行定位,然后通过泛化、替代和加密等手段对其进行脱敏。具体来说,就是用匿名编号代替客户的姓名,并在身份证号码中用星号代替部分数字。对于结构化数据,例如数据库中的客户信息表,根据数据字典和预设的脱敏规则,针对敏感字段进行适当的脱敏操作。同时,对脱敏后的数据进行质量评价,保证在满足用户隐私的前提下,仍能满足商业应用的需要。

### 4.3 安全策略优化

#### 4.3.1 基于数据分析的策略调整

对工业系统中各种安全数据进行采集和分析,包括安全事件日志、网络流量、用户行为、设备工作状态等,利用机器学习和数据挖掘等方法,从海量的数据中挖掘出安全隐患和漏洞。例如,在对大量安全事件进行分析后,发现一种网络攻击往往会对某一特定的系统漏洞进行攻击,而现有的防御措施尚不完善。在分析结果的基础上,对安全策略进行实时的优化,并加强对这一漏洞的修补和保护。

#### 4.3.2 智能策略推荐与生成

结合行业属性、业务需求、安全现状和威胁态势等因素,为企业推荐个性化的安全策略推荐方案。以汽车制造业为例,针对其生产过程中存在的多个工控系统和多个供应链之间的数据交互问题,应加强工控系统安全性保护、构建供应链数据安全共享机制等研究思路。同时,还可以通过深度学习等方法,在复杂的安保环境下,自主地产生新的安全策略。例如,针对新型网络攻击手段,研究其攻击特点和已有的保护机制,并生成针对性的保护策略,例如针对特定的数据流过滤和用户的行为控制等<sup>[3]</sup>。

## 5 结语

综上所述,通过多源异构数据挖掘以及机器学习、深度学习等人工智能算法的运用,对网络中的异常行为进行精确识别,能够有效提高对网络环境中的安全威胁的早期预警能力。在安全管控层次上,将传统的安全技术与人工智能的动态调整相结合,形成一种智能化、自适应的管控机制,使其能够有效提升企业的抗安全风险能力,有效减少数据泄露的可能。未来,还需要对其进行深入的研究,以扩展其在工业敏感数据安全保护方面的应用范围,从而保障工业行业的安全和稳健发展。

### 参考文献

- [1] 张少杰.面向工业自动化的时间敏感网络动态调度算法研究[D].北京交通大学,2024.
- [2] 杨茜娅.基于工业互联网标识的工业数据共享机制研究[D].北京邮电大学,2024.
- [3] 王志通.面向时间敏感网络工控系统的两安一体化调度方法研究[D].华中科技大学,2024.