



04  
2026

Information Science and Engineering Research

# 信息科学与工程研究

Volume 7 Issue 4 April 2026 ISSN 2737-4815(Print) 2737-4823(Online)



Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.  
Tel.: +65 65881289  
E-mail: [contact@nassg.org](mailto:contact@nassg.org)  
Add.: 12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819



中文刊名：信息科学与工程研究

ISSN: 2737-4815 (纸质) 2737-4823 (网络)

出版语言：华文

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

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Information Science and Engineering Research

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

Language: Chinese

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

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

## 《信息科学与工程研究》征稿函

### 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

方 磊 Lei Fang

马金梭 Jinsuo Ma

- 1 通信工程建设的安全生产管理机制分析  
/ 徐磊
- 4 高速移动场景下 5G 网络切换性能与覆盖优化  
/ 邓汉字 黄静南
- 7 工业互联网技术在智能制造中的应用及发展趋势探析  
/ 曹帅 葛盈盈 李磊
- 10 短波信道多站抗衰落理论研究  
/ 董雪 刘毅敏 秦炳坤 金珠 顾晓婷
- 14 高校网络数据安全治理体系构建与实践研究  
/ 祁洋
- 17 路内停车车牌识别技术的研究及应用  
/ 李妮 杨峰斌 路广通 赵鹏亮 陈亚素
- 20 基于自动化平台的中波发射台运行安全保障技术  
/ 苏克巴特
- 23 面向无人机自主导航的三维环境感知与实时可视化方法  
/ 王燧 杨博文 钟敏 贾桃宇 王旋
- 26 基于数智化的网络运维新体系研究与实践  
/ 魏利朋 项朝君 段俊娜 马淼娜 崔静
- 29 大数据技术在医院诊疗数据管理中的应用  
/ 杨洋
- 32 新型通信技术在极端条件灭火指挥决策中的应用  
/ 严荣辉
- 35 红外通信在嵌入式技术应用开发赛项中的工作方式分析  
/ 刘振鹏
- 38 物联网睡眠辅助系统的算法设计与实际应用效果研究  
/ 梁国健 林君
- 41 卫星通信在偏远地区数字鸿沟弥合中的作用研究  
/ 常攀龙 杨元停 褚姝媪
- 44 论深度伪造技术对记忆的潜在负面影响及伦理挑战  
/ 梁郁涵
- 47 基于 AI 的 5G 基站故障预测与诊断研究  
/ 张丽杰 余怡锦 晏志强 龚金忠 傅芳
- 50 基于机器视觉与深度学习的自聚焦透镜端面缺陷智能检测系统研究  
/ 吴倩 方伊琪 杨军 张洋

- 1 Analysis of Safety Management Mechanism in Communication Engineering Construction  
/ Lei Xu
- 4 5G Network Handover Performance and Coverage Optimization in High-Speed Mobile Scenarios  
/ Hanyu Deng Jingnan Huang
- 7 Application and Development Trend Analysis of Industrial Internet Technology in Intelligent Manufacturing  
/ Shuai Cao Yingying Ge Lei Li
- 10 Theoretical Study on Multi-Station Anti-Fading for Short-wave Channels  
/ Xue Dong Yimin Liu Bingkun Qin Zhu Jin Xiaoting Gu
- 14 Research on the Construction and Practice of Network Data Security Governance System in Universities  
/ Yang Qi
- 17 Research and Application of On-Street Parking License Plate Recognition Technology  
/ Ni Li Fengbin Yang Guangtong Lu Pengliang Zhao Yasu Chen
- 20 Operational Safety Assurance Technology for Medium-Wave Transmitter Stations Based on an Automation Platform  
/ Sukebate
- 23 Methods for 3D Environment Perception and Real-time Visualization for Autonomous Navigation of Unmanned Aerial Vehicles  
/ Yi Wang Bowen Yang Min Zhong Guanyu Jia Xuan Wang
- 26 Research and Practice of a New Network Operation and Maintenance System Based on Digital and Intelligent Technology  
/ Lipeng Wei Chaojun Xiang Junna Duan Miaona Ma Jing Cui
- 29 Application of Big Data Technology in Hospital Diagnosis and Treatment Data Management  
/ Yang Yang
- 32 Application of New Communication Technology in Fire Fighting Command Decision-making under Extreme Conditions  
/ Ronghui Yan
- 35 Analysis of Working Mode of Infrared Communication in Event of Embedded Technology and Application Development  
/ Zhenpeng Liu
- 38 Algorithm Design and Practical Application Effect Research of Internet of Things Sleep Assistance System  
/ Guojian Liang Jun Lin
- 41 Research on the Role of Satellite Communication in Bridging the Digital Divide in Remote Areas  
/ Panlong Chang Yuanting Yang Shuoyun Chu
- 44 On the Potential Negative Impact and Ethical Challenges of Deepfake Technology on Memory  
/ Yuhuan Liang
- 47 Research on Fault Prediction and Diagnosis of 5G Base Station Based on AI  
/ Lijie Zhang Yijin She Zhiqiang Yan Jinzhong Gong Fang Fu
- 50 Research on an Intelligent Inspection System for Self-Focusing Lens End Face Defects Based on Machine Vision and Deep Learning  
/ Qian Wu Yiqi Fang Jun Yang Yang Zhang



# Analysis of Safety Management Mechanism in Communication Engineering Construction

Lei Xu

China United Network Communications Co., Ltd. Jiangxi Branch, Nanchang, Jiangxi, 330000, China

## Abstract

With the continuous expansion of China's telecommunications infrastructure development, the field of telecommunications engineering construction faces complex and ever-changing risk factors and regulatory environments in production safety management. Under these circumstances, establishing a scientific and effective production safety management mechanism has become a critical focus for the industry. This paper, starting from the operational characteristics of telecommunications engineering projects, first clarifies the necessity of production safety management in telecommunications construction. Building upon China's current regulatory framework, it systematically proposes five key measures for establishing a production safety management mechanism in telecommunications engineering. The article aims to provide a structured and scientific approach to production safety management systems by integrating the industry-specific features of China's telecommunications construction sector with policy and regulatory requirements.

## Keywords

communication engineering; construction; safety management; importance; mechanism; construction

## 通信工程建设的安全生产管理机制分析

徐磊

中国联合网络通信有限公司江西省分公司, 中国·江西南昌 330000

## 摘要

随着我国通信建设规模不断扩大, 通信工程建设领域的安全生产管理面临着复杂多变的风险因素与监管环境, 在这种情形下如何构建起科学有效的安全生产管理机制已然成为了行业关注的一项重要课题。本文从通信建设工程的实际运行特点出发, 首先阐明通信工程建设安全生产管理的必要性, 继而在我国现行制度基础上, 系统提出了通信工程建设安全生产管理机制的五项关键举措。文章旨在结合我国通信建设行业特点与政策法规要求, 为安全生产管理体系提供结构化、科学化的思路。

## 关键词

通信工程; 建设; 安全生产管理; 重要性; 机制; 构建

## 1 引言

随着我国综合国力的增强, 我国通信工程的建设也越来越多, 要想保障通信工程建设的质量, 就要建立科学有效的安全生产管理机制。安全生产就是指施工的过程中不存在任何危险, 不会发生安全事故, 没有造成人员以及财产的损失, 只有进行了安全生产, 通信工程建设才可以顺利进行。因此, 对于通信工程建设的安全管理机制的探讨是很有必要的。有鉴于此, 下文将基于研究与实践围绕于通信工程建设的安全管理机制展开探讨, 以供参考。

## 2 通信工程建设的安全生产管理重要性

在我国通信工程建设过程中, 施工环节数量庞大、作业环境复杂、工期节点紧凑、参与单位众多, 这些特征导致安全生产风险不断积累与转换。首先, 通信建设中包括塔桅安装、机房设备布设、高处作业、有限空间及电缆敷设等高危施工环节, 若忽视安全防护、控制措施不落实, 易引发坠落、触电、机械伤害、施工结构倒塌等事故<sup>[1]</sup>。其次, 作为国家重要基础设施建设范畴, 通信工程一旦发生生产安全事故, 不仅造成人员伤亡, 更会影响通信网络的稳定运行与社会服务能力, 因而对安全生产管理提出更高要求。再者, 随着我国印发新版《通信建设工程安全生产管理规定》, 明确了“管行业必须管安全、管业务必须管安全、管生产经营必须管安全”的制度框架, 强化了单位主体责任与政府监管职责。再加之通信建设工程点多、面广、协调难度高的特点, 使得

【作者简介】徐磊(1981-), 男, 中国江西景德镇人, 本科, 从事通信工程安全生产研究。

安全隐患排查、风险分级管控、应急救援预案执行等管理内容必须系统化、流程化。若未从源头建立防范机制,则安全风险可能蔓延至施工全周期,增加项目成本、延误工期、影响企业信誉。基于此,通信工程建设的安全生产管理不仅是保障现场人员安全的需要,更是维护通信行业持续健康发展的关键保障。

### 3 通信工程建设的安全生产管理机制构建

#### 3.1 明确责任链条与职责划分

在通信工程建设安全生产管理机制中,责任链条与职责划分应制度化、层级化地构建。建设单位需在项目前期设立专职安全管理机构,明确岗位权限和责任分工,并在合同中规定安全生产责任人及考核指标,严格按照通信建设工程安全生产管理规定单列安全生产费用,确保开工一个月内向承包单位支付不少于50%的安全生产经费。建设单位还应应对总承包、分包及监理单位的安全管理体系、人员资质和制度执行情况进行审核,并形成可追溯的责任档案。总承包单位应组织编制施工安全方案,建立多级安全交底制度,签订安全责任协议,核验分包单位关键岗位人员持证情况,定期开展安全绩效评估与隐患排查,形成覆盖施工全过程的安全管理责任链。其项目负责人应全面统筹安全生产工作,强化分包管理,建立动态考核与奖惩机制,确保安全措施与施工进度同步落实。监理单位应设置专职安全监理岗位,依据施工计划实施分级旁站监督,对危险性较大分部分项工程进行全过程监管,严格审查施工单位安全专项方案、风险评估报告与培训档案。监理工程师应建立安全巡查台账,对发现的问题及时下发整改通知并跟踪落实<sup>[2]</sup>。分包单位应依照安全责任协议设立安全管理组织,配置专职安全人员,实施岗位安全教育与班前安全交底,落实安全防护用品配备与危险作业审批制度,确保作业人员持证上岗并建立隐患排查整改记录。各方应形成信息互通的安全管理闭环,明确“谁施工谁负责、谁管理谁负责、谁监理谁负责”的责任体系,通过合同约定、费用落实、制度执行与现场监督四个维度,实现通信工程建设安全生产管理的责任分层与职责固化,构建覆盖设计、施工、监理、分包全流程的刚性责任体系。

#### 3.2 构建风险分级管控与隐患排查双重预防机制

在通信工程建设安全生产管理体系中,构建“风险分级管控与隐患排查治理双重预防机制”应以工程实际为导向,形成制度化、闭环化的运行模式。首先,在风险清单编制阶段,针对通信建设工程高风险作业(如高处、动火、有限空间、塔桅安装)组织施工、监理、安全管理等多方联合识别危险源,明确触发条件和可能后果,建立分级标准体系。依据风险严重程度设定I级(极高风险)、II级(较高风险)、III级(一般风险)、IV级(可接受风险)等级,对应制定控制措施与责任分工,并将风险清单纳入施工方案、安全技术交底及岗位作业指导书,使风险管控贯穿项目全周期。其

次,在隐患排查治理方面,各项目须制定年度或阶段性排查计划,明确排查频次、岗位职责、检查内容和整改程序。高风险作业区域应每月组织一次专项排查,由安全员或专业管理人员实施,内容涵盖人员持证、作业审批、防护措施、设备完好、现场环境及管理制度落实等。对重大隐患实行“立查立改、闭环销号”,整改完成后由项目安全管理机构复核签字,并纳入安全台账<sup>[3]</sup>。隐患整改及复查结果应与绩效考核挂钩,以强化执行刚性。再次,在风险与隐患结果应用环节,要求将分级管控成果和排查治理信息同步嵌入项目安全管理体系。在施工方案审查阶段,对I级、II级风险作业编制专项安全技术措施和应急处置预案;在安全技术交底中明确风险等级、防控要点和应急响应程序,作业人员签字确认;在日常检查中按风险等级执行旁站监控与动态更新,对整改后的作业面重新评估风险等级并调整防控策略。

#### 3.3 完善安全生产规章制度与培训体系

在通信建设工程安全生产管理机制的构建中,完善安全生产规章制度与培训体系需形成制度、培训、监督相结合的系统化框架。首先,通信工程施工单位应建立科学完备的安全生产规章体系,涵盖安全生产责任制度、专项作业审批制度、安全防护用品使用制度、施工人员持证上岗制度及应急救援预案制度。安全责任制度应细化至法人代表、项目负责人、分包单位及作业班组,落实责任签订与考核机制;专项作业审批应严格执行高处、动火、临时用电、有限空间作业审批流程,确保方案编制、风险辨识、现场验收全流程闭环;防护用品制度应规定防护用品类别、佩戴标准、定期更换与登记制度;持证上岗制度要求施工人员资格证书与岗位匹配,建立电子档案定期核验;应急救援预案制度则应明确事故响应、救援队伍、物资储备及演练频次。所有的制度要列入质量安全管理手册并进行周期性评审修订;建立与岗位特点和技术更新相适应的通信工程建设安全培训体系,即施工企业须制订年度培训计划,每年至少组织一次全员安全教育,同时针对塔杆安装、设备吊装、高空架设等关键岗位还要进行专项技能培训,涉及新设备安全操作、风险防控和应急处置等内容,经考核合格后方可上岗,考试不合格的要进行补训<sup>[4]</sup>。另外,建设单位和监理单位要同步组织对通信工程施工负责人、专职安全管理人员进行针对性地安全知识、管理能力考核,做到从领导层到作业层全覆盖。最后还应采取制度与培训联动监督机制,即通信工程开工前召开制度宣贯会,明确执行安全生产管理路径以及人员职责分配,同时施工过程中采取定期抽查执行情况以及培训情况,每季度复核一下项目安全生产执行情况,并针对存在问题或培训不合格的予以限时整改或暂停作业。

#### 3.4 强化安全生产费用保障与投入机制

通信工程建设安全生产管理机制建设过程中,加强安全生产费用保障及投入是另一项关键环节,具体为:结合目前有关通信建设工程安全生产管理的规定,建设单位必须

单独在工程预算里安排安全生产费,严格按照规定比例列支,接着开工之前要根据合同确定安全生产费用的支付比例、支付方式及时间支付安全生产费用。与此同时,还须编制安全生产费用投入清单,其中包括:防护设施配备、安全教育培训、应急演练、隐患治理、防护用品购置等,且须明确各项支出额度、责任人及使用节点。施工单位则应构建内部安全费用管理制度,制定费用提取比率、审批手续、职责分工、台账管理等规定,将一切支出做到专款专用且纳入安全检查之中。此外,施工单位费用提取还须和通信工程建设安全生产管理相挂钩,以确保施工阶段的各种安全措施得到充分落实。监理单位要负责对安全费用的使用情况进行全程监督并对专款的使用进行审核及记录,同时每月要召开一次专门的稽核会议,组织建设、监理、施工单位共同确认当月度费用的执行情况及安全措施是否达到标准要求,若发现有挪用、占用及失误现象发生,建设单位应当立刻停止拨款并进行整顿<sup>[5]</sup>。施工单位待通信工程建设完成后编制安全费用决算报表并提交,其中包括各项费用明细、支出与结余情况,同时根据规定将剩余资金退还建设单位且接受审计监督。另外,根据通信工程行业中安全生产费用提取和使用管理相关办法,明确施工单位不得将安全费用用于非安全类开支,一旦发现违规支出须追责整改。

### 3.5 推进监管机制与动态闭环治理体系

通信工程建设安全生产管理机制的完善需构建系统化监管机制与动态闭环治理体系。行业主管部门及地方通信管理局应实施年度与专项结合的监督机制,明确巡查周期、执法流程与责任主体,要求建设与施工单位定期提交安全责任落实、隐患治理及制度执行资料。监督方式应采用“双随机、一公开”抽查制度,对重点项目实施现场执法检查,形成书面通报并限期整改,将整改结果纳入年度安全考核档案。施工单位需建立隐患整改“销号”制度,将隐患排查、责任分配、整改时限录入安全台账,整改后经监理复查确认后方可“销号”,并将结果纳入绩效档案作为奖惩依据。动态闭环治理方面,施工现场应执行“旁站监督—督查反馈—应急演练”

一体化管控模式,监理或第三方安全监察人员在高危作业环节进行旁站监督,一旦出现隐患须立即报告;建设单位安全管理部门每月组织复查与汇总分析,对整改执行情况、旁站记录及绩效台账开展对比评估,形成书面整改意见并反馈施工单位执行。应急管理环节应通过定期事故处置演练验证预案可行性,将演练中发现的问题纳入“经验教训库”,由行业协会及社会监督组织共同参与管理,实现隐患治理经验共享与推广。为确保体系运行的持续有效,建设单位应建立制度执行追踪机制,按季度向主管部门报送自查报告、整改销号台账及安全绩效记录。监管部门依据数据分析结果实施动态抽查与联合约谈,对存在制度执行偏差、隐患反复的项目采取行政处罚或信用约束。通过监管、整改、反馈、评估及再监督环节的闭环运行,实现安全责任链条的可追溯化与全过程动态管控,形成权责明晰、运行高效的通信工程建设安全生产治理体系。

## 4 结语

综上所述,鉴于通信工程建设环境以及要求都比较特殊容易出现复杂和严重的安全问题的情况,上文通过查阅相关文献以及结合实践情况下针对其安全生产管理机制构建由责任划分、风险防控、制度培训、资金投入以及监管闭环五个方面探讨出系统化路径,从而切实保障通信工程建设安全。

### 参考文献

- [1] 许英达.通信工程建设的安全生产管理机制构建路径[J].卫星电视与宽带多媒体, 2023(8):196-198.
- [2] 刘军滇.通信工程建设的安全生产管理机制的探讨[J].中国新通信, 2018, 020(002):215.
- [3] 李思红.通信工程施工中的创新性安全管理方法[J].移动信息, 2023, 45(4):232-234.
- [4] 刘李军.安全生产监督管理中的风险评估与控制研究[J].葡萄酒, 2024(13):0155-0157.
- [5] 程宏伟,姚正端,谭义潮,等.浅谈新形势下通信基站建设中的安全生产管理[J].电信工程技术与标准化, 2023, 36(S01):294-297.

# 5G Network Handover Performance and Coverage Optimization in High-Speed Mobile Scenarios

Hanyu Deng<sup>1</sup> Jingnan Huang<sup>2</sup>

1. Guangxi Communication Planning and Design Consulting Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530100, China  
2. Zhejiang Zhongtong Wenbo Service Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530100, China

## Abstract

5G networks play a critical role in high-speed communication for scenarios like high-speed railways and autonomous vehicles. However, rapid cell handovers and drastic channel variations frequently cause handover failures and link disruptions. This study investigates the root causes of degraded handover performance through three dimensions: wireless propagation characteristics, mobility management mechanisms, and network resource allocation. It proposes technical solutions including coverage enhancement, adaptive handover parameter adjustment, collaborative network architecture, and multi-layer heterogeneous network optimization. Research demonstrates that establishing continuous coverage zones, improving link robustness, and implementing multi-station coordinated handover architectures can significantly reduce handover failure rates while ensuring throughput and service continuity. The findings provide theoretical support and engineering references for stable 5G operation in high-speed mobility environments, offering valuable insights for mobility management design in 5G-Advanced (5G-A) and 6G networks.

## Keywords

5G network; high-speed mobility; handover performance; coverage optimization; mobility management; cooperative communication

## 高速移动场景下 5G 网络切换性能与覆盖优化

邓汉宇<sup>1</sup> 黄静南<sup>2</sup>

1. 广西通信规划设计咨询有限公司, 中国·广西 南宁 530100  
2. 浙江中通文博服务有限公司, 中国·广西 南宁 530100

## 摘要

5G网络在高速铁路、无人驾驶等高速移动场景中承担关键通信任务,但快速小区穿越与信道剧变导致切换失败、链路中断等问题突出。本文从无线传播特性、移动性管理机制及网络资源配置三方面剖析了切换性能下降的根源,并提出覆盖增强、切换参数自适应调节、协作网络构建及多层异构网络协同优化等技术路径。研究表明,通过构建连续覆盖区、提升链路鲁棒性及多站协同切换架构,可显著降低切换失败率,保障吞吐量与服务连续性。该研究为高速移动环境下5G稳定运行提供了理论支持与工程参考,并对5G-A与6G网络的移动性管理设计具有重要启示。

## 关键词

5G网络; 高速移动; 切换性能; 覆盖优化; 移动性管理; 协作通信

## 1 引言

随着我国高速铁路、智慧交通与无人化运输系统规模迅速扩大,高速移动场景正成为5G网络部署的重要领域。高速列车速度可超过350 km/h,汽车群组网络中节点速度差异显著,无人机与物流运输则呈现更加复杂的空间动态特性。在此类环境中,无线传播环境快速变化,信道老化严重,用户驻留时间缩短,切换决策频繁,导致网络需要在极短时间内完成链路探测、测量报告与切换执行。若切换执行不及时或参数设置不合理,极易出现切换失败、Ping-pong切换

与无线链路中断,影响网络的可靠性与用户体验。

相比传统LTE系统,5G在高频段、小区更密集、移动性管理机制更复杂,使高速移动场景的挑战更加突出。高频信号衰减明显,穿透力弱,导致覆盖边界更加敏感;网络切换参数受速度、角度及邻区配置多重因素影响,难以保证自适应;多层异构网络的协同切换机制尚未完全成熟。针对高速移动场景提出切换优化与覆盖提升策略,已成为5G网络工程实践中的关键课题。

本文重点研究高速移动对切换性能与覆盖连续性的影响机制,从无线链路动态特性、切换参数优化与协作通信结构三个维度展开分析,并提出系统优化路径,为高速场景5G网络的稳定性与可靠性提供参考。

【作者简介】邓汉宇(1992-),男,壮族,中国广西南宁人,本科,中级,从事通信工程研究。

## 2 高速移动场景下 5G 网络切换性能下降的机理分析

### 2.1 快速小区穿越导致的切换频率急剧增加

在高速列车或高速公路等典型高速移动场景中，终端用户在小区中的驻留时间显著缩短，由传统网络环境中的分钟级迅速压缩至数秒甚至不足一秒。高速移动导致用户在多个小区间快速穿越，使网络必须在极短时间内连续完成测量、上报、准备与执行多个切换过程，显著增加切换负载压力。由于信道快速变化带来明显滞后效应，终端上报和基站判决之间存在时间差，使得切换触发时机往往不能准确反映真实的无线环境。在高频段微小区部署场景下，覆盖半径进一步减小，信号衰落边界更为陡峭，导致切换触发更加频繁，Ping-pong 切换与切换失败率显著升高，影响网络连续性与系统容量利用。快速穿越带来的高频切换压力已成为高速移动场景中亟须解决的核心挑战之一<sup>[1]</sup>。

### 2.2 高速移动导致无线信道快速衰落

高速移动条件下，终端与基站之间的无线信道呈现更强的时变特性。由于显著的 Doppler 频移效应，接收信号的频率偏移不断扩大，使基站的信道估计误差增加，从而降低测量精度。相干时间的缩短意味着信道状态在极短时间内发生变化，使参考信号测量变得滞后甚至失效。此外，随着速度提升，多径效应更加复杂，反射路径数量与角度变化更加频繁，导致信号质量呈现高波动性。信号强度、信噪比、参考信号质量等关键指标在短时间内剧烈变化，使网络难以依靠单一参数或静态阈值进行准确切换判决。这种快速衰落特性直接削弱了切换触发条件的稳定性，是导致切换失败与中断概率上升的重要因素。

### 2.3 网络架构与覆盖边界对切换性能的限制

5G 网络大量部署高频段与微小区，虽然提升了容量和速率，但也带来了覆盖能力弱、边界衰落剧烈的问题。当终端处于覆盖边界时，信噪比波动显著，极易触发不稳定或过早切换。传统单基站切换机制难以综合利用邻区信息，对边界区域的信道变化缺乏全局判断能力，导致切换时机偏差。此外，5G 的多层异构网络结构中宏小区与微小区的覆盖范围、频段特性与发射功率差异明显，一旦未进行有效的参数协调，用户在跨层移动时会频繁触发切换，造成附着关系不稳定。

## 3 高速移动环境下的切换瓶颈与性能影响因素

### 3.1 测量报告滞后与切换判决不匹配

高速移动环境中，终端与基站之间的测量—上报—判决—执行链路受到明显时延影响。终端在测量过程中受到多普勒频移、快速衰落和多径变化的叠加作用，使测量结果本身具有时间敏感性。当测量值上传并由基站处理时，无线环境可能已发生显著变化，导致切换基于滞后的信道信息执行，使得目标小区与源小区在切换瞬间均无法提供稳定链

路。此类滞后效应在角度变化频繁、传播环境复杂的高速铁路和高速公路场景中尤为显著。测量窗口无法捕捉信号变化的真实轨迹，使切换判决在稳定性和时效性之间失衡。缺乏补偿机制的传统切换模型难以应对高速移动造成的信道突变，导致中断率上升、切换失败率增加，成为影响网络连续性的关键瓶颈。

### 3.2 切换参数固定配置难以适应复杂场景

5G 网络中常用固定偏移量、触发门限及滞后时间来控制切换触发条件，但这种静态参数配置难以匹配高速移动用户的动态需求。当用户速度显著提升时，信号衰落区间缩短，固定门限可能导致切换执行过晚，使链路在切换完成前已降至不可用状态<sup>[2]</sup>。反之，若设置的门限过低，则会引发频繁切换或 Ping-pong 现象，导致信令负荷增加，也会引起系统资源浪费及用户体验恶化。此外，高频段与低频段信道差异显著，不同小区类型之间的最优切换点并不一致，而静态配置无法针对多场景进行实时调整。随着网络架构复杂度提升，跨层、跨频、小区形态差异显著加剧了切换参数固化带来的不匹配问题，使得提升自适应能力成为高速移动场景优化的核心需求。

### 3.3 多层异构网络协同不足

在宏小区和微小区共存的 5G 异构网络环境中，高速用户在不同层级小区之间穿越频繁，如果缺乏有效的跨层协调机制，切换路径往往会呈现无序性。宏小区覆盖范围广，主要承担基础控制面连接；微小区覆盖较小、密度高，负责容量补充。然而高速移动用户在微小区中的驻留时间极短，易导致频繁跨层切换，进而引起连接不稳定、服务连续性受损。如果不同小区之间缺乏负载状态、信道特性与用户位置的共享机制，就难以形成统一的切换决策依据，增加切换失败概率。此外，多站点协同不足会导致网络无法提前感知用户轨迹，使得切换更多依赖局部瞬时信号判断，缺乏前瞻性规划。异构网络未能形成有效协同机制，是高速场景中切换不连贯的重要诱因，也暴露出当前移动性管理在体系化和智能化方面的不足。

## 4 高速移动场景下 5G 网络切换优化技术

### 4.1 切换参数自适应调节机制

高速移动场景中，用户的速度变化会导致信道衰落特性、驻留时间及小区穿越频率呈现显著动态性，使传统固定阈值切换策略难以满足连续性要求。为适应高速环境，应构建能够实时感知用户运动状态的自适应调节机制。通过速度感知算法获取用户瞬时速度与加速度，并结合信道质量变化趋势，对触发门限、滞后时间与偏移量等关键参数进行动态更新，使切换决策更加贴合当前无线环境。多维数据融合技术可综合接入信号强度、信噪比、信道粗糙度及角度变化数据，从时间与空间维度捕捉信道衰落趋势，进一步提升参数调节的准确性<sup>[3]</sup>。自适应调节机制的引入不仅减少切换提前

或滞后导致的链路中断，也降低了不必要的频繁切换，提升网络整体的稳定性与服务一致性。

#### 4.2 轨迹预测与前瞻性切换控制

在高速铁路、干线公路与无人驾驶场景中，用户移动轨迹具有高度规律性，通过轨迹预测可强化网络的前瞻性切换能力。利用历史轨迹、速度模型、方向变化以及道路环境数据，可构建预测算法，实现对用户未来位置的高精度估计。网络在获得预测结果后，可提前为用户所在方向的目标小区预留资源，并完成部分切换准备流程，从而缩短切换执行时间。前瞻性切换机制能够有效避免传统模型中因决策滞后导致的信道崩溃或切换失败，尤其适用于线路固定、速度变化平滑的高速铁路场景。轨迹预测还可结合高分辨率地图、路况信息与环境传播条件，实现更可靠的切换区段规划，使切换在最优时机执行，提高连续覆盖能力。该方法显著提升网络对高速移动用户的服务连续性与链路可靠性。

#### 4.3 多站协作切换与协同覆盖增强

单基地站的局部信息往往难以支撑高速移动环境下准确的切换决策，而多站协作机制通过站间信息共享可提升网络整体的判断能力与干扰控制水平。基站间可实时交互终端测量数据、小区负载、覆盖边界质量及干扰环境信息，实现跨站联合分析与切换判决。通过在弱覆盖边界采用多点协作传输（CoMP）、双连接（DC）或多链接（MR-DC）技术，使终端可同时保持两个或多个稳定链路，在切换前后阶段实现链路并存，从而显著降低切换中断风险。协作机制不仅强化边界区域的覆盖连续性，还能降低因单站误判导致的过早或过晚切换。在高速列车场景中，基于沿线多站的协同部署可实现覆盖走廊式切换结构，使多个小区参与切换准备，提高整个过程的鲁棒性。此类协作切换体系为提升高速移动网络的可靠性提供了关键支撑。

### 5 高速移动场景中的覆盖优化策略

#### 5.1 构建连续覆盖走廊与专用覆盖结构

高速铁路与城市轨道交通的运行速度快、路线固定，对5G网络的覆盖连续性要求极高。为减少信号衰落和覆盖缝隙，应在沿线部署具有强方向性的定向天线，形成顺线路径的覆盖指向，提高覆盖稳定性。分布式多点（DAS）系统可通过在轨旁设置多节点，缩短传播距离，从而改善信号一致性。在高速铁路场景中，可依托专用铁路线覆盖网络，通过专网频段、专用站点布局与覆盖优化策略形成沿线连续覆盖走廊，使列车全程处于稳定信号区内，避免因小区频繁穿越导致的切换失败。同时，通过对隧道、山地、桥梁等关键地形的专项覆盖方案设计，可进一步提升覆盖完整度，使高速场景的网络连贯性与服务可用性得到有效保障。

#### 5.2 高频段与低频段协同覆盖设计

5G网络通常采用高频段提供大带宽能力，而低频段具有覆盖范围大、绕射能力强等优势。将二者进行协同设计，

可构建层次分明、互补性强的复合覆盖体系，以增强高速移动环境下的网络稳定性。高频段小区在车辆高速通过时容易出现快速衰落，因此低频段宏小区可作为覆盖“锚层”，提供持续稳定的控制信道，确保关键业务不中断。同时，通过跨频段协同调度，网络可根据用户速度、位置变化及实时信道质量自动选择最优频段，实现跨层切换平滑化。该策略既减少了高速穿越场景中跨层切换的频繁发生，也提高了大带宽业务的连续性，使高速移动环境中的网络吞吐量更加稳定，整体服务体验更加可靠。

#### 5.3 采用智能反射面与低空平台改善覆盖

在高速移动场景中，地形复杂、传播路径多变，使传统基站难以确保全覆盖。智能反射面（IRS）技术能够通过精确调控反射单元相位，实现对入射信号的定向重构，从而增强弱覆盖区的信号质量，特别适用于隧道入口、弯道等多径丰富区域。IRS的低功耗、高柔性特性，使其能够以较低成本显著提升覆盖连续性。与此同时，低空通信平台如无人机基站和飞艇中继可以在复杂地形、临时性场景或大面积盲区中快速部署，构建动态覆盖层。其相对高度可调、覆盖范围灵活的特点，使其能够根据高速交通工具的位置变化实时优化覆盖结构<sup>[4][5]</sup>。智能反射面与低空平台的组合应用，有望成为未来高速移动网络覆盖的重要补充手段，实现传统网络架构难以达到的空间灵活性与覆盖弹性。

### 6 结语

高速移动场景对5G网络切换性能和覆盖连续性提出更高要求。本文通过对高速移动环境下切换退化机制的系统分析，揭示了信道快速变化、切换判决滞后、多层网络协同不足等根源问题，并从切换参数自适应优化、轨迹预测、协作切换架构及覆盖增强策略等方面提出解决路径。研究表明，通过构建多站协同的切换体系、提升覆盖连续性并增强链路鲁棒性，可显著降低切换失败率，提高高速场景下5G网络的服务连续性与稳定性。未来，随着5G-A与6G技术发展，移动性管理将更加智能化、预测化与网络协同化，高速移动场景下的网络优化将进入更加精细化与自动化的阶段，为智慧交通体系的演进提供关键支撑。

#### 参考文献

- [1] 张利飞.5G超密集组网越区切换性能分析与优化[D].北京交通大学,2018.
- [2] 王欣宇.高速移动场景下基于OTFS通感一体化信号的切换技术研究[D].北京邮电大学,2024.
- [3] 董雨薇.5G-R网络切片动态切换技术研究[D].北京交通大学,2024.
- [4] 张存涛.5G C/U分离架构下高铁移动网络切换性能增强方法[D].北京交通大学,2023.
- [5] 董春利,王莉.5G异构网络切换机制和自优化网络切换算法研究[J].信息技术与信息化,2023,(11):141-144.

# Application and Development Trend Analysis of Industrial Internet Technology in Intelligent Manufacturing

Shuai Cao Yingying Ge Lei Li

Changzhou Mechanical and Electrical Vocational and Technical College, Changzhou, Jiangsu, 213164, China

## Abstract

With the deep integration of next-generation information and communication technologies into manufacturing systems, the Industrial Internet has emerged as a critical infrastructure for intelligent manufacturing transformation. Grounded in the macro context of global manufacturing digitalization, this study systematically elucidates the core mechanisms of the Industrial Internet across data acquisition, resource allocation, and intelligent decision-making processes. By analyzing the implementation pathways of these technologies in specific manufacturing scenarios, it explores how platform empowerment, data-driven approaches, and ecosystem synergy are driving paradigm shifts in production models. The paper further provides forward-looking insights into diversified technological evolution trends, aiming to offer theoretical references and practical guidance for manufacturing enterprises pursuing intelligent transformation initiatives.

## Keywords

industrial internet; intelligent manufacturing; digital transformation; data-driven; application trends

# 工业互联网技术在智能制造中的应用及发展趋势探析

曹帅 葛盈盈 李磊

常州机电职业技术学院, 中国·江苏 常州 213164

## 摘要

在新一代信息通信技术与制造体系深度渗透的情形下, 工业互联网渐渐成为智能制造变革的关键基础设施。本文以全球制造业数字化转型的宏观背景为立足点, 对工业互联网在数据采集、资源配置以及智能决策层面的核心机理进行系统阐述。通过对其在制造业具体场景里的落地路径展开剖析, 深入探究平台赋能、数据驱动和生态协同带来的生产范式革新。文章还对未来技术演进的多元化趋势进行前瞻性分析, 目的是为制造企业推进智能化升级提供理论参考和实践指引。

## 关键词

工业互联网; 智能制造; 数字化转型; 数据驱动; 应用趋势

## 1 引言

当前, 一场深刻的系统性变革在全球制造业领域上演, 传统大规模流水线生产模式正逐步被以个性化定制、柔性制造为核心的新型业态所取代。于工业 4.0、中国制造 2025 等战略的引领之下, 工业互联网作为连通工业全要素的枢纽, 凭借构建“人机料法环”全连接体系的方式, 将信息孤岛打破。

## 2 工业互联网技术在智能制造中的核心优势

### 2.1 泛在互联, 构筑全域感知神经网络

工业互联网技术借助 5G、物联网等前沿手段, 实现智

能制造全流程、全要素的泛在互联, 把生产设备、原材料、产品以及操作人员、管理系统紧密联结成一个有机整体<sup>[1]</sup>。它打破传统生产环节的信息壁垒, 让各类生产数据能够实时传输、无缝衔接, 相当于为智能制造体系搭建起一张全域覆盖的感知神经网络。这张网络可精准捕捉生产过程中的每一个细微变化, 小到设备的微小故障隐患, 大到生产流程的整体波动, 都能被及时感知并且反馈, 为后续生产调控提供最直观、最及时的基础数据支撑。

### 2.2 数据驱动, 赋能精准决策智能化

工业互联网技术的核心价值之一, 就在于对生产全流程产生的海量数据进行高效采集、清洗以及分析处理, 将分散的碎片化数据转化为具有实际指导意义的价值信息。依托大数据分析模型与人工智能算法, 这些数据能够精准呈现生产效率、产品质量、设备运行状态等核心指标的变化规律, 还能提前预判生产过程中可能出现的各类问题。基于这些精

【基金项目】江苏省“青蓝工程资助”。

【作者简介】曹帅(1985-), 男, 中国湖北咸宁人, 硕士, 副教授, 从事物联网、工业互联网研究。

准的数据分析结果,企业管理层能够摆脱传统经验决策的局限,做出更科学、更高效的生产调度、质量管控以及设备维护决策,真正实现智能制造决策的智能化与精准化。

### 2.3 云边协同,提升系统响应敏捷性

工业互联网技术构建的云边协同架构,完美兼顾云端的海量数据存储、深度分析能力与边缘端的实时处理、快速响应优势。边缘节点可就近处理生产现场产生的实时数据,比如设备运行参数、生产工艺反馈等,无需将所有数据全部上传至云端,极大降低数据传输延迟,让生产现场的突发问题能够得到即时响应、快速解决。云端则负责对边缘端上传的汇总数据进行深度挖掘、长期存储以及全局优化,为生产流程优化、长期规划制定提供支撑。这种云边协同的模式,有效提升了智能制造系统的整体响应敏捷性,让生产调度更灵活、设备运维更高效。

## 3 工业互联网技术在智能制造中的具体应用

### 3.1 设备预测性维护与健康管理的健康管理

设备预测性维护与健康管理的健康管理是工业互联网技术在智能制造领域的核心应用之一,其核心逻辑是通过工业互联网平台整合设备运行过程中产生的各类数据,依托大数据分析以及机器学习算法,实现对设备运行状态的实时监测、异常识别以及故障预判。智能制造场景下的生产设备往往具备高精度、高负荷、高联动的特点,一旦出现故障停机,不仅会影响生产进度,还可能造成不小的经济损失<sup>[2]</sup>。工业互联网技术通过在设备关键部位安装各类传感器,实时采集振动、温度、能耗、运行时长等核心数据,再将这些数据传输至云端平台进行深度解析,精准识别设备运行过程中的微小异常信号,提前预判可能出现的故障类型、故障部位以及发生时间。相较于传统的定期检修模式,这种维护方式能够有效避免过度检修造成的资源浪费,同时杜绝因检修不及时导致的突发故障,让设备始终保持最佳运行状态,进而保障智能制造生产线的连续稳定运行,降低设备维护成本,提升生产效率。

### 3.2 生产全流程可视化与数字化管控

生产全流程可视化与数字化管控依托工业互联网技术,打破智能制造各生产环节的信息壁垒,实现从原材料进场、生产加工、质量检测到成品出库的全链条数字化覆盖以及可视化监管。在智能制造车间中,工业互联网平台能够整合生产计划、设备运行、物料流转、人员调度等各类信息,通过可视化界面实时呈现各环节的运行状态,让管理人员能够直观掌握生产进度、资源利用情况以及潜在问题。管理人员无需深入生产现场,就能通过终端设备查看每一道工序的加工参数、产品合格率、物料库存等关键数据,同时可根据实时数据对生产过程进行动态调控,比如调整生产节拍、优化人员配置、调配物料供应。这种管控方式彻底改变了传统生产管理中信息滞后、沟通不畅的问题,让生产管理更加精准高效,同时能够及时发现生产过程中的浪费现象以及质量隐

患,助力企业实现精细化生产,提升产品质量稳定性,降低生产运营成本。

### 3.3 基于数字孪生的虚拟仿真与调试

基于数字孪生的虚拟仿真与调试是工业互联网技术与智能制造深度融合的重要体现,其核心是通过工业互联网技术构建与物理生产系统 1:1 对应的数字孪生模型,将物理世界的生产设备、生产流程、环境参数等全部映射到虚拟空间<sup>[3]</sup>。在智能制造生产线搭建以及工艺优化过程中,工作人员可借助虚拟仿真模型,提前对生产流程、设备布局、工艺参数进行模拟调试,无需动用物理设备就能验证生产方案的可行性,发现并解决潜在的设计缺陷以及流程冲突。

### 3.4 供应链协同优化与柔性配置

供应链协同优化与柔性配置借助工业互联网技术,打破智能制造企业与上下游合作伙伴之间的信息孤岛,实现供应链各环节的信息实时共享、协同联动以及柔性调度。智能制造的核心需求之一是快速响应市场变化,而传统供应链模式存在信息传递滞后、协同效率低下、资源配置僵化等问题,难以满足柔性生产需求。工业互联网平台能够整合供应商、生产商、分销商、客户等全链条资源,实时采集供应链各环节的库存、产能、订单、物流等数据,通过大数据分析实现供应链资源的精准匹配以及动态优化。

### 3.5 个性化定制的规模化生产模式

个性化定制的规模化生产模式依托工业互联网技术,破解了传统制造业中个性化定制与规模化生产之间的矛盾,实现了“一对一”定制与批量生产的有机结合,这也是智能制造的重要发展方向。在传统生产模式下,个性化定制往往意味着生产效率低、成本高、周期长,难以实现规模化推广,而工业互联网技术通过整合客户需求、生产资源、工艺技术等各类信息,构建起柔性生产体系。企业可通过工业互联网平台收集客户的个性化需求,将这些需求数据转化为生产指令,再通过数字化生产线实现柔性加工,同一生产线可同时处理不同规格、不同样式的定制产品,无需进行大规模的生产线调整。

## 4 工业互联网技术在智能制造中的发展趋势

### 4.1 平台开放化:构建互通共享生态圈

未来,工业互联网平台将逐步走向开放化发展,打破以往平台封闭运行、资源分散的格局,构建起互通共享、互利共生的工业互联网生态圈,这也是工业互联网发展的必然趋势。开放化的工业互联网平台,会打破行业壁垒、地域限制以及技术边界,向产业链上下游企业、科研机构、第三方服务商等开放核心能力与资源,包括数据接口、算法模型、应用开发工具以及算力资源等,让各类主体都能依托平台开展创新合作。比如中国联通格物 Unilink 工业互联网平台,作为国家级双跨平台,正逐步开放自身的连接能力与核心中台资源,汇聚各类生态伙伴,为不同行业企业提供全流

程服务。平台开放化不仅能让企业降低数字化转型的门槛，无需投入大量资金搭建自有平台，只需依托开放平台的资源就能实现智能化升级，还能促进各类创新资源的整合与优化配置，推动产学研用金深度融合，让科研机构的技术成果能快速转化为实际生产力，第三方服务商能依托平台提供专业化服务，上下游企业能实现信息互通与协同联动。这种开放共享的生态圈，将推动工业互联网技术与智能制造的深度融合，提升整个制造业的数字化、智能化水平，实现产业协同发展。

#### 4.2 边缘智能化：下沉算力实现即时响应

边缘智能化将成为工业互联网技术在智能制造领域的重要发展趋势，核心是将算力、算法以及数据处理能力下沉至生产现场的边缘节点，实现生产数据的本地实时处理与即时响应，解决传统云端集中处理模式下的延迟过高、带宽占用过大以及断网瘫痪等痛点。在智能制造持续发展的进程中，生产现场生成的数据量呈现爆发式增长态势。倘若把所有数据都传输到云端去处理，不仅会占据大量网络带宽，还会造成响应延迟，难以满足生产现场的实时控制需求。边缘智能化借助在生产车间布置边缘计算节点，把部分算力下沉到现场，使得边缘节点能够就近采集、分析并处理生产数据，及时下发控制指令，达成毫秒级响应。就拿 PCB 板缺陷检测场景来说，边缘 AI 方案的响应速度在 50ms 以内，远比云端 AI 300ms 以上的响应速度更具优势。与此同时，边缘节点还可以实现数据的本地缓存与筛选，仅仅把关键数据上传到云端，减轻网络带宽压力。而且在网络中断的情况下，边缘节点依旧能够独立运行，保障生产过程不会中断。未来，边缘智能化会与 5G、AI、TSN 等技术进行深度融合，进一步提升边缘节点的处理能力和智能化水平，实现生产现场的自主决策与自主优化，让智能制造系统拥有更强的敏捷性和可靠性。

#### 4.3 安全内生性：筑牢工业可信防护墙

在工业互联网技术和智能制造深度融合的进程中，生产系统的网络化、智能化程度持续提高，数据泄露、网络攻击、设备失控等安全风险也相应增多，所以安全内生性会成为工业互联网技术的关键发展走向，其核心在于把安全能力融入工业互联网的整个生命周期，构建工业可信防护体系。过去的工业安全防护大多运用“被动防御”模式，也就是在安全事件发生之后才采取补救办法，这种模式已经不能满足智能制造的安全需要<sup>[4]</sup>。安全内生性着重于“主动防御、全程防护”，将安全设计嵌入工业互联网平台搭建、设备接入、数据传输、应用开发等每一个环节，建立从设备安全、网络

安全、数据安全到应用安全的全方位、多层次安全防护架构。例如借助 OPC UA 协议的内置加密与身份认证机制，来保障数据传输的安全性；通过差分隐私加上区块链技术，实现数据可信共享，保护企业核心数据隐私；依靠边缘节点的本地安全防护，防范设备遭到非法入侵和控制。

#### 4.4 知识模型化：沉淀工业机理复用库

知识模型化是工业互联网技术赋能智能制造的核心发展趋势之一，核心是将工业生产过程中的工艺经验、操作技巧、机理知识等转化为标准化、可复用的数字模型，沉淀形成工业机理复用库，实现工业知识的传承与高效复用，推动智能制造从“数据驱动”向“知识驱动”转型。在传统制造业中，工业知识多依赖于老员工的经验积累，存在传承困难、复用率低、易出错等问题，一旦老员工离职，相关知识就可能流失。工业互联网技术通过大数据分析、机器学习、数字孪生等技术，将分散在各个环节的工业知识进行提炼、建模，形成标准化的工业模型，包括工艺模型、设备模型、质量控制模型等，这些模型会被整合到工业机理复用库中，供企业随时调用<sup>[5]</sup>。比如将汽车焊接工艺的参数、经验转化为数字模型，新员工可直接调用模型开展生产，快速掌握核心工艺；企业在优化生产流程、引入新设备时，也可调用复用库中的模型，减少试错成本。

### 5 结语

工业互联网技术向纵深推进的进程里，制造业价值创造逻辑正经历根本性重构。技术红利借助从单点设备互联到全产业链生态协同的演进路径，深入渗透进研发、生产、服务等各个环节。在全球产业变革浪潮中，只有把技术创新和标准体系建设不断推向深入，才能构建起具备自主可控、持续进化特征的智能制造业全新格局。

#### 参考文献

- [1] 蒋蓓,赵卿,李凯,等. 基于工业互联网的智能制造装备协同控制技术[J].塑料包装,2025,35(03):135-137+309.
- [2] 张咪咪,吴建军.工业互联网与智能制造下自动化技术分析[C]//中国企业财务管理协会.2025年中国企业财务管理发展大会论文集.四川化工职业技术学院;四川省古蔺郎酒厂有限公司,;2025:229-231.
- [3] 袁礼伟,王耀南,谭浩然,等. 面向智能制造的自主可控工业互联网发展研究[J].中国工程科学,2025,27(03):38-53.
- [4] 欧玲,黄岚子. 智能制造与工业互联网的技术架构分析[J].集成电路应用,2025,42(04):402-403.
- [5] 胡蕊.工业互联网对制造企业开放式绿色创新的影响研究[D].哈尔滨理工大学,2025.

# Theoretical Study on Multi-Station Anti-Fading for Shortwave Channels

Xue Dong Yimin Liu Bingkun Qin Zhu Jin Xiaoting Gu

China Radio Wave Propagation Research Institute, Qingdao, Shandong, 266100, China

## Abstract

Based on a typical shortwave channel model, this study comprehensively considers multipath effects, fading characteristics, and time-varying channel properties during shortwave transmission. Using theoretical analysis as the primary research approach supplemented by computer simulations, we systematically investigate how key channel parameters, link configurations, and interference duration influence multi-station cooperative interference performance across various scenarios. Building upon these findings, we develop a joint interference channel evaluation model tailored for shortwave environments to enable quantitative analysis of cooperative interference performance. The study focuses on characterizing anti-fading capabilities under multi-station coordination, clarifying applicable conditions and operational boundaries for fading resistance. Additionally, we elucidate the fundamental mechanisms of multi-station cooperative interference suppression through theoretical analysis, derive corresponding quantitative analytical formulas, and validate the theoretical derivations, model accuracy, and formula validity via simulation experiments to ensure the reliability and practical applicability of research outcomes.

## Keywords

shortwave channel; multi-station coordinated interference; signal power distribution characteristics; fading resistance performance introduction

## 短波信道多站抗衰落理论研究

董雪 刘毅敏 秦炳坤 金珠 顾晓婷

中国电波传播研究所, 中国·山东 青岛 266100

## 摘要

本文基于典型短波信道模型, 充分考虑短波传输过程中的多径效应、衰落特性以及信道时变特性, 以理论分析为主要研究手段, 结合计算机仿真进行补充验证, 系统探究不同链路组合场景下, 信道关键参数、链路数量、干扰时长等变量对多站协同干扰效果的影响规律。在此基础上, 构建适用于短波场景的联合干扰信道评估模型, 实现对多站协同干扰性能的量化分析, 重点刻画多站协同下的抗衰落能力, 明确多站抗衰落的适用条件与工作边界。同时, 从理论层面揭示多站协同抑制信道衰落的内在机理, 推导并给出相应的量化解析公式, 最终通过仿真实验对理论推导、模型精度及解析公式的有效性进行全面验证, 确保研究结果的可靠性与实用性。

## 关键词

短波信道; 多站协同干扰; 信号功率分布特性; 抗衰落性能

## 1 引言

短波信道的快衰落特性, 决定了到达干扰点的干扰信号功率在平均功率附近波动, 波动均方差由干扰信号统计时长、多普勒展宽、多径等参数共同决定。多台站联合干扰时, 到达干扰点的干扰信号功率波动会减小。

本文基于短波信道模型, 对各类链路组合下信道参数、链路数量、干扰时长等参数对多站协同干扰效果的影响展开研究与探讨, 证明多站协同抗衰落的原因及使用条件。

## 2 联合短波干扰信道模型

信号台站进行联合干扰时, 干扰目标地点的接收功率可写为:

$$\overline{r(t)} = \sum_{i=1}^M \overline{s_i(t)} \otimes h_i(t, \tau) \quad (1)$$

其中 $\overline{s_i(t)}$ 为台站*i*发出的干扰信号,  $h_i(t, \tau)$ 为台站*i*到干扰目标的信道冲击响应函数(后面称为信道*i*),  $\tau$ 表示传播路径间的延迟。

对于短波窄带信道, 使用 watterson 信道模型<sup>[1]</sup>:

$$h_i(t, \tau) = \sum_n \overline{g_{i,n}(t)} \otimes \delta(\tau - \tau_{i,n}) \quad (2)$$

其中 $\overline{g_{i,n}(t)}$ 代表信道*i*中的传播模式*n*的时间选择性衰落特性,  $\delta(\tau - \tau_{i,n})$ 代表信道*i*中的传播模式*n*的路径延时。

【作者简介】董雪(1991-), 女, 中国山东滨州人, 硕士, 工程师, 从事电波传播理论及应用研究。

当多个台站干扰源随机时，多个干扰信号在干扰点合成的信号相当于一个随机干扰源通过式 (3) 所示的信道模型后得到的信号。

$$p_{\mu}(f) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M (p_{g_i}(f - \Delta f \tau_i) + p_{g_i}(f + \Delta f \tau_i)) \quad (3)$$

$p_{\mu}(f)$  对应于时域上的随机增益函数， $f$  表示干扰频率。

### 3 多站协同干扰效果分析

由于短波电离层反射信道的时变色散特性，会导致到达干扰目标的干扰信号功率发生严重的衰落，前一秒与后一秒干扰信号功率相差多达 10~20dB。

在短波干扰中，由于短波通信是以突发波形形式进行通信，突发波形时间长度（一帧数据包）大多为 0.6~4.8 秒（短波调制解调器协议），所以短波干扰关注的是一个较短时间段内的到达目标点的干扰信号功率特性。因为在理论分析中，需要从没有进行对数运算的功率出发进行研究，因此将研究的问题抽象为一个以持续时间长度为  $T$  的干扰信号功率  $P(T)_t$ ， $P(T)_t$  随时间发生变化，可以看作一个随机过程。

$$\begin{aligned} P(T)_t &= \frac{1}{T} \int_t^{t+T} r(t) r^*(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_t^{t+T} (s(t) \otimes h(t, \tau)) (s(t) \otimes h(t, \tau))^* dt \end{aligned} \quad (4)$$

其中  $s(t)$  是发送的干扰信号， $h(t, \tau)$  代表短波信道， $r(t)$  为接收到的干扰信号。

#### 3.1 干扰信号功率随机过程

发射的干扰信号  $\overline{s(t)}$  为恒功率信号，经过短波信道到达干扰目标地点的干扰信号可写为：

$$\overline{r(t)} = \overline{s(t)} \otimes h(t, \tau) \quad (5)$$

多台站协同干扰时，到达干扰目标地点的干扰信号可以写为：

$$\overline{r(t)} = \overline{s_1(t)} \otimes h_1(t, \tau) + \overline{s_2(t)} \otimes h_2(t, \tau) + \dots + \overline{s_M(t)} \otimes h_M(t, \tau) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} p_{r, \text{single}}(T)_t &= \frac{1}{T} \int_t^{t+T} r(t) r^*(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \overline{s(t)} \otimes h(t, \tau) [\overline{s(t)} \otimes h(t, \tau)]^* dt \\ &= \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [\overline{s(t-\tau_i)} \overline{s(t-\tau_j)}]^* G_i(t) G_j(t)^* dt \\ &\approx \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \sum_{i=1}^N [\overline{s(t-\tau_i)} \overline{s(t-\tau_i)}]^* G_i(t) G_i(t)^* dt \end{aligned} \quad (7)$$

$p_{r, \text{single}}(T)_t$  可以看作单台站干扰信号随机过程。当发送的干扰信号是随机信号，多径延时满足  $\tau_i - \tau_j > \frac{1}{B}$ ，即对于窄带干扰系统， $B=3\text{KHz}$ ， $\tau_i - \tau_j > 0.3$  毫秒时， $\overline{s(t-\tau_i)}$  与  $\overline{s(t-\tau_j)}$

可以认为是不相关的随机信号。多台站协同干扰时，到达干扰目标点的干扰信号功率：

$$p_{r, \text{union}}(T)_t = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \sum_{i=1}^{N_m} \sum_{j=1}^{N_n} (\overline{s_m(t-\tau_{m,i})} \overline{s_n(t-\tau_{n,j})})^* G_{m,i}(t) G_{n,j}(t)^* dt \quad (8)$$

$p_{r, \text{union}}(T)_t$  可以看作单台站干扰信号随机过程。其中  $s_m(t-\tau_{m,i})$  代表第  $m$  个台站发射的干扰信号，经过链路  $m$  到达目标点的短波信道，在传播模式  $i$  对应的延时  $\tau_{m,i}$ ， $G_{m,i}(t)$  为此传播模式对应的路径增益。

当各台站发射的干扰信号是随机信号时，不同链路到达干扰点的信号是互不相关的，并且和各链路间不同传播模式的路径增益也是互不相关的。因此公式 (8) 可简化为：

$$\begin{aligned} p_{r, \text{union}}(T)_t &= \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \sum_{i=1}^{N_m} \sum_{j=1}^{N_n} (\overline{s_m(t-\tau_{m,i})} \overline{s_n(t-\tau_{n,j})})^* G_{m,i}(t) G_{n,j}(t)^* dt \\ &\approx \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_m} (\overline{s_m(t-\tau_{m,i})} \overline{s_m(t-\tau_{m,i})})^* G_{m,i}(t) G_{m,i}(t)^* dt \end{aligned} \quad (9)$$

由公式 (7) ~ (9) 可以得出：多站抗衰落效果和多径的抗衰落效果相似。因此以单条路径的功率特性作为研究基础。

$$p(T)_t = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \overline{s(t) s(t)^*} G(t) G(t)^* dt \quad (10)$$

由于  $\overline{s(t)}$  为恒功率信号，并且不同信号经过单条路径的短波信道后，功率分布特性近似（通过如下仿真证明）。

分别用计算机仿真平均功率为 1 的 8PSK 信号<sup>[2]</sup>，1KHz 的单音信号，恒为 1 的信号经过多普勒展宽为 1Hz 的归一化单路径短波信道后的功率分布特性。

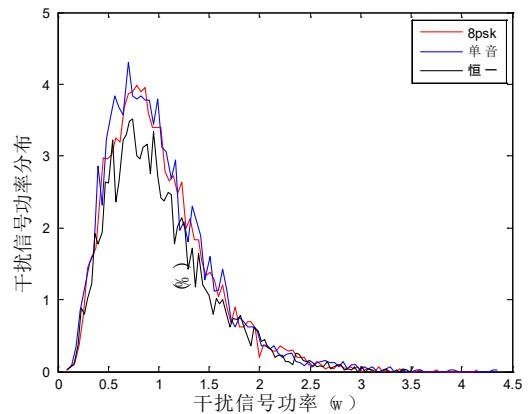


图 1 8PSK、单音、恒一信号功率分布对比

因此把单条路径功率特性近似为：

$$p(T)_t = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} G(t) G(t)^* dt \quad (11)$$

$p(T)_t$  可以看出一个随机过程。假设它的平均值  $\overline{P(T)_t}$ ，均方差为  $\delta T$ 。

多台站干扰到达信号功率  $p_{r, \text{union}}(T)_t$  可以看作一个随

机过程，因为  $\frac{1}{T} \int_t^{t+T} G_{m,i}(t)G_{m,i}(t)^* dt, i=1,2,\dots,N$  是互相独立的。因此均值  $\overline{p_{r,union}(T)_t} = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_m} \overline{p_{r,union,i,j}(T)_t}$ ，均方差：

$$\text{var}(p_{r,union}(T)_t) = \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_m} \delta^2_{T,m,i}} \quad (12)$$

### 3.2 经单路径归一化短波信道的干扰信号功率分布特性

将公式 (11) 经过归一化后为：

$$p_{Nor}(T)_t = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} g(t)g(t)^* dt \quad (13)$$

$p_{Nor}(T)_t$  的均值为 1，均方差为  $\delta_\sigma$ ，随信道的多普勒展宽  $\sigma$  变化而变化。 $p_{Nor}(T)_t$  的分布和均方差为  $\delta_\sigma$  的值由计算机仿真得到。

表 1 不同展宽值、不同计算时长下干扰信号功率均方差

多普勒展宽值	0.5s 时长的均方差	1s 时长的均方差	5s 时长的均方差	10s 时长的均方差
0.05Hz	0.9644	0.9793	0.8436	0.6950
0.1Hz	0.9956	0.9422	0.6751	0.5102
0.5Hz	0.8614	0.6857	0.3326	0.2394
1Hz	0.6935	0.5005	0.2332	0.1662

## 4 多站协同干扰抗衰落证明与量化

### 4.1 多站协同干扰抗衰落证明

分别分析单站单路径信号的功率波动特性和多站多路径功率波动特性。比较其差别，得出多站抗衰落原因。

短波信道的每条路径的增益函数  $G_i(t)$  是互相独立的<sup>[3]</sup>，因此：

单站单路径干扰信号功率特性：功率平均值为  $\overline{p(T)_t} = P_T$ ，均方差为  $\text{var}(p(T)_t) = \delta_{T,i}$ ；

单站多路径干扰信号功率特性为均值  $\overline{p_{r,single}(T)_t} = \sum_{i=1}^N P_{T,i}$ ，均方差  $\text{var}(p_{r,single}(T)_t) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \delta^2_{T,i}}$ ；

M 个站协同干扰，每个台站与干扰目标点之间的短波信道存在 N 条路径，到达干扰目标点的干扰信号功率特性为

$$\begin{aligned} \overline{p_{r,union}(T)_t} &= \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_m} P_{T,m,i}, \\ \text{var}(p_{\text{多}}(T)_t) &= \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_m} \delta^2_{T,m,i}} \end{aligned} \quad (14)$$

不失一般性，假设每条路径的平均功率相等，每条路径的多普勒展宽相等，每条链路均由 N 条传播路径，因此每条路径的功率波动均方差相等。即：

$$\begin{cases} \& P_{T,i} = P_T, (i=1,2,3,\dots) \\ \& \delta_{T,i} = \delta_T, (i=1,2,3,\dots) \\ \& P_{T,m,i} = P_T, (i=1,2,3,\dots, m=1,2,3,\dots) \\ \& \delta_{T,m,i} = \delta_T, (i=1,2,3,\dots, m=1,2,3,\dots) \end{cases} \quad (15)$$

单站多路径干扰信号功率特性为均值  $\overline{p_{r,single}(T)_t} = \sum_{i=1}^N P_{T,i} = N \cdot P_T$ ，均方差  $\text{var}(p_{r,single}(T)_t) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \delta^2_{T,i}} = \sqrt{N} \delta_T$ ；

M 个站协同干扰，每个台站与干扰目标点之间的短波信道存在 N 条路径，到达干扰目标点的干扰信号功率特性为  $\overline{p_{r,union}(T)_t} = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_m} P_{T,m,i} = M \cdot N \cdot P_T$ ，

$$(p_{\text{多}}(T)_t) = \sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_m} \delta^2_{T,m,i}} = \sqrt{N \times M} \delta_T。$$

当把随机过程  $p(T)_t$  的功率进行归一化处理，

$p_{Nor}(T)_t = \frac{p(T)_t}{\overline{p(T)_t}}$ ，那么随机过程  $p_{Nor}(T)_t$  平均值为  $\overline{p_{Nor}(T)_t} = 1$ ，

均方差为  $\text{var}(p(T)_t) = \frac{\delta_T}{\overline{p(T)_t}}$ ，使用上述归一化随机过程

$p_{Nor}(T)_t$  表示单台站干扰信号经过单路径短波信道后的功率特性。那么上述随机过程特性为：

单站单路径归一化干扰信号功率特性：平均值为  $\overline{p_{Nor}(T)_t} = 1$ ，均方差为  $\text{var}(p_{Nor}(T)_t) = \frac{\delta_T}{\overline{p(T)_t}}$ ；

单站多路径干扰信号功率特性为均值  $\overline{p_{r,single}(T)_t} = N$ ，

均方差  $\text{var}(p_{r,single}(T)_t) = \sqrt{N} \frac{\delta_T}{\overline{p(T)_t}}$ ；

M 个站协同干扰，每个台站与干扰目标点之间的短波信道存在 N 条路径，到达干扰目标点的干扰信号功率特性为  $\overline{p_{r,union}(T)_t} = M \times N$ ， $\text{var}(p_{r,union}(T)_t) = \sqrt{N \times M} \frac{\delta_T}{\overline{p(T)_t}}$ 。

由上述公式可以得出结论：

单台站干扰信号功率为  $P_s$ ，假设路径损耗为 0dB，经过单路径归一化短波信道后，干扰信号功率特性：平均值为  $\overline{p_{r,single}(T)_t} = P_s$ ，均方差为  $\text{var}(p_{r,single}(T)_t) =$

$$\text{var}(p_{Nor}(T)_t) \cdot p_s = \frac{\delta_T \cdot P_s}{\overline{p(T)_t}}$$

M 个台站协同干扰，每个干扰台站发射的干扰信号功率为  $P_s$ ，经过单路径归一化短波信道后，合成干扰信号功率特性：平均值为  $\overline{p_{r,union}(T)_t} = M \cdot P_s$ ，均方差为  $\text{var}(p_{r,union}(T)_t) = \sqrt{M} \frac{\delta_T \times P_s}{\overline{p(T)_t}}$ ；

M 个台站协同干扰，每个干扰台站发射的干扰信号功率为  $\frac{P_s}{M}$ ，经过单路径归一化短波信道后，合成干扰信号功率特性：平均值为  $\overline{p_{r,union}(T)_t} = P_s$ ，均方差为  $\text{var}(p_{r,union}(T)_t) = \frac{1}{\sqrt{M}} \frac{\delta_T \times P_s}{\overline{p(T)_t}}$ 。

则可以得出结论：当 M 个台站协同干扰时，如果 M 个台站发射功率之和等于单个台站发射功率时，到达干扰点的合成干扰信号功率波动均方差是单个台站功率波动均方差的  $\frac{1}{\sqrt{M}}$ 。

### 4.2 多站协同干扰抗衰落结论仿真验证

采用仿真验证上述结论，仿真过程如表 1：

可以看出，计算结果与仿真结果变化一致。

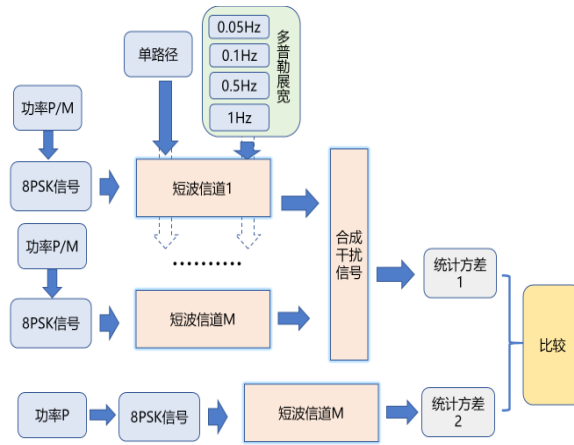


图 2 通过仿真验证 M 个台站协同干扰时合成干扰信号功率波动均方差与单个台站功率波动均方差的关系

表 2 不同展宽值、不同计算时长下干扰信号功率均方差

台站数	多普勒展宽 0.05Hz (理论值)	多普勒展宽 0.05Hz (仿真值)	多普勒展宽 0.1Hz (理论值)	多普勒展宽 0.1Hz (仿真值)	多普勒展宽 0.5Hz (理论值)	多普勒展宽 0.5Hz (仿真值)	多普勒展宽 1Hz(理论值)	多普勒展宽 1Hz(仿真值)
1	0.9793	0.9793	0.9422	0.9422	0.6857	0.6857	0.5005	0.5005
2	0.6925	0.7034	0.6662	0.671	0.4849	0.479	0.3539	0.3622
3	0.5654	0.5733	0.544	0.5457	0.3959	0.3919	0.289	0.2958
4	0.4897	0.503	0.4711	0.4836	0.3429	0.3384	0.2503	0.2573
5	0.438	0.4461	0.4214	0.4354	0.3067	0.3049	0.2238	0.2212
6	0.3998	0.4064	0.3847	0.3962	0.2799	0.2758	0.2043	0.2061

### 5 结论

(1) 单站干扰信号到达平均功率为  $Mp$ 、波动方差为  $\delta$  时, N 个条件相同、干扰源不相关的台站到达合成干扰信号功率均值为  $Mp \times N$ , 波动方差为  $\sqrt{N}\delta$ ;

(2) 相对于平均功率的抖动, 单站为  $\frac{\delta}{Mp}$ , 多站为  $\frac{\delta}{Mp \times \sqrt{N}}$ , 多站“抹平了功率抖动”, 由此证明了多站抗衰落理论, 并给出了量化结果。

(3) 多站干扰合成信道的台站数越多, 各路径功率占

比越近, 则到达干扰信号的功率波动越小, 需要预留的发射功率余量越小。

### 参考文献

[1] 一种短波信道模型建模方法[P]. 金珠;李颖;张跃宝;管英祥;任源博;蒋宏奎;王程林.中国电子科技集团公司第二十二研究所,2013;

[2] 一种新型的8psk短波通信技术方案. 蒋宏奎;刘敏;金珠.电子技术,2016(08);

[3] 一种基于误差传递的短波信道均衡方法. 吴永宏;徐伯禹;董雪;金珠;曹倩.电波科学学报,2022(05).

# Research on the Construction and Practice of Network Data Security Governance System in Universities

Yang Qi

Hubei Institute of Engineering, Xiaogan, Hubei, 432000, China

## Abstract

With the rapid development of information technology and digital education, the security of network data in universities is facing increasingly complex threats and challenges. This article takes the governance of network data security in universities as the research object, and systematically explores the construction methods of the network data security governance system from four dimensions: institutional construction, technical protection, organizational management, and education and training. By analyzing the existing security management practices in universities, this study proposes a comprehensive strategy for network data classification and grading management, risk assessment, monitoring and early warning, emergency response, and education and training. Practice has shown that building a sound network data security governance system can enhance the information system protection capabilities of universities, standardize data management behavior, enhance the network security awareness of teachers and students, and provide guarantees for the digital transformation and smart campus construction of universities.

## Keywords

universities; network data security; governance system; risk management; information security

## 高校网络数据安全治理体系构建与实践研究

祁洋

湖北工程学院, 中国·湖北 孝感 432000

## 摘要

随着信息技术和数字化教育的快速发展,高校网络数据安全面临日益复杂的威胁和挑战。本文以高校网络数据安全治理为研究对象,从制度建设、技术防护、组织管理和教育培训四个维度,系统探讨网络数据安全治理体系的构建方法。研究通过分析高校现有安全管理实践,提出网络数据分类分级管理、风险评估、监测预警、应急响应及教育培训的综合策略。实践表明,构建完善的网络数据安全治理体系能够提升高校信息系统防护能力、规范数据管理行为、增强师生网络安全意识,为高校数字化转型和智慧校园建设提供保障。

## 关键词

高校; 网络数据安全; 治理体系; 风险管理; 信息安全

## 1 引言

高校信息化建设快速推进,大量教学、科研和管理数据集中存储与传输,使网络数据安全成为重要议题。网络攻击、数据泄露及内部管理不规范等问题对高校教育科研活动及信息资产保护构成威胁,影响学校正常运转和声誉。现有安全管理多依赖单一技术防护,缺乏系统性治理机制和制度保障,难以应对复杂多变的网络安全风险。本文基于高校信息化现状,探讨网络数据安全治理体系构建的方法,包括制度建设、技术手段、组织管理和教育培训,提出可实施的策略与实践路径,为高校信息安全管理提供理论依据与操作指南。

【作者简介】祁洋(1998-),男,中国湖北随州人,硕士,从事计算机应用技术、人工智能研究。

## 2 高校网络数据安全现状分析

### 2.1 数据类型及管理特点

高校网络数据涵盖教学资源、科研数据、行政管理信息以及师生个人信息等多种类型,呈现出数据种类复杂、敏感程度差异明显以及分布范围广泛等特点。教学与科研数据通常包含学术成果、实验数据和研究资料,涉及知识产权保护和科研成果安全;行政管理数据则涉及学生学籍、财务信息及校园管理运行情况,具有较高的敏感性;个人信息数据则直接关系到师生隐私与合法权益。不同类型数据在使用方式、访问权限和安全等级方面存在差异,这对数据管理提出了更高要求。因此,高校在数据安全治理中需要根据数据的重要程度和敏感等级实施分类分级管理,通过明确数据存储规范、访问控制方式以及传输安全机制,使不同类别数据在生命周期各阶段均能够得到相应的安全保护。

## 2.2 现有管理制度分析

目前,多数高校已经建立了基本的信息安全管理制,对网络系统运行和数据使用进行了初步规范。然而,在实际执行过程中仍存在一定不足。一方面,部分制度在数据管理环节中的覆盖范围不够全面,对数据访问权限、存储加密以及网络访问控制等关键环节缺乏统一标准。另一方面,一些制度在执行过程中缺乏监督和评估机制,导致制度落实程度不高。此外,高校内部不同部门之间的信息管理体系相对独立,跨部门协同不足,使数据管理缺乏整体协调性。在技术防护方面,部分高校的安全技术措施与管理制度之间未能形成有效衔接,从而导致管理与技术之间存在脱节现象。这些问题在一定程度上削弱了网络数据安全治理的整体效果。

## 2.3 安全威胁与风险特征

高校网络环境面临的安全威胁具有多源性和复杂性。外部网络攻击、恶意软件传播以及网络钓鱼等行为可能对校园信息系统造成破坏,而内部误操作或权限管理不当也可能导致数据泄露或系统故障。此外,由于高校科研活动频繁,大量科研数据在网络环境中进行存储和传输,一旦受到攻击或篡改,可能对学术研究和知识产权产生严重影响。同时,师生个人信息和行政管理数据一旦泄露,也可能造成社会影响和法律风险。高校网络安全风险通常具有突发性和隐蔽性,问题往往在短时间内迅速扩散,并可能带来较大的损失。因此,高校网络数据安全治理需要具备风险预防、实时监测、应急处置以及持续改进等多方面能力,以提高整体安全防护水平。

## 3 高校网络数据安全治理体系构建

### 3.1 制度与规范建设

在高校网络数据安全治理体系中,制度与规范建设是实现有效管理的重要基础。高校应构建系统化的数据安全管理制度,涵盖数据分类分级管理、访问权限控制、信息安全审计以及应急响应机制等内容,从制度层面明确各部门在数据管理中的职责分工和操作流程。制度体系需要覆盖数据生成、存储、传输、使用以及销毁等全过程,使数据在不同阶段均能够受到规范化管理。同时,随着信息技术的发展和网络安全威胁形式的不断变化,相关制度也应保持动态更新,通过定期评估和修订,使制度内容与技术环境保持一致。通过制度化和标准化管理,可以增强数据安全管理的可操作性与可执行性,为高校网络数据安全治理提供稳定的制度保障。

### 3.2 技术防护与安全措施

技术防护是保障网络数据安全的重要支撑。在高校信息系统运行过程中,应通过构建多层次安全防护体系来保护数据资源的安全。常见技术措施包括部署防火墙系统、入侵检测系统以及身份认证机制,以实现网络边界和内部访问行为的有效控制。同时,通过采用数据加密技术,可以对敏

感信息进行保护,防止在传输和存储过程中被非法获取。此外,建立数据备份与恢复机制能够在系统出现故障或遭受攻击时快速恢复数据,减少损失。结合日志监控与数据分析技术,还可以对系统运行情况进行持续监测,一旦发现异常行为即可及时发出预警。通过技术防护与管理制度相结合,可以形成更加完善的网络数据安全防护体系。

### 3.3 风险评估与动态管理

在高校网络数据安全治理过程中,风险评估是实现科学管理的重要环节。高校应建立基于风险的管理机制,对网络系统、数据资产以及关键应用平台进行定期评估。评估过程通常通过分析潜在威胁来源、发生概率以及可能产生的影响程度,对不同风险进行量化分类,从而确定风险等级并制定相应的处置策略。在此基础上,通过持续监测网络运行状态和数据使用情况,可以及时发现新的安全隐患并进行调整。动态管理机制强调持续改进和循环优化,使安全治理体系能够适应不断变化的技术环境和安全挑战。通过将风险评估结果应用于管理决策,可以提高高校网络数据安全治理的前瞻性与灵活性。

## 4 高校网络数据安全组织与实践

### 4.1 安全组织架构设计

在高校网络数据安全治理体系建设中,完善的组织架构是保障管理措施有效实施的重要基础。高校应建立统一的网络数据安全管理机构,以校级信息中心为核心统筹安全管理工作,同时明确各学院、科研单位及相关职能部门在数据安全治理中的职责分工。通过构建校院两级管理体系,可以实现政策制定、技术管理与监督审计之间的有效衔接。校级层面主要负责安全策略制定、重大安全事件处置和资源协调,各二级单位则承担日常网络安全管理和数据使用监管任务。此外,组织架构设计还应兼顾技术支持与行政管理职能,使安全决策能够迅速落实,并推动跨部门之间的协同合作。通过明确责任主体和管理流程,可以实现安全管理责任的可追溯性,从而形成系统化、规范化的网络数据安全治理机制。

### 4.2 教育培训与安全文化建设

在高校网络安全治理体系中,技术防护措施与制度管理需要与安全教育相结合,才能形成长期稳定的安全环境。高校应通过开展网络安全培训、专题讲座及应急演练等方式,提高师生对网络安全风险的认识,使其掌握基本的数据保护和信息安全技能。培训内容应涵盖数据保密意识、密码安全管理、移动终端使用规范以及网络诈骗防范等方面,使师生能够在日常学习和科研活动中主动采取安全措施。同时,通过校园宣传活动和安全教育课程,可以逐步营造良好的网络安全文化氛围,使安全意识成为校园行为规范的一部分。通过构建“技术防护、制度管理与安全教育”相结合的治理模式,可以增强全体师生的安全责任意识,从而在整体层面提升高校网络数据安全治理水平。

### 4.3 应急响应与事件管理

在网络安全管理体系中，应急响应机制是应对突发安全事件的重要保障。高校应建立完善的网络安全事件处理流程，包括事件识别、风险评估、应急处置以及系统恢复等环节，使安全事件能够得到及时控制和有效处理。通过建设统一的安全监测平台，可以实现对网络运行状态和异常行为的实时监控，当系统检测到潜在安全风险时能够及时发出预警。与此同时，高校应定期组织网络安全应急演练，通过模拟攻击或系统故障情景，提高管理人员和技术人员的应急处置能力。在事件处理完成后，还应对相关过程进行记录与分析，总结经验并完善安全制度和技术措施。通过持续改进事件管理机制，可以不断提升高校网络安全治理体系的风险防控能力与管理水平。

## 5 BIM 与数据分析技术在安全治理中的应用

### 5.1 BIM 技术与校园网络资源可视化

在高校网络数据安全管理体系建设中，引入 BIM 技术能够为信息资源管理提供新的技术路径。通过建立数字化模型，可将校园网络结构、服务器设备、数据中心以及信息系统节点进行三维可视化呈现，使复杂的网络架构更加直观清晰。管理人员可以通过可视化平台实时查看网络拓扑结构、设备运行状态以及数据传输路径，从而更准确地掌握网络运行情况。与此同时，可视化系统还能够标识关键安全节点和重要数据资源位置，使安全管理人员在发生异常时迅速定位问题来源并采取应对措施。此外，通过将网络设备、机房环境以及信息系统运行状态纳入统一模型，可以实现信息资源的动态监控与管理，提高管理效率。BIM 技术在校园网络资源管理中的应用，使原本抽象的数据系统具备直观展示能力，为高校网络安全治理提供更加清晰和高效的管理工具。

### 5.2 数据分析与风险预测

在高校网络安全治理过程中，数据分析技术对于提升风险识别能力具有重要作用。通过对网络日志、访问行为记录以及历史安全事件数据进行系统收集与整理，可以建立多维度数据分析模型，从而识别潜在安全风险。利用大数据分析技术，可以对用户访问模式、数据传输频率以及系统异常行为进行统计分析，及时发现异常访问或潜在攻击行为。同时，通过机器学习和统计模型对历史数据进行建模，可以预测未来网络安全风险的发展趋势，为安全管理提供预警机制。数据驱动的风险预测不仅能够提高网络安全防护的前瞻性，还能够帮助管理部门合理配置安全资源。例如，在风险较高的系统节点增加安全监控措施，在重点数据区域加强访

问控制，从而形成更加科学和精准的网络安全管理模式。

### 5.3 信息集成与智能化管理

在高校网络安全治理体系中，信息集成平台是实现智能化管理的重要基础。通过构建统一的信息管理平台，可以将制度规范、技术防护措施、监测数据以及安全培训信息进行整合，形成完整的数据管理体系。该平台能够实现多系统之间的数据互通，使网络安全管理由分散式管理转向集中化管理。通过平台系统，可以实现网络安全事件的自动识别与预警，并结合权限管理机制对用户访问行为进行控制。同时，平台还具备审计追踪功能，对系统操作记录进行保存与分析，为安全事件调查提供依据。在突发安全事件发生时，平台可启动应急联动机制，实现快速响应和协同处置。通过信息集成与智能化管理，高校网络安全治理体系能够实现数据监测、风险预警、应急处理和持续改进的闭环管理，从而提升整体安全管理水平。

## 6 结语

高校网络数据安全治理体系的构建需要制度建设、技术防护、组织管理与安全教育协同推进。通过实施数据分类分级管理、完善访问控制机制、加强技术防护措施以及开展风险动态评估，可实现对数据生成、存储、传输与使用全过程的安全管理。同时，借助信息集成平台与智能化监测技术，可以提升网络运行监控能力和风险预警水平，使安全治理更加科学与高效。实践表明，系统化的治理体系不仅能够提升网络安全防护能力，还能规范数据管理流程并增强师生的安全意识，为智慧校园建设提供稳定支撑。未来，高校应持续完善制度规范、强化技术应用能力并加强安全教育与应急管理机制，推动网络数据安全治理向系统化、智能化和可持续发展方向，从而为教育教学与科研活动提供可靠的信息安全保障。

### 参考文献

- [1] 欧阳飞.高校网络信息安全治理体系构建[J].网络安全和信息化,2025,(10):26-28.
- [2] 张杨.高校数据中心网络安全加固体系构建研究[J].电脑编程技巧与维护,2025,(08):168-171.
- [3] 钱小龙,葛黄雅,黄蓓蓓.基于云平台的高校数据安全治理体系构建与应用研究[J].科技管理研究,2024,44(17):122-128.
- [4] 张建娇.高校数据中心网络安全入侵防护体系构建[J].网络安全和信息化,2024,(08):126-128.
- [5] 魏楚元,任彦龙,李欣.高校网络安全治理体系构建研究[J].网络安全技术与应用,2021,(01):96-98.

# Research and Application of On-Street Parking License Plate Recognition Technology

Ni Li Fengbin Yang Guangtong Lu Pengliang Zhao Yasu Chen

Shanxi Jingtai Traffic Construction and Operation Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030032, China

## Abstract

License plate recognition (LPR) technology leverages high-speed image acquisition, image processing, and image recognition techniques to rapidly and accurately identify vehicle license plates. By networking with other monitoring devices, it facilitates efficient parking management. License plate secondary recognition technology refers to the process of rechecking, verifying, or supplementing information for unrecognizable or incorrectly identified license plates based on the initial LPR results. Its core objective is to significantly enhance recognition accuracy and mitigate misidentifications caused by factors such as adverse lighting, oblique angles, and license plate defacement. Unlike a mere “second capture,” it constitutes an intelligent verification mechanism rooted in multi-source data comparison and in-depth analysis. Implementing dual-round license plate recognition can improve the accuracy and reliability of on-street operation management platforms, enabling more effective supervision and management of vehicles.

## Keywords

on-street parking; license plate recognition; impact of license plate accuracy

## 路内停车车牌识别技术的研究及应用

李妮 杨峰斌 路广通 赵鹏亮 陈亚素

山西静态交通建设运营有限公司, 中国·山西太原 030032

## 摘要

车牌识别技术利用高速图像采集、图像处理及图像识别等方法,迅速、精确地对汽车牌照进行识别,并与其他监控设备进行联网,有助于停车管理。车牌二次识别技术是指在第一次车牌识别的基础上,对一些无法识别的车牌或错误的车牌进行复核、校验或补充信息的流程,旨在大幅提升识别准确率,减少因光线、角度、污损等因素导致的误识别。它并非简单的“第二次抓拍”,而是一个基于多源数据比对与深度分析的智能校验机制。通过车牌两次识别可以提高路内运营管理平台的准确性和可靠性,帮助平台更好地实现对车辆的监管和管理。

## 关键词

路内停车; 车牌识别; 车牌准确性影响

## 1 引言

随着我国经济高速发展,人民生活水平提高,机动车的数量急剧上升,停车管理问题日益严峻,智能停车系统成为发展趋势,如何准确、高效地获取车牌号码成为停车管理的关键。停车分为路内停车和路外停车两种方式,路内停车方式灵活,可以缓解停车位数量的建设速度和车辆增长速度之间的矛盾,提高城市空间利用率。但是由于目前各大城市停车位严重不足,导致汽车在路边乱停乱放,造成交通拥堵,管理困难。如何通过智能化管理及充分利用路内停车位,减少人力资源的浪费,已经成为当前需要解决的关键问题。

路内停车通常采用地磁+PDA设备、低位视频桩和高

位视频等方式。地磁+PDA设备由地磁发送信号,监管人员根据信号记录车牌和开具收费清单。但是,基于地磁的车位管理方案需要与人工、巡检车和相机等其他方式进行配合,并且设备需要定期维护,成本较高,且在磁场干扰严重的地区,会出现检测数据不准确的问题。低位视频桩可以记录车辆和车牌信息,提升停车管理的准确性和效率,但存在人为破坏等问题,导致无法识别车辆和车牌的情况。高位视频系统则可以对多个车位进行管理,通常一个高位相机的车位覆盖率为3-8个,通过记录车辆和车牌信息,有效解决跨位停车等难题,提升停车管理的准确性和效率,但会出现摄像头被树叶遮挡、车辆和车牌被其他物体遮挡等问题。因此,提高检测算法和识别算法的准确性和实时性对于该方案至关重要。因此本文主要对路内停车车牌识别技术进行说明。

【作者简介】李妮(1993-),女,中国山西朔州人,硕士,助理工程师,从事静态交通、大数据研究。

## 2 车牌识别准确性影响因素分析

### 2.1 环境条件对识别准确性的影响

路内停车具有车流量大、照明条件复杂、环境动态变化频繁等特征，对识别系统提出了更高标准。光照是核心干扰因素，强光易引发镜头反光，夜间则因照度不足产生图像噪点与虚影；雨雪天气易造成镜头模糊、车牌被泥水遮挡，同时玻璃罩易出现反光或起雾现象，而雾霾天气会大幅降低图像整体对比度与清晰度，上述因素均会干扰车牌边缘的精准识别。逆光、侧光、夜间低照度及车头灯直射形成的眩光等情形，会严重改变车牌在图像中的呈现效果，对算法的自适应调节能力构成考验。此外，摄像头安装角度、焦距参数设置不合理，或车辆通行速度过快，均会造成图像畸变与运动拖影。多重不利因素交织，致使路内停车场景下的识别稳定性普遍偏低，因此识别系统需具备光照补偿、自动对焦及自清洁等功能，以此提升成像的稳定可靠度。

### 2.2 车牌特征差异与复杂性挑战

车牌多样性是影响识别精度的重要因素。新能源车牌在颜色、尺寸及字符布局上与传统车牌差异显著，易引发特征提取混淆；部分地区、公务车、外交车等部分特殊车辆启用异形车牌或特色字体，对模型的泛化及迁移能力提出更高标准。车牌磨损、污渍、贴膜或防护罩反光等情况，均会造成字符信息缺失与车牌结构破坏；车辆间距离引发车牌遮挡重叠，进一步提升识别难度。不同摄像设备的成像算法、压缩格式及白平衡参数存在差异，会影响系统跨场景识别的一致性；老旧车牌反光涂层失效或锈蚀严重，会降低字符与底色的对比度；车速过快引发运动模糊、车辆未按车道行驶导致拍摄角度异常等情形，均会干扰识别流程。由此可见，车牌识别需依托多样化样本与动态特征学习机制，强化模型的泛化能力与复杂场景适配性。

### 2.3 系统与管理环节的制约因素

系统与管理环节的短板，同样会制约车牌识别的可靠性。硬件是系统的“眼睛”和“大脑”，其性能决定系统运行上限。部分停车场配备的摄像设备存在分辨率偏低或帧率不足的问题，易导致图像模糊，无法清晰地捕捉车牌字符细节（尤其是车辆处于移动状态时），输入图像质量难以支撑高精度识别需求；后台算力不足时，高峰时段易出现识别延迟与数据丢帧，影响识别结果与车辆通行的同步性。若缺乏完善的数据冗余与备份机制，网络波动或硬件故障易造成识别记录丢失，进而引发计费偏差与运营纠纷。多数停车场仍需依赖人工复核识别异常结果，虽可提升识别准确率，但会增加人工运维负担与通行响应时长；部分系统缺乏自动告警与日志监测功能，无法实时定位故障源头；管理层面流程标准化程度不足，致使系统维护效率偏低，让车牌识别在复杂场景下的稳定运行与可持续运维面临挑战。

## 3 工作流程

在路内停车场景下，为了后续的停车计时收费工作，需要对监控视频中的车辆及其车牌信息进行准确地检测与识别。车牌识别主要由两大核心部分构成：定位车牌和识别车牌字符。为提高车牌识别准确率，采用二次识别的方式降低识别误差。具体的工作流程如下：

**初次识别：**高位视频抓拍车辆图像，本地系统进行首次车牌识别，并生成结构化数据（车牌号、时间、车场ID等）。

**置信度判断：**系统评估初次识别的置信度（如是否高于99%）。若置信度不足或数据异常（如停车时间过长），则触发二次识别。

**二次校验：**将原始图片和数据，进行深度分析与比对。

**结果融合：**将二次识别结果与初次结果比对，若一致，则确认放行或计费；若不一致，则以置信度更高的结果为准。

**数据归档：**最终确认的车辆信息被存入系统，用于后续查询、统计与管理。车辆二次识别模块是整个车辆识别系统的核心组成部分之一，与车牌识别模块协同工作。

**车牌识别模块：**负责基础的车牌定位、字符分割与识别，输出车牌号与颜色；

**车辆二次识别模块：**接收车牌信息、车型、颜色、品牌等数据，进行深度校验与信息挖掘，实现“从车牌到车辆”的全方位识别。

## 4 车牌识别技术研究

车牌二次识别是指在车辆识别系统中，对初次识别结果进行复核、校验或补充信息的流程，旨在大幅提升识别准确率，减少因光线、角度、污损等因素导致的误识别。它并非简单的“第二次抓拍”，而是一个基于多源数据比对与深度分析的智能校验机制。传统基于车牌识别技术的停车系统，高位视频在受到角度、光线、天气等影响的时候，常常发生无法准确识别车牌的情况，车牌无法准确识别时，会影响车辆的进出和计费，进而导致停车业务无法正常进行。车牌二次识别服务是对停车系统采集的车牌图片原始数据进行二次校验，并将检验结果返回给停车系统的服务，经过停车系统自身识别和二次识别，可以大幅提升车牌识别的准确率，减少识别错误。

### 4.1 车牌初次识别技术

通过使用图像处理技术，车牌识别系统可以实现降噪、定位和分割，并使用模式识别技术来实现车牌号的识别。这些功能组成了一个完整的车牌识别装置。当车辆被采集时，它会经过一个感应拍摄点，经由硬触发器触发并进行拍摄，并将采集到的图像送入系统进行预处理。接下来，系统会精确定位车牌的位置，并使用分割技术从中提取出字符。最终，

这些信息就可以用于车牌识别,具体工作原理如下图所示。

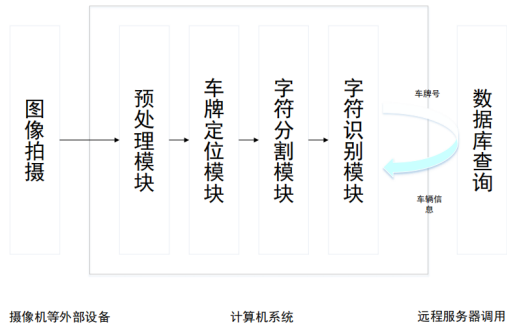


图1 车牌识别工作原理图

当传感器检测到车辆时,它会向摄像头发出指令,从而开始捕捉实时的车辆图像,并将其传输至计算机系统,经过精心的预处理,以便更好地分析和解读;通过进行车辆图像预处理,可以提升捕获图像的对比度并减少图像噪声,对图像边缘进行锐化和模糊增强,从而提升图像的质量,确保后续操作的准确性和便捷性;然后通过分析车辆图像中的灰度变化和车牌区域的独特性质,就可以准确地定位车牌的位置;再然后通过对车牌的字符进行分割,并利用特定的算法识别精确分割的字符范围的每一个字符。最后经系统的精确匹配,每个字母都被精确地检测出来,从而实现汽车车牌的准确识别。

#### 4.2 车牌二次识别技术

为提升车牌识别率,车牌二次检测采用YOLOv7算法进行车辆和车牌检测。针对夜间环境、角度倾斜、雨雪雾天等多种场景下的车牌识别,对YOLOv7结合LPRNet网络进行改进,通过对低光照度下的车牌进行图像增强,利用双边滤波算法去除背景噪声,保留车牌边缘信息,引入透射变换进行车牌矫正,从而对车牌进行识别,车牌识别效果得到提升。算法基于颜色特征的车牌定位算法首先将车辆图片转换至HSV颜色空间,随后利用车牌区域独特的颜色特征进行精准定位车牌区域,但是易受到光照影响。基于数学形态学的车牌定位算法通过结构元素获取图像中的特定形状,再通过数学形态学的基本运算:膨胀、腐蚀、开启和闭合四种操作,去除车牌附近的噪声,从而对车牌进行定位,该方法定位速度较快。利用车牌图像中的字符特性和边缘信息,基于

边缘特征的车牌定位算法能够准确确定车牌的位置。在背景复杂的情况下,对车牌进行精准定位是一项极具挑战性的任务。基于遗传算法的车牌定位方法,算法以寻找车牌颜色像素点的最佳阈值为目标,通过选取选择算子、交叉算子和变异算子,执行遗传和变异操作,从而精准定位车牌区域,尽管其全局寻优能力有助于增强车牌区域的识别效果,但相应地,它也可能导致车牌定位的速度有所降低。基于支持向量机的车牌定位算法使用SVM分类器对样本进行分类,进而实现车牌定位。基于小波变换的车牌定位算法对车牌图像进行小波变换,将得到的小波低频信息图与原图做差,得到车牌位置的细节信息,再对车牌进行定位,可以降低噪声的影响,但实时性较差。基于神经网络的车牌定位算法通过将车牌图像传入到神经网络中进行训练,网络在学习完成后对车牌定位。

## 5 总结与展望

通过车牌二次校验,可将整体车牌识别准确率提升至99.98%以上,显著降低“计费错误”事件。二次校验技术不仅校验车牌号,还能识别车辆品牌、子品牌、车身颜色、车型(如轿车、货车)、车内特征(如是否系安全带、是否拨打手机)等,可以自动修正识别错误,构建更完整的“车辆身份档案”,实现停车管理系统的精准计费工作流程。本文主要探讨二次校验技术在停车管理中的使用,该技术可以在更多的场景中进行应用,例如在公安领域中,可与机动车登记数据库比对,实时预警套牌、假牌、遮挡号牌、盗抢车辆、逾期未年检等违法行为。车牌识别技术是一项具有广阔应用场景的研究课题,但在用户隐私等方面需要提高警惕。基于此,在对该技术进行研究与优化时,要注意网络安全和技术稳定性,实现对车牌的有效识别,对视频图像进行实时监测,对所出现的机动车、非机动车与人等图像进行有效提取,进一步提高交通管理的效果。

### 参考文献

- [1] 卢英杰.基于深度学习的路侧停车行为及车牌识别技术研究[D].西安:西安建筑科技大学,2024.
- [2] 韩国强.车牌识别技术中去噪与字符识别的算法研究[D].十堰:湖北汽车工业学院,2023.
- [3] 刘凌远.基于深度学习的车牌检测与识别[J].现代信息科技,2024(8):53-57.

# Operational Safety Assurance Technology for Medium-Wave Transmitter Stations Based on an Automation Platform

Sukebate

Xinjiang Uygur Autonomous Region Radio and Television Bureau, Station 762 (7602), Bole, Xinjiang, 833400, China

## Abstract

Medium-wave broadcasting plays a pivotal role in public service sectors such as policy promotion, information dissemination, and emergency broadcasting. The operational safety of its transmitter stations directly impacts the stability of signal transmission and the overall performance of the transmission system. In recent years, with the progressive advancement of intelligent broadcasting infrastructure, the traditional operation and maintenance model, which primarily relies on manual inspection and reactive repairs, can no longer meet the requirements for highly reliable and uninterrupted safe broadcasting. The establishment of an automated platform effectively resolves this issue, as it integrates functions such as data acquisition, intelligent monitoring, remote control, and fault warning, thereby providing robust technical support for the full-process operational safety of medium-wave transmitter stations. Accordingly, this paper systematically elaborates on the key technologies for ensuring the operational safety of medium-wave transmitter stations through an automated platform, with a focus on analyzing the practical application effectiveness of these technologies, aiming to provide theoretical guidance and reference for the construction of a safety assurance system and the development of an intelligent operation and maintenance framework for medium-wave transmitter stations.

## Keywords

automation platform; medium-wave transmitter; operational safety; assurance technology; application results

# 基于自动化平台的中波发射台运行安全保障技术

苏克巴特

新疆维吾尔自治区广播电视局七六二（七六〇二）台，中国·新疆博乐 833400

## 摘要

中波广播在政策宣传、信息传播、应急广播等公共服务领域扮演着重要角色，其发射台的运行安全直接牵涉传播信号的稳定性与传输系统的整体运行质量。近年来，随着智慧广电建设步伐的逐步加快，以人工巡检、被动抢修为主的运维模式已经无法满足高可靠、不间断的安全播出要求，而自动化平台的搭建则有效解决了这一问题，该平台兼具数据采集、智能监测、远程控制、故障预警等功能，可以为中波发射台全流程的运行安全提供强大的技术支持。基于此，本文通过系统阐述基于自动化平台的中波发射台运行安全保障技术要点，着重分析该技术的实际应用成效，旨在为中波发射台安全保障体系的构建与智慧型运维框架的搭建提供理论借鉴与参考。

## 关键词

自动化平台；中波发射台；运行安全；保障技术；应用成效

## 1 引言

自动化平台可以对中波发射台的核心设备及关键运行环节进行实时监控，并将分散的运行数据转化为可分析、可预警的有效信息，实现了从人工值守向智能值守的过渡，使得中波发射台的运行安全得到可靠保障。尤其在应急场景下，自动化平台能够快速执行主备机切换、电源切换、信号倒备及故障隔离等预设措施，使得安全事故的发生概率大幅降低。当前，随着智能诊断精度的不断提升，自动化平台在

保障中波发射台运行安全方面的实际应用价值也得到充分体现。

## 2 自动化平台的中波发射台运行原理

### 2.1 数据参数实时采集原理

中波发射台自动化平台的全域感知功能，可以实现对发射台各系统运行状态的无死角数据采集，在中波发射台运行期间，位于发射机、天馈线、供配电等关键部位的智能感知终端，能够将设备的运行状态转化为易于平台识别的数字信号，进而为后续的数据分析与自动化控制提供权威的数据支撑。数据参数采集多采用分层采集与边缘预处理相结合的形式，发射机功放模块、天调网络、配电柜、温湿度传感器

【作者简介】苏克巴特（1978-），蒙古族，中国新疆博乐人，本科，工程师，从事中波，短波研究。

等节点布设采样频率不低于 100Hz 的高精度传感器，并实时捕捉功率、频率、驻波比、电压电流等上百项运行参数。数据采集任务完成以后，需要在边缘侧对数据进行格式标准化、异常值过滤、完整性校验处理，以剔除一些无效数据及冗余数据，然后借助于工业级冗余环网以 TCP/IP 协议将处理后的数据传输至平台核心服务器。比如某省级中波发射台，单台发射机每日产生有效采集数据量达 2.8GB，平台数据传输丢包率控制在 0.02% 以下，数据采集延迟不超过 200ms，这种高可靠性、低延迟的数据为后续智能分析与应急响应提供坚实保障。

### 2.2 智能分析与决策原理

从数据采集到控制执行，需要依托于自动化平台对各类数据的智能分析与决策，才能保障中波发射台的安全稳定运行。这一原理决定了平台能否从数据收集工具升级为安全保障大脑，以深入挖掘潜藏在数据背后的系统运行规律与安全风险隐患。在对数据进行具体分析时，自动化平台基于多维度数据融合算法，整合发射机实时运行参数、天馈线状态数据、供配电负荷数据、历史故障日志等信息，构建设备运行状态的数字孪生模型，该模型在识别系统潜在故障方面，具有极高的识别准确率。比如某中波发射台的发射机功放模块温度持续升高时，平台会同步关联该模块的工作功率、散热风扇转速、机房环境温度三项核心数据，然后，通过贝叶斯分类算法进行综合研判，其潜在故障识别准确率可达 92.7%。可以看出：高识别精度为各类安全事故的预防创造了有利条件<sup>[1]</sup>。

### 2.3 自动化控制原理

自动化控制原理涉及的主要包括设备级精准控制模块、场景化联动执行模块以及故障时应急处置模块，这些模块联动运行，能够对决策指令进行智能分析，然后转化成为对发

射台各设备的精准控制操作。比如在发射机主备机自动切换场景中，平台会严格遵循《广播电视发射台自动化通用技术要求最新版本》(GY/T 252-2011) 行业标准，控制指令下发至设备执行端的延迟不超过 500ms，切换过程中节目信号无感知中断，切换成功率达 100%。在场景化联动执行层面，自动化平台针对日常巡检、重大保障、应急广播等不同场景，预设标准化的联动控制流程。而在故障时应急处置层面，平台会根据故障等级自动触发对应的联动处置流程，实现故障识别、指令下发、设备执行、状态反馈的全闭环运行。比如当检测到发射机功放模块突发短路故障时，平台会在 1 秒内下发主备机自动切换指令，同时联动切断故障模块供电、启动备用散热系统、向运维人员推送故障定位信息，整个联动流程无需人工干预。

## 3 基于自动化平台的中波发射台运行安全保障技术要点

### 3.1 设备状态在线监测与异常预警技术

该技术主要借助于分布式感知终端、高速数据传输网络与智能分析算法，针对中波发射台内发射机、天馈线、供配电、信号源等系统进行全天候实时监测，并通过对设备运行趋势、参数变化规律、性能衰减特征的持续跟踪，查找出各系统存在的潜在故障与隐性隐患，然后向主控制台发出预警信号。在实际监测过程中，监测终端采用边缘计算架构，在设备端完成数据滤波、降噪、异常点剔除等预处理工作。数据传输采用工业级冗余环网，传输延迟控制在 200ms 以内，丢包率低于 0.02%，确保异常信息能够实时上送与快速响应。预警信息按照等级自动推送至值班大屏、移动运维终端及管理后台，并同步写入设备健康档案与运行日志，其核心设备监测指标与预警阈值如表 1 所示。

表 1：中波发射台核心设备监测指标与预警阈值

监测系统	关键监测指标	正常运行范围	黄色预警阈值	红色预警阈值	监测采集精度
全固态发射机	额定输出功率	额定值 ± 0.5%	额定值 ± 1.0%	额定值 ± 3.0%	± 0.01kW
天馈线系统	电压驻波比 VSWR	≤ 1.20	1.21 ~ 1.40	> 1.50	± 0.02
供配电系统	三相交流电压	380V ± 5%	380V ± 10%	380V ± 15%	± 1V
功放单元模块	内部工作温度	0°C ~ 60°C	61°C ~ 75°C	> 75°C	± 0.5°C
音频信号源	总谐波失真度	≤ 1.0%	1.0% ~ 3.0%	> 3.0%	± 0.05%
机房环境	环境温度湿度	18 ~ 25°C 40% ~ 60%RH	15 ~ 18°C / 25 ~ 28°C	< 15°C / > 28°C	± 0.5°C / ± 3%RH

### 3.2 主备冗余与自动切换保障技术

主备冗余与自动切换保障技术在保障中波发射台不间断安全播出方面发挥着关键性作用，特别在应对突发故障时，该技术的处理效果表现得极为明显。运用该技术时，首先对发射机、信号源、供配电、控制链路等核心环节实施冗余配置，构建主用设备与备用设备并行运行、实时同步、自动互补的高可靠运行架构。而自动切换技术主要是在主用设备出现指标劣化、断电停机、模块故障、传输中断等异常情

况时，可以在无人干预的情况下快速切换至备用系统，确保广播信号连续稳定输出。比如某省级中波发射台主备发射机自动切换系统，采用 1 主 1 备全固态发射机冗余配置，实时监测主发射机功率、驻波比、输出电流、信号失真度等状态，一旦判定主设备故障，立即执行自动切换流程。通过对全年实际运行数据的统计发现：该平台共执行主备自动切换 17 次，手动切换 9 次，切换成功率保持 100%，未出现一次切换失败、信号中断或设备损坏情况<sup>[2]</sup>。

从上面列举的例子可以看出：主备冗余与自动切换系统，可以实时同步主备设备工作参数、节目信号、控制指令，使备用设备始终处于热备用状态。另外，该系统同时设置了多级权限闭锁与防误操作装置，防止自动切换与人工操作产生冲突，保障切换过程安全规范。在采用主备冗余自动切换技术后，发射台单设备故障影响时长将大幅缩短，停播时长明显减少，这就给中波发射台的安全稳定运行提供了坚实保障。

### 3.3 网络安全防护与系统抗干扰技术

当前，自动化平台接入设备数量不断增长，通信协议复杂化程度越来越高，以至于中波发射台面临的安全风险因素呈现出上升态势，这其中包括网络攻击、指令篡改、数据泄露、电磁干扰等。为此，需要构建一个能够保障系统安全运行的防御体系。首先，网络安全防护以边界隔离、访问控制、入侵检测、数据加密为核心，系统抗干扰以电磁屏蔽、接地防雷、滤波稳压、协议加固为重点，二者的协同作用，为复杂环境下自动化平台的安全运行提供了强大的技术支撑。

比如某地区在构建中波发射台自动化监控网络安全系统时，主要部署了工业防火墙、单向隔离网闸、入侵检测系统（IDS）与安全审计模块，对远程访问实行IP绑定、口令加密、操作留痕三重认证机制，同时对发射机控制指令采用AES-256加密传输。通过对平台运行的实测试验发现：该平台日均拦截非法访问请求300余次，未发生一次控制指令被篡改或数据被窃取事件。随着网络安全与抗干扰技术的日渐成熟，自动化平台需要定期开展固件更新、病毒查杀、漏洞检测与权限梳理，及时封堵安全短板。并通过科学完善的电磁环境监测机制，对机房内外部干扰源进行实时监测与定位，以快速消除干扰隐患，真正实现安全可控、稳定可靠的自动化运行目标<sup>[3]</sup>。

## 4 基于自动化平台的中波发射台运行安全保障技术应用成效

### 4.1 故障处置能力显著提升

自动化平台在运行，可以通过智能诊断技术对故障点进行快速精准定位，这就大幅缩短了故障排查与处理时间。比如某地区的中波发射台在部署自动化平台之前，单起故障平均排查时间约为6至10分钟，引入自动化平台后，系统可在1秒内完成异常识别、3秒内完成故障定位、15秒内推送处置方案，全年平均故障处置时间压缩至90秒以内。随着自动化技术的不断升级，自动化平台的功能模块也逐步拓展，通过历史数据查询、趋势曲线分析、运行报表自动生成等功能，可以辅助运维人员掌握设备性能衰减规律，科学制定检修计划，这就为故障发生率的降低创造了有利条件，故障处置能力显著提升。

### 4.2 连续运行稳定性大幅增强

自动化平台通过强大安全防护机制，使中波发射台运

行安全得到可靠保障，播出系统的连续运行稳定性显著增强。这主要得益于自动化对播出链路中的关键环节实施的实时监控与冗余备份，从信号源、发射机到天馈线系统均具备故障自动隔离与快速恢复能力，进而有效避免了因单点故障引发的停播、断频、失真等安全事故。比如某地区中波发射台在重点安全保障期内的运行数据显示：在为期30天的保障任务中，系统共自动执行设备状态检测14万余次，成功处置功率波动、温度异常、电压闪变等潜在风险16次，主备发射机自动切换3次，切换过程无断音、无失真、无听众可感知影响，切换成功率保持100%。这些数据充分表明，在应用自动化安全保障技术以后，中波发射台核心设备的平均无故障工作时间得到大幅延长，系统整体运行持续保持平稳状态<sup>[4]</sup>。

### 4.3 智能化水平全面提高

自动化平台的介入，使得台站管理从过去的经验驱动转变成为数据驱动模式，这一过程，有效避免人为干扰因素的影响，平台通过统一的数据接口、标准的运行流程、完善的权限管理与日志记录，实现了运维工作的全程可追溯、可监管，操作行为更加规范，人为风险的发生概率大幅降低。比如某地区中波发射台在应用自动化平台以后，能够完整记录各项运行参数与各类故障信息，并自动生成运维工单，该平台全年累计自动生成运行报表365份、故障分析报告24份、设备健康评估报告12份，与过去的人工操作模式相比，工作效率明显提升。与此同时，自动化平台同时具备远程监控、移动运维、跨台联动等功能，技术管理部门能够实时掌握全辖区发射台的运行状态，实现集中监管与统一调度。这种智能化的管理模式，不仅降低了台站的运行风险，也为中波广播事业的高质量发展奠定了稳固基础。

## 5 结语

当前，中波发射台的运行环境日趋复杂，安全播出标准不断提升，使得发射台对自动化技术的依赖度越来越高，在这一背景之下，各台站需要充分发挥数字技术的应用优势，持续深化大数据分析、数字孪生、边缘计算等新技术与自动化平台的融合应用，并通过对算法模型的优化、对防护机制的完善、对联动能力的持续拓展，努力提升中波发射台的抗风险与抗干扰能力，以扎实推进广播电视传输事业的稳步发展。

### 参考文献

- [1] 薛晓丹.中波发射台安全播出的运行保障措施探讨[J].西部广播电视,2021,42(07):224-226.
- [2] 何剑平.中波发射台智慧化监管系统的实践和完善分析[J].中国设备工程,2023,(09):45-47.
- [3] 孙宇信.态势感知系统中波发射台网络安全中的实际应用[J].广播电视信息,2022,29(09):99-101.
- [4] 刘尊道.中波广播发射设备的故障诊断与安全保障技术研究[J].电声技术,2025,49(10):135-137+165.

# Methods for 3D Environment Perception and Real-time Visualization for Autonomous Navigation of Unmanned Aerial Vehicles

Yi Wang Bowen Yang Min Zhong Guanyu Jia Xuan Wang\*

Sichuan Communication Research and Planning Design Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

## Abstract

Focusing on the characteristics of unmanned aerial vehicles such as low payload and high real-time requirements, this paper conducts research on building a 3D environment visual perception framework based on visual multi-object recognition and semantic cognition. By introducing an attention mechanism model with bird's-eye view perspective and a lightweight expression mechanism, the accurate representation of target spatial positions and dynamic changes in complex scenes is achieved. Through the construction of a hierarchical rendering and data compression mechanism, the real-time computing efficiency is further improved. The research results show that this method has good real-time performance and system scalability while ensuring accuracy, and can provide technical support for applications such as unmanned aerial vehicle inspection and disaster monitoring.

## Keywords

autonomous navigation of unmanned aerial vehicles; 3D environment perception; multi-modal fusion; BEV representation

## 面向无人机自主导航的三维环境感知与实时可视化方法

王焱 杨博文 钟敏 贾桃宇 王旋\*

四川通信科研规划设计有限责任公司, 中国 · 四川 成都 610000

## 摘要

围绕无人机低载荷、实时性要求高等特点, 本文围绕基于视觉多目标识别及语义认知构建三维环境视觉感知框架开展研究, 通过引入鸟瞰视角的注意力机制模型与轻量化表达机制, 实现复杂场景下目标空间位置与动态变化的准确表征。并通过构建分层渲染与数据压缩机制, 进一步提升实时运算效率。研究结果表明, 该方法在保证精度的同时具备良好的实时性能与系统可扩展性, 可为无人机巡检、灾害监测等应用提供技术支撑。

## 关键词

无人机自主导航; 三维环境感知; 多模态融合; BEV表示

## 1 引言

随着无人机技术在巡检、应急救援与环境监测等领域的广泛应用, 其自主导航能力逐渐成为研究重点。复杂环境中存在动态障碍物、多尺度结构以及光照变化等问题, 对环境感知提出了更高要求。传统二维视觉方法难以提供完整空间信息, 三维环境感知技术通过融合多源传感器数据, 将环境信息以空间结构形式表达, 为路径规划与避障提供可靠依据。在现有研究中, 双目视觉传感器具有一定的轻量化深度

估计能力, 但仅支持目标某个方向的环境感知, 全向环境感知能力有限。基于此, 本文围绕无人机应用场景, 构建三维环境感知与实时可视化一体化方法, 重点解决感知精度、计算效率与系统集成之间的平衡问题。

## 2 无人机三维视觉环境感知技术体系构建

已有的双目视觉深度估计通过两个摄像头的视觉差做景深估计, 并基于此将多个估计值进行拼接融合生成空间位置感知结果, 在融合处理单个感知源时因为单个数据源的误差累计导致整体空间感知误差放大。为此, 业界提出一种采用鸟瞰图表示与注意力机制相结合的联合空间感知处理技术架构, 将多个原始景深图生成伪云图, 按照空间映射形成全局鸟瞰伪像点云进行降采样与滤波处理, 从而减少数据规模并保持关键结构信息; 通过体素网格规则划分空间结构, 使数据适配三维卷积网络; 鸟瞰图则将生成的三维信息投影

【作者简介】王焱(1975-), 男, 中国四川成都人, 博士, 高级工程师, 从事信息与通信工程研究。

【通讯作者】王旋(1984-), 男, 中国四川成都人, 博士, 高级工程师, 从事无线通信与信息技术, 智能网络系统研究。

到二维平面,降低计算复杂度。在无人机应用场景中,为满足实时性要求,需要进一步对模型进行轻量化设计。通过减少用于特征提取的网络层数、采用稀疏卷积以及引入量化技术,可以在保证精度的同时降低注意力权值参数计算开销,使模型适配嵌入式平台运行。

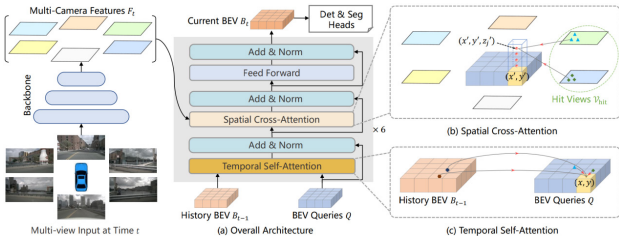


图 1. 基于 BEV 三维视觉空间决策技术架构

### 3 三维目标检测与动态环境建模方法

#### 3.1 三维目标检测模型设计

三维目标检测的关键在于从多源融合数据中准确恢复目标的空间几何属性,并以统一参数形式进行表达。通常以七维参数描述目标状态,包括三维位置坐标、长宽高以及朝向角度,使检测结果能够直接服务于空间决策与路径规划。在模型构建方面,深度学习方法已成为主流路径,通过构建端到端网络,实现特征提取与边界回归的统一优化,以提升对小目标与远距离目标的识别能力。同时,通过结合鸟瞰视角表达,可进一步强化空间结构信息,使模型在复杂环境中仍能保持较高的检测稳定性与精度。

#### 3.2 多模态融合检测策略

复杂环境下单一传感器难以全面获取有效信息,图像数据在纹理表达方面具有优势,而点云数据在空间几何描述方面更为精确,多模态融合因此成为提升检测性能的重要路径。在融合过程中,通过构建统一特征空间,实现不同模态信息的协同表达,使语义信息与空间信息形成互补关系。在无人机动态场景中,特征级融合更具适应性,可在不同环境条件下保持较高鲁棒性。进一步结合注意力机制与跨模态对齐方法,可增强关键区域信息权重,使系统在复杂背景中仍能准确识别目标,提升整体感知能力。

#### 3.3 动态目标跟踪与轨迹预测

无人机在实际运行过程中面临持续变化的动态环境,仅依赖单帧检测结果难以支撑稳定导航。通过引入多目标跟踪机制,可对目标进行时间维度上的连续建模,实现状态更新与身份保持。在跟踪过程中,通常结合检测结果与运动模型,对目标位置进行滤波估计,从而减少检测噪声带来的波动影响。同时,通过建立目标关联策略,实现不同帧之间的目标匹配,保证轨迹连续性。轨迹预测是在跟踪基础上的进一步扩展,通过分析历史运动数据,结合运动学模型或学习型预测方法,对目标未来位置进行估计。

## 4 实时三维可视化方法与系统实现

### 4.1 多层次可视化表达机制

三维环境数据具有体量大、结构复杂及语义层次多样等特征,单一展示方式难以全面反映环境信息。基于此,多层次可视化表达机制通过对数据进行结构化分解,将几何信息、语义信息与决策信息分别映射至不同层级,实现信息的有序呈现。在基础层,系统以点云或网格形式展示环境的空间结构,突出地形轮廓与障碍物分布,为整体认知提供几何基础。在语义层,通过融合目标检测与分类结果,对关键目标进行标注,使环境信息具备可理解性。在决策层,将路径规划结果、避障策略等信息叠加于空间结构之上,体现系统运行状态与决策逻辑。各层之间通过统一坐标系进行关联,既保证信息表达的一致性,又避免数据冗余。该机制能够在复杂场景中实现由“结构—语义—决策”的逐级递进表达,使系统输出更加清晰、直观,有助于提升人机交互效率与系统调试能力。

### 4.2 高效渲染与数据压缩策略

实时可视化对系统计算能力与数据处理效率提出了较高要求,在多视觉多目标联合处理场景下,处理过程易出现延迟与资源占用过高的问题。为此,需要从数据组织与计算流程两个方面进行优化。在数据层面,通过对空间结构进行分块处理与层次化管理,仅对注意力特征表达数据进行处理,实现对关键点提取与数据进行压缩,在保证主要结构特征不丢失的前提下降低数据规模,在无人机实时导航的应用中能够显著提升系统响应速度,使可视化过程在高频数据更新条件下仍保持稳定流畅。

### 4.3 BEV 可视化与空间决策支持

鸟瞰视角(BEV)在三维环境表达中具有结构简洁、信息集中等优势,能够有效降低空间理解难度。通过将三维点云数据投影至二维平面坐标系,可将复杂空间关系转化为平面分布形式,从而直观呈现目标位置、运动轨迹与环境结构。在该视角下,目标检测结果通常以边界框形式进行表达,并结合类别信息与置信度进行标注,使环境态势更加明确。同时,通过叠加路径规划结果与安全边界信息,可以构建面向决策的可视化界面,为无人机导航提供直观依据。在工程实践中,BEV可视化不仅用于实时监控,还可作为系统调试与性能评估的重要工具,通过对历史数据进行回放与分析,能够识别系统在复杂场景中的表现差异。相较于传统三维渲染方式,BEV表达在计算复杂度与信息表达效率之间取得较好平衡,为无人机自主导航系统提供了可靠的空间决策支持手段。

## 5 算法验证与性能优化

在无人机自主导航的实测过程中,采用了 NVIDIA Jetson Orin nano 作为无人机载三维环境感知计算平台,在

Ubuntu 操作系统及 TensorRT 优化后的 CUDA 系统环境下运行经文中方案改进后的 BEV 算法，采用 KTTI 上提供的标准 6 幅三维车载数据集进行训练，并对训练结果进行测试，测试结果表明 BEV 方案能够很好的适应无人机自主导航所需的轻量化视觉三维环境感知应用场景。

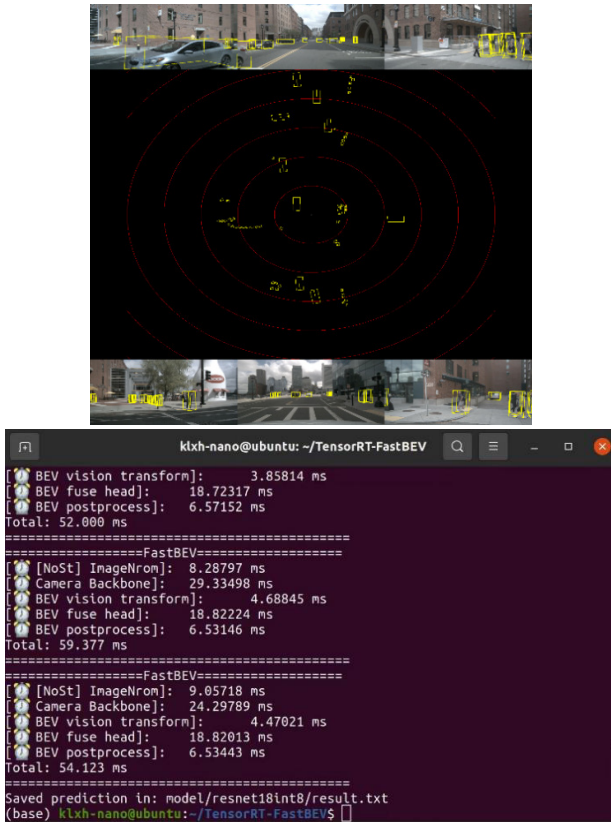


图 2. 基于 NVIDIA Jetson OrinNano 算力平台的性能测试

## 6 结语

围绕无人机自主导航需求，本文构建了三维环境感知与实时可视化一体化方法，从多源数据融合、目标检测、动态建模及可视化表达等方面进行了系统分析与设计。通过引入深度学习模型与 BEV 表达机制，实现了对复杂环境的高效感知与直观表达。在系统实现层面，通过嵌入式优化与模块化架构设计，提升了整体运行效率与可扩展性。未来研究可进一步结合 Transformer 结构与自监督学习方法，提升模型对复杂场景的适应能力，并探索更高效的数据融合策略，以实现更高精度与更强鲁棒性的无人机自主导航系统。

## 参考文献

- [1] 张政.无人机自主导航视觉SLAM和路径规划研究[D].西安理工大学,2025.
- [2] 杨轶.拒止环境下基于双目相机的无人机自主导航系统设计[D].南京理工大学,2023.
- [3] 肖斌.城市低空环境下的无人机三维环境感知与避障方法研究[D].东北大学,2017.
- [4] AgiBot World Colosseo: A Large-scale Manipulation Platform for Scalable and Intelligent Embodied Systems[J]. <https://arxiv.org/abs/2503.06669>
- [5] End-to-End Autonomous Driving: Challenges and Frontiers[J]. IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, Vol.46(12), 2024
- [6] BEVFormer: Learning Bird's-Eye-View Representation from Multi-Camera Images via Spatiotemporal Transformers[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol.47(3),2025.

# Research and Practice of a New Network Operation and Maintenance System Based on Digital and Intelligent Technology

Lipeng Wei Chaojun Xiang Junna Duan Miaona Ma Jing Cui

Henan Branch of China Unicom, Zhengzhou, Henan, 450000, China

## Abstract

With the rapid popularization of the Internet and the deepening of related applications, various services have been widely deployed, leading to higher demands for network reliability and stability. Traditional monitoring and operation methods can no longer meet current business needs. Therefore, there is an urgent need for a new network operation and maintenance system that can support network management systems in monitoring a larger number of devices with higher precision. Additionally, it should automatically push abnormal monitoring data and device alarms to maintenance personnel, achieving automatic detection of network quality degradation, automatic monitoring of network faults, and automatic deployment of network configurations.

## Keywords

TWAMP-light; telemetry; Integrated Control and Management; SDN; Unified Orchestration; SNMP; SNMP Trap

## 基于数智化的网络运维新体系研究与实践

魏利朋 项朝君 段俊娜 马淼娜 崔静

中国联通河南省分公司, 中国·河南 郑州 450000

## 摘要

随着网络的快速普及和相关应用的日益深入, 各种业务已广泛部署, 因此, 对网络的可靠性和稳定性提出了更高的要求。传统的监控方式和运维方式已不能满足目前的业务需求, 因此, 迫切需要一种新的网络运维体系, 支持网管系统监控更多的设备, 监控数据拥有更高精度, 并且, 监控的异常数据以及设备告警能自动推送到维护人员, 实现网络质量劣化自动发现、网络故障自动监控, 网络配置自动下发等。

## 关键词

TWAMP-light; telemetry; 管控一体; SDN; 统一编排; SNMP; SNMP Trap

## 1 引言

随着 5G、通信云化、城域网云化的建设, 中国联通数据网将向着协议、设备简化以及网络架构简化的目标发展。城域网未来将以简化的网络来实现 5G 承载、通信云、固网宽带以及大客户业务等多业务综合承载的目标, 构建一张融合承载的智能城域网。构建智能化、自动化、开放化的网络管控系统, 实现端到端业务的实时监控, 支撑网络智能化、运维精细化, 打造网络运维新体系, 是本文重点关注的内容。

## 2 方案概述

本方案基于智能城域网网络架构、技术架构、业务架构的演进方向, 应用数字孪生、大数据及 AI 等技术, 构建了故障管理体系、网络质量监控体系、管控一体体系、智能

化指标巡检体系, 实现了网络集约化、可视化、自动化、智能化能力, 支撑业务的自动部署、故障的智能化、网络质量的实时监控和网络指标自定义巡检, 提升了网络运维效率、网络稳定性与业务支撑敏捷性, 同时保障了网络运行安全性, 支撑智能城域网向完全自智网络的演进。

## 3 方案的实现

### 3.1 故障管理体系

本项目构建“平台+应用”新架构, 以故障中心为底座, 故障能力中心面向各项上层应用系统的需求, 提供统一化、标准化的故障基础服务能力; 智能监控和排障实现省内规模化应用并嵌入生产, 覆盖告警监控、故障诊断自愈和故障精准派单三大故障流程场景, 为一线监控和运维人员提供 7\*24 小时的故障能力服务。

#### 3.1.1 设备告警信息采集

本方案通过在设备上配置 SNMP TRAP 来实现告警信息的获取, 为了避免大量无用告警信息上传, 设置了 SNMP Trap 的接收规则, 过滤无用告警信息。同时为了保证数据

【作者简介】魏利朋 (1981—), 女, 中国河南洛阳人, 硕士, 高级工程师, 从事数据通信研究。

传输过程的安全性,和网管系统之间采用了加密方式,并设置设备环回地址作为发送 Trap 报文的源 IP 地址。

### 3.1.2 派单规则制定

设备告警采集之后,通过故障中心的告警标准化转化,转发到智能监控模块。在智能监控模块部署派单规则和接收人规则,匹配网络资源中的资源,即可实现设备告警自动形成工单。为了对智能城域网所有设备告警快速、高效处理,同时提高故障响应效率,从告警类型、设备类型、衍生规则三个维度实现告警自动派发工单。

从告警类型区分延时派单时间的制定,重要的硬件和环境类故障设置为立即派单,对于协议和链路故障告警,会因故障处理或者其他因素导致短时间中断,设置为延时派单。

为了减轻维护人员工作量,结合智能城域网维护职责划分,在智能监控系统中针对不同的告警标题配置了多条衍生告警规则,以实现多条告警可以压缩到一张工单中,减轻维护人员的工作量,提升运维响应效率。

故障管理体系围绕故障管理价值流,以故障中心为底座,面向运维管理人员、监控人员、运维人员和代维人员打造故障平台产品集,以体系化的产品覆盖整个故障管理流程,形成故障管理端到端可视可管能力。结合合理的故障工单考核机制,实现了网络故障闭环管理。

## 3.2 网络质量监控体系

面对大规模、高性能的网络监控需求,用户需要一种新的网络监控方式,telemetry 可以满足用户要求,监控数据拥有更高精度和更加实时,监控过程对设备自身功能和性能影响小,为网络问题的快速定位,网络质量优化调整提供了最重要的大数据基础,将网络质量分析转换为大数据分析,有力的支撑了云网络精细和智能运维的需要。通过 Telemetry 协议直接从底层硬件秒级获取丰富的业务运行状态及性能数据,全景可视化展示网络的整体运行情况;算力和网络资源的统一管控为云网络精细运维、敏捷响应及优化提供有力数据支撑,助力网络智能运维;数字化能力在生产流程中的嵌入,提升了工作效率。

### 3.2.1 telemetry 部署

网络质量监控体系采用基于 gRPC 的 Telemetry 技术,设备自动读取各种统计信息(CPU、内存、接口等),根据采集器的订阅要求将采集的信息通过 gRPC 协议上报给采集器,实现了比传统监控方式更加实时、高效的数据采集功能。链路质量检测采用 TWAMP-light 协议。

#### 3.2.1.1 链路质量检测方式

链路质量检测采用 TWAMP-light 协议,用于设备间电路质量(延迟、丢包、抖动)检测。TWAMP 与 ICMP 均可以对网络质量进行监控,和 ICMP 相比, TWAMP 具有如下优点:

提供了双向、往返的测量,且不强行要求时钟同步。此外,相比 ICMP Ping 的不足, TWAMP 在响应端盖上时间戳,该方法可以更准确地测量数据。

无需专用探针器和专有协议,更节约成本。随着网络规模的不断增大,如果使用专用的探针设备(如第三方的探测设备),则所需设备数量将不断增加。由于不用部署专门的探针设备, TWAMP 测量方法可以有效节约运营商成本。

TWAMP 可基于五元组进行测量,强大的逐点性能统计和故障定位功能。当发现测量点 1 和测量点 4 之间发生丢包时,逐跳测量,发现测量点 1 和测量点 2 之间无丢包,测量点 2 和测量点 3 之间无丢包,因此可以判断丢包发生在测量点 3 和测量点 4 之间。如图 1。



图 1 TWAMP 测量方法

#### 3.2.1.2 Twamp 检测参数

对互联中继端口进行链路质量检测,检测方式分单端检测、双端检测。本方案采用双端检测, A 端和 B 端均上报网络质量。

参数 1--test-session: 对应设备上每条链路质量检测的 ID,按照从 1 开始排序,每增加一条链路检测, test-session 增加 1。

参数 2--sender-port: 检测报文使用 UDP 报文,发送端(session-sender)发出的检测报文的源 UDP 端口号。

参数 3--reflector-port: 检测报文使用 UDP 报文,发送端(session-sender)发出的检测报文的目的地 UDP 端口号。

参数 4--period: 对每条链路检测双向时延、丢包、抖动的发送报文间隔,设置为 1 秒;

参数 5--测试报文大小: 测试 IP 数据包大小为 128 字节,报文填充内容无特殊要求;

参数 6--测试报文的源 IP 地址: 发送端(session-sender)发出的测试报文的源 IP 地址,使用被测试电路本端接口 IP 地址;

参数 7--测试报文的目的地 IP 地址: 发送端(session-sender)发出的测试报文的目的地 IP 地址,使用被测试电路对端接口 IP 地址;

#### 3.2.1.3 telemetry 订阅的实现

本方案采用 telemetry 静态订阅方式,设备作为 GRPC/UDP 客户端,根据采集订阅配置,周期自动上报数据。分析单元作为 GRPC/UDP 服务端,接收并处理设备上报的数据,同时提供历史性能的查询入口,方便查询历史性能数据。涉及的配置如下:

配置采集器

telemetry

destination-group jtnms

ipv4-address 192.\*\*.\*\*.44 port \*\*\* protocol grpc no-tls//

配置集团采集服务器地址，全省统一，不同厂家使用不同的端口号，上送目标采集器的协议使用 GRPC

配置采样数据源

Telemetry

sensor-group jtnms

sensor-path huawei-devm:devm/cpuInfos/cpuInfo

huawei-debug:debug/cpu-infos/cpu-info

.....// 创建采样传感器组，根据告警类型指定

不同的采样路径

创建订阅

Telemetry

subscription jtnms

sensor-group jtnms sample-interval 10000

destination-group jtnms// 关联采样传感器组，配置采样

周期 10000

Telemetry 采集到的链路质量数据同步到数字化运营系统，运用数字化技术手段的嵌入，以工单的形式推送到一线运维人员，变被动运维为主动运维，既满足了网络精细化管理的需求，同时也具备了对海量运维数据的秒级监控，实现面向业务质量及故障、故障隐患的感知能力，有效提升业务承载稳定性，降低客户投诉率，提升了中国联通业务品牌市场竞争力。

### 3.3 管控一体体系

网络业务开通工作复杂，涉及资源核查、物理资源分配、逻辑资源分配、物理施工、设备配置等众多环节，每个环节均需要人工干预、且经常由于资源核查不准导致返工，业务开通周期长，效率低，严重影响用户体验。

智能城域网网管系统作为统一编排门户并具备业务感知能力，后台与 SDN 控制器协同，实现智能城域网管控一体体系。该体系可以实现资源统一规划、4/5G 业务、专线等业务的自动配置下发，网络日常配置的统一编排，大幅缩短业务开通周期，提升运维效率，有效支撑智能城域网业务开展，大幅提升了网络自动化能力。

#### 3.3.1 资源统一规划

智能城域网网管系统提供了多种网络参数的统一规划能力，为自动化开通提供了强有力的支撑，具体有 RT/RD、VLAN 规划、设备及端口规划、SERVICE\_ID、tunnel\_id 规划等，为各种类型的业务开通提供了能力。

#### 3.3.2 业务自动开通

智能城域网网管系统支持 4G、5G、专线业务的自动下发。维护人员在充分了解 SDN 控制器下发数据样例后，导入提前规划好的“端口规划导入表”和“基站接入申请表”两个数据表格，可以实现基站数据的批量下发。在提前规划好 RD/RT、SERVICE\_ID、tunnel\_id 等资源后，可进行 SR-TE 专线、SRv6 专线业务的配置自动下发和配置预览，如图 11。

### 3.4 智能化指标巡检体系

传统网络设备巡检采用手工巡检或系统对固定项目进

行巡检的方式；性能类巡检项目由于采用人工设定阈值，容易误判；巡检异常结果需要手工发起工单处置，效率低，扩展性差；智能巡检功能使用 AI 算法智能生成性能类巡检项目阈值，准确发现网络运行性能隐患，并结合 AI 进行根因分析，同时与工单系统联动，自动发起异常巡检项处置工单，大幅提升巡检及巡检异常项目处置效率，消除网络运行隐患，提升网络运行稳定性。

图 2 展示了巡检指标管理的结构化视图。该界面采用了可视化面板设计，将各类巡检指标进行了分类展示。运维人员可以直观地通过图表查看设备运行状态、业务健康度及性能指标，并通过交互式筛选功能快速定位异常设备。此种结构化的管理方式不仅优化了数据展示效果，也提升了巡检工作的精准度。



图 2 巡检指标管理

智能化指标巡检体系的设计彻底革新了传统网络运维模式。本体系不仅降低了传统运维巡检过程的复杂性，简化了操作流程，还通过结构化的数据输出和自动化的分析功能，有效解决了传统巡检结果难以分析、难以关联的问题，极大地提升了运维效率与网络稳定性。

## 4 结语

联通智能城域网具备家宽、政企、大客户、通信云、移网等业务的综合承载能力，打破了传统“烟囱式”的网络架构及多业务多网络承载模式；智能城域网网络具备基于 SDN 的自动化和可编程能力，实现快速的业务开通和差异化的服务保障；将网络和业务能力分离，网络主要负责连接和承载，业务基于 SDN 和云化网元实现，灵活快速提供各种创新业务。本方案构建的智能运维新体系的运用，为智能城域网的业务承载提供了重要保障，随着随流检测技术的逐渐成熟，智能城域网将运用随流检测技术，实现单向丢包率、单向时延、单向抖动指标的逐段监控，实现业务质量劣化及时预警，业务质量劣化快速定位，有效提升业务承载质量。

### 参考文献

- [1] 王磊,李明 网络运维自动化关键技术与应用研究,《网络技术与应用》,2022年第15期
- [2] 陈晨、赵磊,基于机器学习的网络异常检测与自动告警技术研究,《计算机科学与探索》,2023年第11卷第2期
- [3] 胡伟、孙浩,大规模网络管理系统架构设计与优化,《通信技术》,2021年第10期
- [4] 马红、周亮,IT 运维管理 (ITSM) 在网络运维中的应用研究,《现代信息科技》,2023年第6期

# Application of Big Data Technology in Hospital Diagnosis and Treatment Data Management

Yang Yang

Heji Hospital Affiliated to Changzhi Medical College, Changzhi, Shanxi, 046000, China

## Abstract

The healthcare industry has entered a data-driven development phase, with diagnostic and treatment data exhibiting characteristics of large scale, diverse types, rapid growth, and high value density. Big data technology, leveraging capabilities such as massive data processing, multimodal integration, deep mining analysis, and intelligent early warning decision-making, provides innovative solutions for the full lifecycle management of diagnostic and treatment data, demonstrating significant value in multiple aspects. This paper explores the application of big data technology in hospital diagnostic and treatment data management, systematically elucidates its practical value, outlines mainstream technology types and applicable scenarios, and proposes five key application strategies: data governance, clinical assistance, risk control, resource optimization, and research empowerment. These efforts aim to transform diagnostic and treatment data into a core element for enhancing medical service quality, safeguarding public health, and driving high-quality industry development.

## Keywords

Big data technology; Diagnostic and treatment data; Data management; Smart hospital; Clinical decision-making

## 大数据技术在医院诊疗数据管理中的应用

杨洋

长治医学院附属和济医院, 中国·山西 长治 046000

## 摘要

医疗行业进入数据驱动发展阶段, 诊疗数据呈现出规模大、类型多、增长快、价值密的特点。大数据技术凭借海量数据处理、多模态融合、深度挖掘分析、智能预警决策等能力, 为诊疗数据全生命周期管理提供了全新解决方案, 在许多方面展现出显著价值。本文围绕大数据技术在医院诊疗数据管理中的应用展开探讨, 系统阐述应用价值, 梳理主流技术类型与适用场景, 提出数据治理、临床辅助、安全风险、资源优化、科研赋能五大应用策略, 让诊疗数据真正成为提升医疗服务水平、保障群众健康、推动行业高质量发展的核心要素。

## 关键词

大数据技术; 诊疗数据; 数据管理; 智慧医院; 临床决策

## 1 引言

诊疗数据是医院运行的核心资产, 也是医疗服务的重要依据。电子病历、检验检查、医学影像、手术麻醉、用药记录、生命体征等信息, 共同构成了覆盖诊断、治疗、护理、康复、随访全流程的诊疗数据体系。随着信息化建设不断深入, 医院数据量呈指数级增长, 数据类型从结构化扩展到文本、影像、音频等非结构化, 传统集中式存储与人工处理方式面临效率低、整合难、挖掘浅、风险高、共享弱等多重困境。大数据技术的成熟与普及, 为破解这些难题提供了可行路径。通过数据采集、存储、清洗、分析、挖掘、可视化与安全管控, 诊疗数据得以有序整合、高效流转、深度利用,

既能辅助临床精准决策, 也能支撑医院精细化管理, 更能推动医学研究与公共卫生服务升级<sup>[1]</sup>。

## 2 大数据技术在医院诊疗数据管理中的应用价值

### 2.1 提升诊疗质量与安全水平

诊疗数据的全面整合与智能分析, 能够为临床提供更完整、更准确的患者信息, 减少信息不对称带来的漏诊、误诊与重复检查。大数据系统可实时整合病史、过敏史、检验结果、影像报告、用药记录等信息, 形成统一患者视图, 辅助医生快速把握病情。智能审方、异常指标预警、并发症风险预测等功能, 可提前识别用药冲突、检验危急值、手术高风险等隐患, 将医疗干预由事后转向事前、事中, 显著降低不良事件发生率, 守护患者生命安全<sup>[2]</sup>。

【作者简介】杨洋(1991—), 中国山西长治人, 本科, 助理工程师, 从事医疗大数据治理与应用研究。

### 2.2 优化医疗服务流程与效率

传统诊疗流程存在环节多、耗时长、信息孤岛等问题，患者排队久、检查繁、等待长，医护人员重复录入、跨系统查询工作量大。大数据技术打通门诊、住院、检验、检查、药房、收费等系统壁垒，实现数据自动流转、智能调度与流程优化。智能预约、分时就诊、检查自动排程、报告主动推送、床位智能分配等应用，可大幅缩短无效等待时间，提升就诊流畅度。数据驱动的流程再造让诊疗环节更顺畅、资源利用更充分，整体服务效率明显提升，医患双方负担均有效减轻<sup>[3]</sup>。

## 3 诊疗数据管理中主流大数据技术类型分析

### 3.1 多源数据采集与集成技术

医院诊疗数据分散在 HIS、LIS、PACS、EMR、手术麻醉、心电、监护等多个系统中，格式不一、标准不同。多源数据采集与集成技术通过 ETL 工具（如图 1）、接口适配、消息中间件等，实现结构化、半结构化、非结构化数据统一抽取、转换与加载，支持实时与批量采集，确保数据及时、完整、准确汇聚。该技术是数据管理的基础，解决数据分散、孤岛问题，为后续处理提供统一数据源。

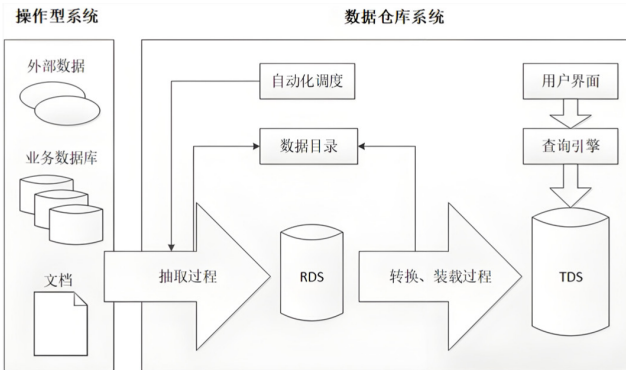


图 1 ETL 工具应用过程示意图

### 3.2 分布式存储与计算技术

诊疗数据体量巨大、增长迅速，传统数据库难以支撑存储与查询压力。分布式存储采用横向扩展架构，支持海量数据安全存储，保障高可用与高容错。分布式计算框架依托并行处理能力，快速完成大规模数据统计、分析与挖掘，满足秒级查询与实时计算需求。该技术解决数据“存不下、算不动”问题，为大数据应用提供底层支撑<sup>[4]</sup>。

### 3.3 数据治理与标准化技术

原始诊疗数据存在缺失、重复、错误、不一致等问题，直接影响应用效果。数据治理与标准化技术包括数据清洗、转换、脱敏、归一、编码统一等环节，按照国际与行业标准对诊断、手术、药品、耗材等进行规范映射，提升数据质量。通过元数据管理、数据血缘追踪、质量监控与异常告警，形成持续优化机制，确保数据真实、可靠、可用、可信。

## 4 大数据技术在诊疗数据管理中的应用策略与实践案例

### 4.1 全流程数据治理策略——夯实数据管理底座

全流程数据治理策略以“标准统一、质量可靠、安全可控、可管可用”为目标，覆盖诊疗数据从采集、存储、清洗、标准化、更新到运维的全生命周期（如图 2）。通过建立数据标准、质量规则、安全规范与责任体系，解决数据散乱、错误、不一致、不规范等问题，提升数据完整性、准确性、一致性、时效性与可用性<sup>[5]</sup>。

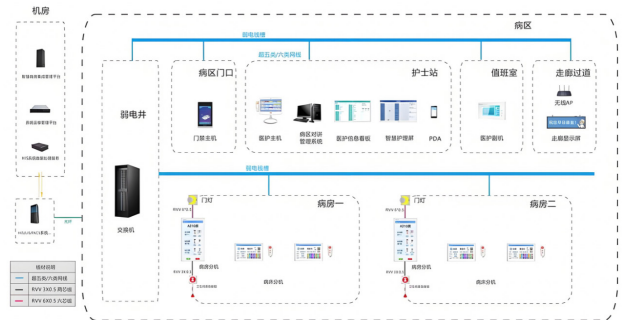


图 2 全流程数据治理平台实施过程

例如，医院上线大数据诊疗数据治理平台，覆盖门诊、住院、检验、检查、手术、药品、耗材全流程数据。平台对接院内 23 个业务系统，每日采集数据超 3 亿条，通过统一标准实现数据规范化治理。针对电子病历文本不规范、诊断编码混乱、检验结果缺失、重复录入等问题，系统自动执行清洗规则，补齐缺失字段、修正错误逻辑、合并重复记录、统一 ICD 编码与手术操作编码，数据完整率从 78% 提升至 96%，一致率达 99% 以上。平台建立数据质量监控看板，实时显示异常数据类型、数量、来源科室与责任人，自动推送整改提醒，形成问题发现—整改—复核—闭环机制。针对隐私数据，自动进行脱敏处理，对姓名、证件号、手机号等信息加密或屏蔽，严格按权限开放访问，全程留痕审计。

### 4.2 临床智能辅助策略——提升精准诊疗能力

临床智能辅助策略以患者为中心，整合多维度诊疗数据，运用大数据分析 with AI 算法，为诊断、治疗、用药、护理、康复提供实时、个性化支持。通过构建患者统一视图、疾病风险预测、诊疗方案推荐、智能审方、异常预警等功能，将数据优势转化为临床能力优势，减轻医护负担、减少人为疏漏、优化决策质量，推动经验诊疗走向精准诊疗。

例如，医院上线大数据临床辅助决策系统，嵌入门诊与住院诊疗流程。系统实时整合患者基本信息、病史、过敏史、检验检查、影像报告、用药记录、随访结果等全维度数据，形成完整个人视图。医生开具处方时，系统自动进行用药审核，对剂量异常、过敏禁忌、配伍冲突、重复用药等实时预警，拦截不合理用药。针对慢性病患者，系统基于历史数据生成

风险评估,提示并发症概率与筛查建议。在住院病区,系统对检验检查危急值自动预警,直达责任医生与护士,缩短响应时间。对手术患者,术前自动评估麻醉风险、出血风险、感染风险,生成个性化预案;术中实时采集生命体征数据,动态预警异常波动;术后跟踪康复指标,预测并发症并提前干预。

#### 4.3 医疗安全风险策略——筑牢质量安全防线

医疗安全风险策略以“早发现、早预警、早干预、早改进”为目标,利用大数据实时监控诊疗全流程风险点,包括诊疗行为、用药安全、院感防控、手术安全、耗材使用、费用合规等。通过构建风险模型、设置预警阈值、自动识别异常、推送干预提醒、跟踪整改效果,形成主动式安全管理闭环,将风险控制在萌芽状态。

例如,医院构建大数据医疗安全风险平台,覆盖16个风险模块。平台实时采集诊疗行为数据,自动识别过度检查、不合理用药、违规耗材使用等行为并预警。院感模块实时监测住院患者感染相关指标,对高危科室、高危病例实时提醒,协助快速排查与处置。手术安全模块对术前评估不全、术中生命体征异常、术后感染风险升高等自动预警,降低手术不良事件。平台对高警示药品、抗菌药物使用全程监控,未按规范使用自动拦截并提示依据。针对重点人群与重点疾病,系统动态评估风险等级,分级干预。风控平台还具备质量分析功能,定期生成安全报表,定位薄弱环节,推动持续改进。

#### 4.4 资源智能优化策略——提升医院运营效能

资源智能优化策略以“供需平衡、高效利用、降低浪费、提升效益”为目标,运用大数据分析门诊、住院、手术、设备、药品、耗材、人力等资源运行数据,结合历史规律与未来预测,实现智能调度与动态配置。通过智能预约、床位分配、手术排程、设备调度、库存预警、人力排班等功能,缓解资源紧张、减少闲置浪费、缩短患者等待、提升运行效率。

例如,医院上线大数据资源优化运营平台,构建全院运营驾驶舱。门诊模块基于历史流量与季节趋势,智能分配号源、分流时段、调整诊室开放,缩短候诊时间。住院模块自动评估床位使用率、周转率与病情等级,推荐最优分配方案,减少空床与等待。手术模块综合手术类型、时长、医生、设备、恢复室占用等因素,智能排程与冲突检测,提升手术室利用率。设备模块实时监控CT、MRI等使用率,智能预约与错峰安排,减少患者等待。药品与耗材模块实时监控消耗,设置安全库存,自动预警与补货,降低缺货与积压。人力模块基于工作量智能推荐医护排班,均衡负荷、保障休息。平台多端同步展示关键指标,异常自动预警。运行后,患者检查等待时间明显缩短,手术室利用率提升,床位周转加快,

药品耗材浪费减少,人力成本优化。

#### 4.5 科研数据赋能策略——加速医学研究创新

科研数据赋能策略以“高效提取、规范管理、安全共享、支撑研究”为目标,依托大数据平台构建专病数据库,实现病例快速筛选、数据自动提取、随访信息整合、研究项目管理与多中心协同。通过标准化、结构化、去标识化处理,在保护隐私前提下为临床研究提供高质量数据,降低科研人员数据收集整理负担。

例如,医院建设大数据科研专病库平台,覆盖心血管、肿瘤、神经、呼吸等重点专科。平台对接全院诊疗数据,按研究方案自动提取病例信息,构建标准化数据库。以心血管疾病为例,研究人员设定纳入排除条件,系统几分钟内完成筛选,自动生成基线特征、治疗方案、疗效指标、随访结果数据表。平台支持自定义变量、统计分析与可视化展示,方便直接用于论文与报告。通过隐私计算技术,实现与多家医院数据联合建模,扩大样本量、提升结论代表性。系统对研究项目全流程管理,数据使用留痕、合规可控。平台助力多项课题快速完成,多篇论文发表于高水平期刊,多项成果应用于临床路径优化与指南制定。科研人员从繁重数据工作中解放,专注研究设计与分析。科研赋能策略让数据成为研究核心生产力,推动临床与科研良性循环,为医院高质量发展注入持久动力。

### 5 结语

在医疗高质量发展与数字化转型背景下,医院应持续推进大数据技术深度应用,完善数据治理体系、强化安全合规、深化场景创新、推动数据要素价值释放。让诊疗数据真正服务于精准诊疗、高效管理、科学研究与群众健康,让技术更有温度、医疗更有品质、管理更有智慧。未来,随着技术不断进步与应用持续深化,大数据将在推动医疗模式变革、提升全民健康水平、助力健康中国建设中发挥更加重要而深远的作用。

#### 参考文献

- [1] 刘静. 医院统计工作中大数据技术应用效能分析[J]. 活力, 2026, 43(02): 109-111.
- [2] 王梓云. 基于大数据技术的医院人事管理创新[J]. 人力资源, 2025, (12): 143-145.
- [3] 蒋京员. 大数据技术支持下的医院运营管理创新策略研究[J]. 中国管理信息化, 2025, 28(03): 156-158.
- [4] 郭亮. 基于大数据的智能辅助诊疗管理系统设计[J]. 电脑编程技巧与维护, 2022, (02): 84-85+143.
- [5] 李锐. 大数据时代基于安徽省分级诊疗信息系统的探究[J]. 信息与电脑(理论版), 2018, (18): 122-123.

# Application of New Communication Technology in Fire Fighting Command Decision-making under Extreme Conditions

Ronghui Yan

Emergency Communication and Vehicle Service Brigade, Hainan Fire and Rescue Corps, Haikou, Hainan, 571100, China

## Abstract

Addressing extreme firefighting scenarios involving base station failures, terrain obstructions, and intense interference, this study proposes a command communication system integrating airborne-ground Mesh access, portable satellite backhaul, and edge computing. Methodologically, a comprehensive platform constructed within combustion chambers, smoke corridors, and shielded darkrooms replicates forest terrain undulations and high-rise building response protocols. Key metrics including coverage, connectivity, and service capacity are collected to validate dual-path adaptive switching between public networks and satellite communications. Results demonstrate: end-to-end video transmission latency within buildings remains below 500ms via single-channel links, satellite backhaul latency stays under 2 seconds, and command transmission success rate reaches 98%. Comparative analysis shows response time reduced from 15 minutes to 3 minutes, resource allocation accuracy improved from 70% to 92%, and rescue time shortened by 25%. The system maintains continuous command linkages during public network failures, significantly enhances decision-making efficiency, and provides reliable communication infrastructure for cross-regional coordination.

## Keywords

Mesh ad hoc network; satellite communication; edge computing; firefighting under extreme conditions; command and dispatch efficiency

## 新型通信技术在极端条件灭火指挥决策中的应用

严荣辉

海南消防救援总队应急通信和车辆勤务大队, 中国·海南海口 571100

## 摘要

面向基站失效、地形遮蔽与强干扰交织的极端灭火场景, 提出由空地一体Mesh接入、便携式卫星回传与边缘计算组成的指挥通信体系。方法上, 在燃烧舱、烟雾走廊与屏蔽暗室构建的综合平台内, 复现林带起伏与高层建筑处置脚本, 采集覆盖、连通与业务承载等指标, 并验证公网与卫星双路径自适应切换。结果表明: 楼内单路视频端到端时延不超过500 ms, 卫星回传端到端时延控制在2 s以内, 指令传输成功率达到98%; 在统一口径对比中, 指令响应时间由15 min压缩至3 min, 资源调度准确率由70%提升至92%, 救援时间缩短比例达25%。结论认为, 该体系可在公网瘫痪条件下保持连续可用的指挥链路, 显著提升决策效率, 并为跨区域协同提供可靠通信底座。

## 关键词

Mesh自组网; 卫星通信; 边缘计算; 极端条件灭火; 指挥调度效率

## 1 引言

极端条件下的灭火行动常伴随地形遮蔽、设施损毁与强电磁噪声, 传统公网与常规对讲机在覆盖、抗扰与带宽上暴露短板: 林区有效覆盖长期约 30%, 震后基站退服与同频拥塞使中断率逼近 45%。面对需要稳定承载语音、视频与多传感的指挥闭环, 通信体系必须具备自组网、抗毁性、低时延与多模态承载能力。本研究以空地一体 Mesh 为现场接入域, 以便携式卫星回传为跨域骨干, 叠加边缘计算与 QoS 控制, 并辅以身份鉴权与加密, 形成一个在基站失效与

拥塞条件下仍可持续运行的指挥通信方案<sup>[1]</sup>。研究意义在于用可落地的系统工程把前线作战单元联成一体, 缩短指挥链路, 提升资源配置的准确性, 为跨区域协同与常态化演训提供可复用技术底座。

## 2 极端条件灭火指挥通信的现状与需求分析

### 2.1 极端条件下灭火指挥通信的现存问题

在极端灭火场景中, 传统公网蜂窝与常规对讲机暴露出覆盖、抗干扰以及带宽三类共性短板。鉴于森林火灾地形起伏与植被遮蔽, 山区公网有效覆盖常年维持在约 30%, 高层建筑核心筒与地下空间同样形成深度盲区; 地震次生火灾叠加基站退服与强电磁噪声, 进一步放大链路脆弱性, 现场统计显示电磁干扰触发的通信中断率接近 45%。需重点

【作者简介】严荣辉(1986—), 男, 中国福建漳州人, 本科, 中级, 从事通信技术应用研究。

关注的是，视频侦察与多传感信息上报对上行带宽与时延稳定提出更高要求，而公网在拥塞条件下难以持续承载实时视频，对讲机受限于 12.5 kHz 窄带仅能进行语音与极低速数传。以 2022 年四川省西部林区一场森林火灾为例，公网瘫

痪造成前线与指挥中心失联约 2 h，战术指令与物资调度出现滞后，直接把处置时机拖入被动窗口。综合上述脆弱环节，见表 1 对关键性能缺陷进行归纳，用以指向后续技术适配需求的边界条件<sup>[2]</sup>。

表 1 极端条件下传统通信方式的性能缺陷对比表

性能维度	公网蜂窝通信	常规对讲机
覆盖能力	山区森林火灾覆盖率约 30%，高层建筑核心筒与地下空间盲区显著，震后基站退服比例可达 40%	近距直视条件可覆盖，越岭遮挡与楼层隔断显著，跨楼层与跨山谷覆盖不连续
抗干扰能力	强电磁噪声与同频拥塞下中断率约 45%，邻区切换频繁导致链路抖动	对同频互扰较敏感，强噪声环境下语音可理解度下降至约 70%
数据带宽	灾时上行可用速率小于 1 Mbps，难以稳定传输实时视频与多路传感数据	信道带宽 12.5 kHz，仅支持语音与极低速数传，不具备视频承载能力
时延稳定性	拥塞条件端到端时延大于 1 s，抖动明显导致控制指令到达时间不确定	语音路径时延约 100–200 ms，稳定性较好但不支持大包数据
组网与弹性	依赖地面基站与回传链路，缺乏自组网能力，单点故障易引发大片盲区	点对点或单中继组网，跨区域需要多级中继，链路一处损毁即产生网络分裂
能源与保障	基站市电依赖强，油机接入与维护复杂，恢复周期长	终端续航相对充足，但中继与临时转发站需要持续供电与现场维护
典型失效模式	基站退服与信道拥塞叠加导致接入失败率升高与业务抢占失灵	中继损毁或遮挡导致语音覆盖碎片化与通信窗口不稳定

## 2.2 新型通信技术的适配需求与应用潜力

面向极端条件灭火指挥，通信体系需在基站失效、地形遮蔽与多源干扰并存的情境下仍能把作战单元联成一体。结合指挥链路的连续性要求，关键能力落在自组网能力、抗毁性、低时延以及多模态数据传输与计算卸载四个方面。自组网指节点可自动发现邻居并进行多跳路由重构，抗毁性指在节点损毁和链路衰落时维持网络拓扑稳定，低时延指挥闭环需要把语音指令与传感遥测快速送达，多模态传输与计算卸载要求把视频、环境参数和位置信息同步上传并在近端完成压缩与筛选。围绕上述需求，Mesh 自组网选用分布式拓扑与链路质量驱动的动态选路，把无人机、车载平台与手持终端组织为多跳通道，得以覆盖无基站区域并容纳节点移动；卫星通信把前线汇聚节点与省级或国家级指挥中心连成远距通道，弥补超长链路和跨区域调度；边缘计算把视频编码、事件检测与业务优先级划分前移到现场网关，凭借本地处理降低回传负荷并提升关键业务的可达性<sup>[3]</sup>。

## 3 新型通信技术在灭火指挥决策中的关键应用场景与实现方法

### 3.1 基于 Mesh 自组网的现场多节点通信协同机制

鉴于极端火场中基础设施易受损且电磁环境复杂，Mesh 自组网把接入与转发职能分散到每个节点。网络采取分布式拓扑，节点在发现邻居后依据链路质量与跳数等度量开展自动路由选择，并在链路衰退时进行旁路切换，把单点失效的影响降低。面向灭火场景，可把节点按空地一体进行配置。

围绕数据交互机制，本研究把位置、视频与环境监测

划入分级业务队列，节点依靠链路状态信息传播与更新路由度量，边缘侧在拥塞时触发速率自适应与队列整形，把高优先级业务优先送上低时延路径；汇聚节点开展时间同步、身份认证与端到端加密，指挥端再把调度指令定向下发至指定小组。

### 3.2 融合卫星通信的跨区域指挥指令传输方案

在山地森林火灾、城市高层外墙火势扩散以及地震后大范围停电断网的情境中，地面蜂窝与地面中继常被地形遮挡或设施损毁所影响，指挥链路出现空窗。卫星通信作为独立于地面基础设施的广域链路，能够把地面覆盖盲区补齐，尤其在跨行政区域调度与长距离回传上发挥门到门连接作用。考虑卫星链路受限于回波时延与带宽，方案把控制指令与态势数据进行分层承载，采用低地轨道 LEO 作为主干承载以压缩时延，地球同步轨道 GEO 作为冗余备份来维持连续性，并对窄带上行配置强纠错与自适应编码以提高抗干扰能力<sup>[4]</sup>。

### 3.3 AI 辅助的通信数据实时分析与决策支持模块

面向高温与结构遮挡叠加的通信场景，AI 辅助模块部署在边缘计算节点与指挥端之间，承担把链路数据转化为可用情报的工作。模块把汇聚的多路流量按任务语义进行筛选与重组，借助时序去噪、重复包消解和丢帧补全，压缩无效负载，并把关键事件流以小时延推送至指挥席。

从数据来源来看，模块依靠现场 Mesh 回传的环境量测、人员位置以及器材状态来构建统一视图。环境量测包含温度与一氧化碳浓度，位置由室内 UWB 与惯导进行融合估计，器材状态覆盖呼吸器瓶压与终端电量。异常感知采用阈值加时序模式联合策略，对温升突变、位置异常聚集和设备离线

触发预警，并把处置动作输出为调度建议。

调度建议以任务优先级排序来驱动资源分配，核心采用如下乘性模型。

$$P=S \times V \times R$$

其中， $P$  表示任务优先级，为无量纲分值； $S$  为人员安全系数，依据热暴露时长与撤离路径通畅度归一化，为无量纲； $V$  表示火势蔓延速度，依据温度梯度与烟羽扩展估计，单位为  $m/s$ ； $R$  为资源可用度，依据水源余量与可调动班组数量归一化，为无量纲。

结合某高层建筑火灾的处置实践，模块在 Mesh 网络回传的温度栅格与消防员轨迹之上识别出楼梯间热斑快速上移的时序模式，并把风险等级上调。指挥席据此把内攻小组改走东西向连廊路径，同时把备用水带与正压风机的投放优先级上调，使 2 名内攻人员的风险暴露时间得到缩短。

## 4 新型通信技术的应用的效果验证与未来展望

### 4.1 基于模拟极端场景的通信性能测试与案例分析

鉴于极端火场叠加热辐射、浓烟遮挡与电磁噪声，本研究在四川省消防救援总队综合训练基地搭建燃烧舱、烟雾走廊与屏蔽暗室联动的试验平台，把 Mesh 接入域与卫星回传域纳入统一测评。热环境由明火与远红外阵列形成温度梯度，烟场由甘油型烟机维持目标能见距，干扰环境采用扫频与脉冲源对 400 MHz、2.4 GHz 与 5.8 GHz 注入。流程按覆盖探测、链路质量采集与业务承载压测串联推进，覆盖探测生成连通栅格，链路采集记录接收功率、链路开销与路由收敛时间，业务压测配置语音、高清视频与多传感上报的混合负载并标注时延与丢包；切换评估在公网可用与不可用条件下触发地面与卫星双路径选择，观察接入域至回传域的路径决策。

### 4.2 灭火指挥决策效率提升的量化评估

鉴于极端条件灭火指挥对连续链路与快反闭环的依赖，本研究把决策效率评估建立为三维指标体系，覆盖指令响应时间、资源调度准确率、救援时间缩短比例，并把统计口径锚定到同一作战时间线。指令响应时间定义为指挥端发出口令至前线确认的总时长，资源调度准确率依据任务载荷与装备能力匹配矩阵进行判定，救援时间缩短比例以控制关键风险节点所需时长的相对缩减进行计算，从而把通信能力对指挥闭环的影响用可测量的方式表达出来，便于在战术编成与网络配置之间开展双向校准与调整工作<sup>[5]</sup>。

### 4.3 技术优化方向与推广应用前景

鉴于极端火场的能量与电磁双重压力，现有现场 Mesh 暴露续航短与拓扑稳定边界偏紧的问题。穿戴终端与背负台承担多跳转发和视频上行时功耗攀升，无人机中继在高温乱流中耐时下降，热辐射把电池与射频前端推入效率低谷。卫

星通信虽可补齐盲区，但终端价格、天线指向精度以及带宽费用抬高中小队的部署门槛，野外供电与负载重量还限制布设密度，多制式融合带来的路由振荡与 QoS 映射差异进一步加重控制面负担。

表 2 灭火指挥决策效率对比表

指标	传统通信	新型通信	数据来源与说明
指令响应时间	15 min	3 min	案例 1 现场记录与案例 2 复现场景时间戳对齐标定
资源调度准确率	70%	92%	指挥台派单与回执对比，按任务载荷—装备能力匹配矩阵进行判定
救援时间缩短比例	0%	25%	以完成楼梯间控烟与林带隔离带成形所需时长为基准的相对缩减计算口径

面向上述短板，优化路径把低功耗节点与可负担卫星接入当作主线。硬件侧选用高集成 SoC 与功放自适应，叠加射频休眠唤醒和占空比调度，把续航时间拉长；空中中继配置高效散热与快换电池，并在车载平台设置直流补给点。边缘侧把语义编码与事件级视频摘要前移，结合链路质量驱动的连接控制，压缩无效上行。卫星端推进平板小型化天线与多星座双模终端，配合可编程波形、差异化队列以及硬件加密加速与轻量身份认证，把成本与可靠性在可接受区间内进行权衡，并把统一运维平台纳入观测与策略下发。

## 5 结语

研究表明，空地一体 Mesh 与卫星回传的融合架构在热、烟与强干扰条件下可保持指挥链路连续，配合边缘侧语义压缩、QoS 与 AI 事件识别，实现关键业务优先到达与决策闭环收敛。与传统体系相比，响应更快、调度更准、救援效率明显提升。当前瓶颈在续航、拓扑稳定与卫星接入成本。后续将沿低功耗节点、空中中继热管理与快换、事件级视频摘要、小型化多星座终端与统一运维平台推进迭代，并拓展至地震次生火灾与海上平台等场景。

### 参考文献

- [1] 潘晓军,杨倩兰,李佳栋.可级联转发的灾害应急指挥系统研究[J].广播电视信息,2025,32(10):97-99.
- [2] 安相君.基于Mesh的消防应急通信基站设计与性能评估[J].科技创新与生产力,2025,46(07):104-106.
- [3] 陈启伟.应急广播在偏远地区的覆盖与传播策略研究[J].中国宽带,2025,21(04):86-88.
- [4] 焦立彬,王明,马文学,王建超.基于IMS的智能多媒体通信技术研究[J].无线电通信技术,
- [5] 国家安全生产应急救援队伍应急通信技能提升实训班成功举办[J].中国安全生产科学技术,2025,21(11):158.

# Analysis of Working Mode of Infrared Communication in Event of Embedded Technology and Application Development

Zhenpeng Liu

Jinan Engineering Vocational Technical College, Jinan, Shandong, 250200, China

## Abstract

Infrared communication is a wireless communication technology that relies on infrared rays for data transmission, enabling communication through a pair of infrared transmitting and receiving devices. This paper first provides a detailed introduction to the functional characteristics and working modes of infrared communication technology, with emphasis on the decisive factor in the infrared communication process—encoding. It then describes the composition of infrared communication equipment in the embedded technology application development competition and the way in which the equipment achieves communication functions. Finally, by incorporating the intelligent street light marker used in the embedded competition, the paper further illustrates the implementation method and specific control effects of infrared communication within the competition context.

## Keywords

Infrared communication; Coding modulation; control circuit

# 红外通信在嵌入式技术应用开发赛项中的工作方式分析

刘振鹏

济南工程职业技术学院机电工程学院, 中国·山东 济南 250200

## 摘要

红外通信是一种依靠红外线进行数据传输的无线通信技术,由一对红外发送装置和接收装置实现通信功能。本文首先详细介绍了红外通信的功能特点和工作模式,在此过程中着重强调了红外通信过程中的决定性因素——编码工作。然后描述了在嵌入式技术应用开发赛项中红外通信设备的组成以及该设备实现通信功能的方式。最后结合嵌入式赛项中的智能路灯标志物进一步说明了红外通信在赛项中的实现方式以及具体控制效果。

## 关键词

红外通信; 编码调制; 控制电路

## 1 引言

红外通信是一种无线数据传输技术,顾名思义就是通过红外线传输数据。这种通信技术使用一种点对点的数据传输协议,是之前传统设备之间连线的代换。

红外通信设备由一对红外发射装置和接收装置组成。红外发射装置通常采用红外发射管。红外发射管是由红外发光二极管组成的发光体,其内部具备一个由红外辐射效率高的材料(常用砷化镓)制成的PN结,当PN结处于正向偏压状态时将被注入电流从而激发红外光。红外接收装置通常采用光敏接收管、红外接收管、红外线接收头等设备。这三种设备在结构上比较相似,都具备一个具有光敏特征的PN结,本质上都属于光敏二极管。在嵌入式技术应用开发赛项(以下简称嵌入式赛项)中采用的红外通信设备是红外

发射管和红外接收管,简称红外对管。

## 2 红外通信工作原理

红外通信必须同时具备发送和接收两部分设备。发送端负责将待发送的二进制信号通过编码调制得到一系列频率为38KHz的间断脉冲串信号并交由红外发射管进行发射。编码工作由红外发送控制电路的核心

芯片来完成;编码之后的二进制信号与频率为38KHz的脉冲信号相与即可得到频率为38KHz的间断脉冲串信号。接收端对接收到的脉冲串信号进行接收、放大、检波、整形等一系列解调操作从而得到能够被红外接收控制电路核心芯片直接识别的遥控编码脉冲。红外接收控制电路核心芯片通过解码操作最终确定接收到的信号内容并采取相应的控制动作。红外通信系统结构图如图1所示(图中默认收发双方控制电路的核心芯片均为单片机)。

红外通信过程中的编码工作极为关键。其目的在于确定“0”、“1”数字信号的表现形式。由前文可知,在红外

【作者简介】刘振鹏(1979—),男,中国山东济南人,硕士,副教授,从事控制理论与控制工程研究。

通信双方之间直接进行传输的信号为 38KHz 的间断脉冲串信号。脉宽为 0.565ms、间隔为 0.56ms、周期为 1.125ms 的组合表示“0”信号；脉宽为 0.565ms、间隔为 1.685ms、周期为 2.25ms 的组合表示“1”



图 1 红外通信过程

信号。由此可见“0”、“1”数字信号均以 0.565ms 的高电平开始，区别在于低电平宽度不同。因此低电平的宽度即为确定“0”、“1”信号的标准：0.565ms 的高电平结束之后如果低电平持续时间不超过 0.56ms，说明该位为“0”，反之则为“1”。

与编码相对应的工作即为解码，在代码的收发过程中解码和编码这两项工作是互为逆过程的。也就是说，如果之前红外发射管发送的原始信号是高电平，那么红外接收管接收并输出的信号就是低电平，反之亦然。因此为了保证解码过程简单方便，在编码的时候应该直接将待发送代码转换成其反码。

### 3 红外通信在嵌入式技术应用开发赛项中的具体应用

嵌入式赛项采用实操形式考察学生对嵌入式技术的应用能力。该赛项采用了红外通信、ZigBee 通信、无线 Wifi 通信、串口通信等多种通信方式，而参赛选手必须掌握的一项重要技能就是编程控制竞赛平台通过各种通信手段与赛项配备的标志物进行准确无误的数据交互。

嵌入式赛项采用红外发射对管作为红外通信设备。竞赛平台通过红外通信方式与标志物进行数据交互时始终作为数据发送方运行，而标志物则始终以数据接收方的身份工作。也就是说，竞赛平台和标志物相互之间的红外通信始终为单工通信。因此竞赛平台和标志物各自只配备红外发射管和红外接收管即可满足通信要求。

嵌入式赛项红外通信发送和接收控制电路的核心芯片均为 stm32 系列的单片机。在整个红外通信的数据交互过程中，红外发送控制电路中的 32 单片机将待发送的二进制信号编码之后通过红外信号发送管脚输出，输出信号与红外发送控制电路中的 555 定时器产生的 38KHz 的脉冲信号相与得到最终需要发送的间断脉冲串信号，该脉冲串信号最终交由红外发射管进行发送，红外发送控制电路如图 2 所示；而红外接收控制电路对接收到的间断脉冲串信号进行一系列调理工作之后将其转换成 32 单片机可识别的 TTL 电平信号，红外接收控制电路中的 32 单片机将该信号解码之后进行分析并根据分析结果做出相应的控制动作。

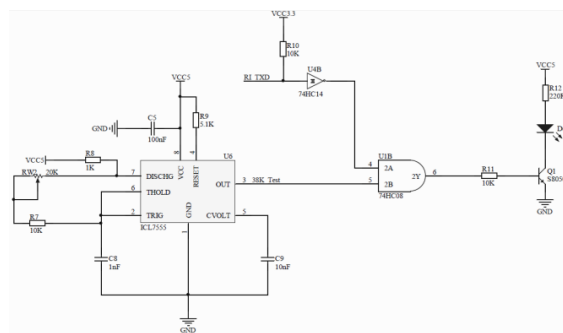


图 2 红外发送控制电路

下面以智能路灯标志物为例进一步说明嵌入式赛项红外通信的工作过程。嵌入式赛项中的智能路灯标志物具备四个光强挡位，不论智能路灯当前处于哪一级光强挡位，竞赛平台都可以通过红外通信控制智能路灯从当前的光强挡位切换到其他任何一级光强挡位。具体的操作过程是这样的：竞赛平台通过自身配备的红外发射管发送三组已经编码调制完成的脉冲串信号（0x00,0xFF,0x0C,0xF3）、（0x00,0xFF,0x18,0xE7）、（0x00,0xFF,0x5E,0xA1）即可使智能路灯在当前光强挡位的基础上分别提升一档、二档和三档，如果当前光强挡位与需要提升的挡位两者之和超过 4 挡的话则减去 4 即为智能路灯最终切换到的挡位。

负责切换智能路灯光强挡位的三组脉冲串信号各由四个字节数据组成，在红外通信工作过程中首先应编程控制红外发送控制电路中的 32 单片机根据不同的切换要求通过红外信号发送管脚发送其中一组字节数据，这一功能由函数 void Infrared\_Send(u8 \*s,int n) 来实现。该函数包含的程序部分对应的流程图如图 3 所示。调用该函数之前需要首先定义三个数组分别存放三组脉冲串信号各自包含的 4 个字节数据，两个形参 \*s 和 n 在函数调用时将分别被某个放置脉冲串信号的数组名称和数组长度所代替。

由前文可知，为保证解码过程简单方便，编码时应直接将待发送代码转换成其反码。因此该函数在执行过程中发送“0”、“1”数字信号时均以其反码形式进行发送。

红外发送控制电路中的 32 单片机输出的编码数据与 555 定时器产生的 38KHz 的脉冲信号进行相与从而完成红外信号的调制工作，调制之后得到的间断脉冲串信号由红外发射管负责发送。这个过程前文已有详细说明，不再赘述。

智能路灯红外接收端接收到红外信号之后首先对信号进行调理，红外接收控制电路中的单片机读取调理之后的红外信号并对其进行解码，最终根据信号的具体要求完成智能路灯的挡位切换工作。

### 4 结语

红外通信技术特别适合于嵌入式系统低成本、跨平台、点对点高速数据连接，主要应用在设备互联、信息网关等领域。红外通信技术是在世界范围内被广泛使用的一种无线连接技术，被众多的硬件和软件平台所支持。

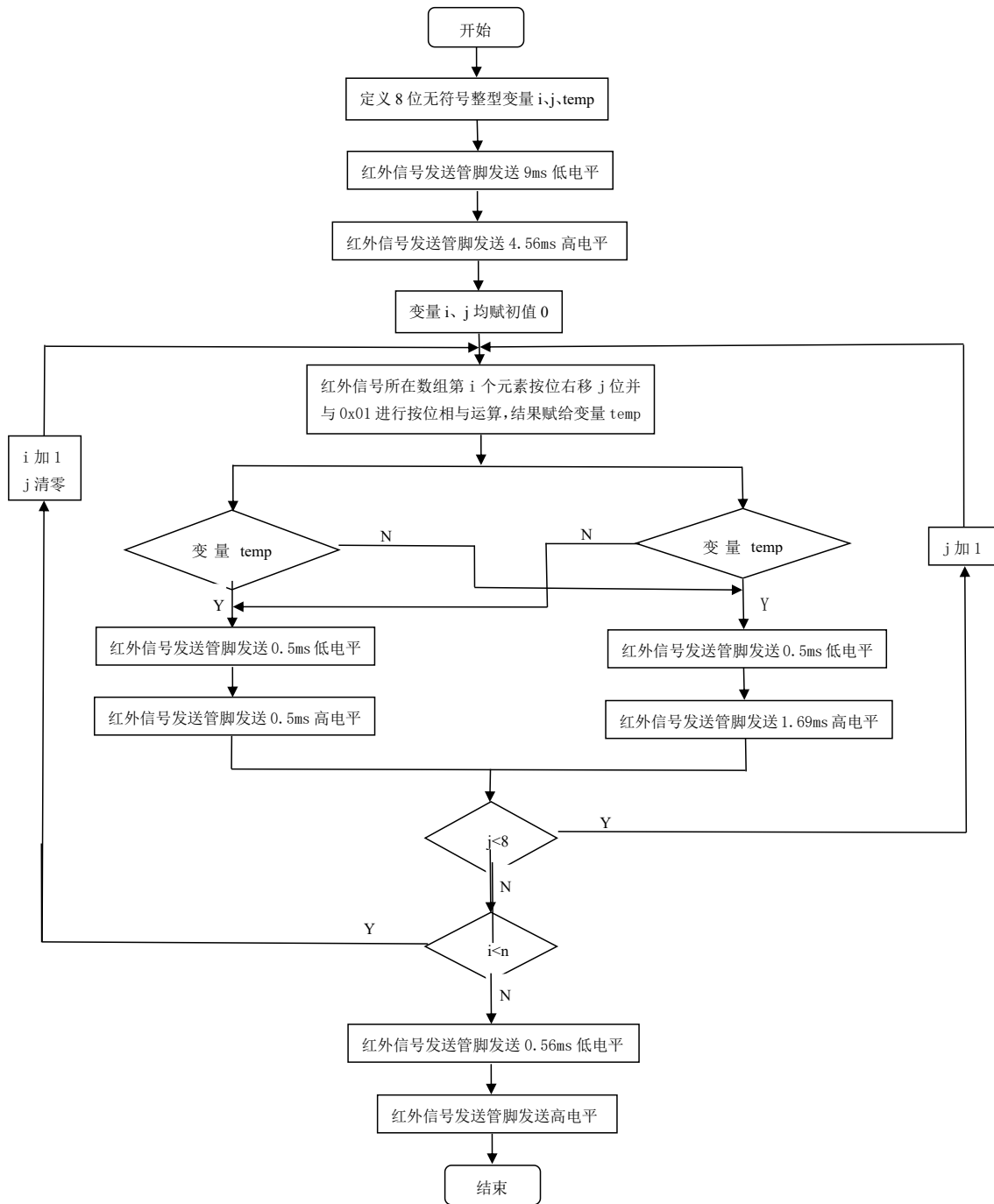


图 3 红外信号发送函数程序流程图

参考文献

[1] 陈华, 周晓巍. 红外热成像技术在通信电源电路板故障检测中的应用[J]. 《通信电源技术》, 2021, 上海航天控制技术研究所.

[2] 晏小庆, 阮云兰, 文志诚. 基于无线红外通信的自动烟雾报警系统设计[J]. 《现代电子技术》, 2021, 江西工程学院, 湖南工业大学.

[3] 张驰, 杨凯, 施宇豪, 陆斌. 基于DSP的红外数字通信技术[J]. 《通信电源技术》, 2021, 上海航天电子技术研究所.

[4] 张军. 基于红外通信的智能家居遥控系统设计[J]. 《工业控制计算机》, 2024, 山西工商学院计算机信息工程学院.

[5] 沈航, 林森, 吴洪玲, 胡钢, 陈超. 基于红外通信的遥控解码器设计[J]. 《机电工程技术》, 2022, 研祥智能科技股份有限公司, 广东省工业边缘智能创新中心.

# Algorithm Design and Practical Application Effect Research of Internet of Things Sleep Assistance System

Guojian Liang Jun Lin

Guangzhou Xinhua University, Dongguan, Guangdong, 523133, China

## Abstract

With the acceleration of modern lifestyles and growing health awareness, sleep quality issues have become a major public concern. The advancement of Internet of Things (IoT) technology has provided innovative technical approaches for sleep monitoring and intervention. This study focuses on the algorithm design and application efficacy of IoT-based sleep assistance systems, conducting systematic analysis from data collection, feature extraction, intelligent decision-making to system feedback mechanisms, while validating system performance through real-world application scenarios. By establishing a multi-source data fusion model, the research achieves dynamic sleep state recognition and develops personalized intervention strategies based on this foundation. Experimental results demonstrate that the system can effectively improve sleep structure and enhance sleep quality to some extent. These findings provide valuable references for the development of intelligent health management systems.

## Keywords

internet of Things; sleep assistance system; algorithm design; data fusion; intelligent intervention

## 物联网睡眠辅助系统的算法设计与实际应用效果研究

梁国健 林君

广州新华学院, 中国·广东 东莞 523133

## 摘要

随着生活节奏加快与健康意识提升, 睡眠质量逐渐成为公众关注的重点。物联网技术的发展为睡眠监测与干预提供了新的技术路径。围绕物联网睡眠辅助系统的算法设计与应用效果展开研究, 从数据采集、特征提取、智能决策及系统反馈等方面进行系统分析, 并结合实际应用场景对系统性能进行验证。研究通过构建多源数据融合模型, 实现对睡眠状态的动态识别, 并在此基础上设计个性化干预策略。实验结果表明, 该系统能够在一定程度上改善用户睡眠结构, 提高睡眠质量。研究成果为智能健康管理系统的的发展提供了参考依据。

## 关键词

物联网; 睡眠辅助系统; 算法设计; 数据融合; 智能干预

## 1 引言

睡眠作为人体重要的生理过程, 对身体健康与认知功能具有重要影响。随着智能设备的普及, 基于物联网的健康管理系统逐渐进入日常生活, 为睡眠质量监测与改善提供了新的技术手段。传统睡眠监测方式多依赖单一数据来源, 难以全面反映睡眠状态。通过引入多传感器数据与智能算法, 可以实现对睡眠过程的精细化分析。在此背景下, 构建高效可靠的睡眠辅助系统, 并对其算法设计与应用效果进行研究, 对于推动智能健康技术的发展具有重要意义。

**【基金项目】**“基于物联网技术的睡眠辅助系统及终端产品设计开发与应用”(项目编号: 202313902010)。

**【作者简介】**梁国健(1990—), 男, 中国广东清远人, 硕士, 助理研究员, 从事创新创业、商业视觉研究。

## 2 物联网睡眠辅助系统的架构与关键技术

### 2.1 系统总体架构设计

物联网睡眠辅助系统以分层架构为基础, 通过感知层、传输层与应用层的协同运行实现功能闭环。感知层承担数据采集任务, 借助多类型传感器对用户生理指标与环境参数进行持续监测, 使心率、呼吸频率及温湿度等信息形成连续数据流。该层对数据质量具有直接影响, 其稳定性决定后续分析的可靠性。传输层在系统中起到连接作用, 通过无线通信技术实现数据的实时传递, 使采集信息能够在不同模块之间高效流动, 并在一定程度上降低时延与丢包风险。应用层则对数据进行整合与分析, 通过算法处理形成结构化结果, 并在此基础上生成反馈与干预方案, 使系统具备实际应用价值。

### 2.2 多源数据采集与融合机制

在睡眠状态监测中, 单一数据源难以全面反映个体的

生理与行为特征，多源数据的整合成为提高识别精度的重要路径。通过将不同类型传感器所采集的数据进行统一管理，可以构建覆盖多维指标的睡眠信息体系，使系统在分析过程中具备更充分的依据。数据融合机制需要对各类数据进行时间同步处理，以保证不同信号在同一时间尺度下进行比较，从而避免时序偏差对分析结果的干扰。在特征整合阶段，通过提取关键指标并进行关联分析，使不同数据之间形成互补关系，提高对睡眠阶段的识别能力。

### 2.3 系统稳定性与数据安全保障

系统稳定性与数据安全性是物联网应用中的核心问题，直接关系到系统运行的可靠程度与用户信任度。在通信过程中，通过优化传输协议与网络结构，可以减少数据在传输环节中的丢失与延迟，使信息流动更加顺畅。数据安全方面，通过加密技术与访问控制机制对数据进行保护，使敏感信息在存储与传输过程中保持安全状态，降低泄露风险。在系统设计中引入冗余机制，可以在部分组件发生故障时维持整体运行，使系统具备一定的容错能力，从而提高稳定性。在复杂环境条件下，系统需要通过持续监测与动态调整，保持运行状态的平衡。稳定性与安全保障的综合实施，使系统能够在长期使用过程中保持可靠性能，为物联网睡眠辅助系统的推广应用提供重要支撑。

## 3 睡眠辅助算法设计与实现方法

### 3.1 睡眠状态识别算法

睡眠状态识别算法是系统实现功能的基础，其核心在于对多源生理信号进行特征提取与模式判别。通过采集心率变化、呼吸节律及体动信息，并对其进行时序分析，可以构建反映不同睡眠阶段特征的数据模型。在算法设计过程中，需要对原始信号进行预处理，以减少噪声干扰并提高数据质量，随后通过特征提取方法获取具有区分度的指标。在模型构建阶段，通过引入训练数据对参数进行优化，使算法在不同个体之间保持较好的适应性。识别过程依赖于对特征变化规律的综合判断，使系统能够在连续监测中完成对睡眠阶段的动态划分。该算法不仅提高了睡眠状态判定的准确性，也为后续干预策略的制定提供了可靠依据，使系统在功能实现上具备较高的稳定性与科学性。

### 3.2 个性化干预策略模型

在完成睡眠状态识别后，系统通过个性化干预策略模型实现针对性的调节功能。该模型以用户个体特征为基础，通过对历史睡眠数据的分析，构建反映用户睡眠规律的动态模型，使干预策略能够与个体差异相匹配。在具体应用中，系统根据识别结果与趋势预测，在适当时机采取干预措施，如调节环境参数或提供提示信息，以引导用户进入更为理想的睡眠状态。策略模型在运行过程中不断更新，通过对用户反馈与行为数据的持续学习，使干预方式逐步优化，从而提升干预效果的稳定性。个性化干预不仅提高了系统的适应能

力，也使干预过程更加精准，避免统一策略带来的效果偏差。通过模型的持续迭代，系统逐渐形成具有针对性的调节机制，在改善睡眠质量方面发挥重要作用。

### 3.3 实时反馈与自适应调节机制

实时反馈机制在系统运行中起到连接监测与干预的重要作用，使用户能够在使用过程中及时了解自身睡眠状态。系统通过对数据的实时处理，将关键指标以可视化方式呈现，使用户在感知层面获得直观反馈，从而增强对自身睡眠状况的认知。在此基础上，自适应调节机制通过算法对反馈数据进行分析，根据用户状态变化不断调整干预策略，使系统在动态环境中保持优化运行。该机制通过持续学习用户行为特征，使干预策略逐步趋于个体化与精细化，提高系统的响应能力与调节效果。随着使用时间的延长，系统能够积累更多数据，从而在策略调整中体现更高的准确性与稳定性。

## 4 系统性能分析与应用效果评估

### 4.1 实验设计与数据采集

在应用研究中，实验设计的科学性直接关系到结论的可靠性与解释力。围绕系统对睡眠质量的影响，研究选取不同年龄、生活习惯与作息特征的用户群体作为样本，以增强数据的代表性与适用范围。在实验实施过程中，通过设置对照阶段与干预阶段，对用户在使用系统前后的睡眠状况进行连续监测，从而形成可比数据序列。数据采集依托系统内置传感与记录模块，对入睡时间、觉醒次数及睡眠阶段分布等关键指标进行动态记录，使数据在时间维度上具备连续性与完整性。为提高数据质量，在采集过程中对异常值进行筛查，并对缺失数据进行合理处理，从而确保分析结果的有效性。通过规范化的实验流程与系统化的数据采集方式，为后续效果评估提供坚实基础，使研究结论具备较强的客观性与可信度。

### 4.2 睡眠质量改善效果分析

基于实验所获得的数据，对系统应用效果进行统计分析，可以观察到用户睡眠结构在一定程度上发生积极变化。数据结果显示，在系统干预后，深度睡眠时长呈现增长趋势，入睡潜伏期相应缩短，反映出用户入睡过程更加顺畅。睡眠效率指标的提升，表明整体睡眠质量得到改善，夜间觉醒频率的变化也呈现出稳定趋势。通过对多维度指标的综合分析，可以看出系统在调节睡眠节律方面具有一定作用，使睡眠过程在结构与连续性上趋于优化。分析过程中，通过对不同用户群体数据进行对比，可以发现效果在不同个体之间存在差异，这为进一步优化系统提供了参考方向。整体结果表明，系统在实际应用中对睡眠质量具有积极影响，其效果在统计意义上具有一定稳定性与可重复性。

### 4.3 用户体验与系统评价

在系统应用过程中，用户体验作为评价其实际价值的重要维度，能够反映系统在真实使用环境中的表现。通过收

集用户反馈,可以了解其在操作便捷性、信息呈现与功能实用性等方面的感受。多数用户认为系统界面设计清晰,操作流程简洁,使其在日常使用中无需额外学习成本即可完成相关操作。系统提供的反馈信息具有一定参考意义,能够帮助用户理解自身睡眠状态,从而形成自我调节意识。在持续使用过程中,系统表现出较好的运行稳定性,未出现明显功能中断或数据异常情况,这在一定程度上增强了用户信任度。与此同时,部分用户在长期使用中提出优化建议,为后续系统改进提供依据。通过对用户体验与评价的综合分析,可以进一步完善系统设计,使其在功能与使用感受上实现持续优化。

## 5 系统优化与发展方向

### 5.1 算法优化与模型提升

在系统性能持续提升的过程中,算法优化与模型结构改进构成关键路径。通过引入更具表达能力的算法框架,可以增强系统对复杂数据特征的识别能力,使其在多样化应用环境中保持稳定表现。训练数据规模与质量对模型效果具有直接影响,扩大数据来源并提高数据标注准确性,有助于增强模型的泛化能力,使其能够适应不同用户群体与使用场景。在模型结构方面,通过对网络层级与参数配置进行优化,可以在保证计算效率的前提下提升识别精度,使系统在实际运行中达到较优性能表现。算法优化不仅体现在精度提升,也体现在对异常情况的识别与处理能力上,使系统在复杂环境中具备更强适应性。通过持续迭代与优化,模型逐步形成稳定而高效的运行机制,为系统整体性能提升提供核心支撑。

### 5.2 硬件系统改进与能耗控制

硬件系统的设计直接影响设备性能与用户体验,在优化过程中需要兼顾功能实现与使用舒适度。通过对传感器布局进行合理调整,可以提高数据采集的准确性,使系统在不同使用状态下均能获得稳定信号。同时,能耗控制在设备设计中具有重要意义,通过降低功耗与优化电源管理策略,可以延长设备的连续使用时间,提升实际应用价值。在结构设计方面,通过减轻设备重量与优化外形,可以增强佩戴舒适性,使设备更适合长期使用环境。硬件改进不仅关注性能提升,也注重系统稳定性与耐用性,使设备在复杂使用条件下保持良好运行状态。通过硬件结构与能耗管理的协同优化,

系统在性能与体验之间形成平衡,从而提升整体应用效果。

### 5.3 应用拓展与场景融合

随着系统功能的不断完善,其应用范围逐步由单一场景向多场景融合方向发展。通过与健康管理平台的对接,可以实现数据共享与综合分析,使系统在健康监测与管理中发挥更大作用。在此基础上,与智能家居系统的结合,为环境调节提供了新的实现路径,通过对光照、温度及噪声等因素的联动控制,可以构建更加适宜的使用环境,从而提升整体体验质量。多场景融合使系统从单一功能设备转变为综合服务平台,使其在不同应用环境中展现出更高的适应性与扩展性。通过不断拓展应用边界,系统在技术与服务层面均获得发展空间,其潜在价值逐步显现,为相关领域的创新应用提供了重要方向。

## 6 结语

围绕物联网睡眠辅助系统的算法设计与应用效果开展系统研究,从系统架构构建、算法实现路径及性能评估方法等方面进行了综合分析。通过对多源数据的采集与融合,并结合智能识别与自适应调节算法,系统能够较为准确地识别用户睡眠状态,并在此基础上实施个性化干预。研究结果表明,该系统在改善睡眠结构、提升睡眠效率方面具有一定效果,验证了算法模型与系统设计的可行性。在应用过程中,数据分析与反馈机制为系统优化提供了持续支持,使其在实际运行中具备良好的稳定性与适应性。后续研究可在算法精度提升、硬件性能优化及多场景应用拓展等方面进一步深化,以推动智能睡眠辅助系统在健康管理领域的应用价值不断提升。

### 参考文献

- [1] 肖毅,张晓菊,杨达伟,等.云加端物联网辅助诊治睡眠呼吸暂停(O SA)专家共识(2022版)[J].复旦学报(医学版),2023,50(04):613-619+632.
- [2] 马玉志.基于物联网的多功能睡眠监测辅助系统[J].科学技术创新,2017,(22):122-123.
- [3] 王柯,孙萍,刘半藤.医工交叉模式下物联网睡眠监测实验教学实践[J].物联网技术,2026,16(06):148-151.
- [4] 刘敬,李向阳.基于物联网技术的一键求助和睡眠监测系统设计[J].电脑知识与技术,2023,19(15):90-92.
- [5] 宋瑞波,冯帅军.基于物联网的老年人睡眠服务系统与产品创新[J].艺术与设计(理论),2021,2(09):81-84.

# Research on the Role of Satellite Communication in Bridging the Digital Divide in Remote Areas

Panlong Chang<sup>1</sup> Yuanting Yang<sup>2</sup> Shuoyun Chu<sup>1</sup>

1. Armed Police Officer Training School, Hangzhou, Zhejiang, 311402, Chian  
2. Longgui School, Baiyun District, Guangzhou, Guangdong, 510445, China

## Abstract

The digital divide in remote areas is formed by the lack of infrastructure, weak economic support, and imbalance of educational resources. It severely restricts the equalization of public services and regional coordinated development. Satellite communication, with its core technical advantages such as wide-area coverage, resistance to geographical limitations, and flexible deployment, has become a key support for breaking through communication bottlenecks in remote areas and connecting the “last mile” of digital services. This paper systematically analyzes the current situation and practical predicaments of the digital divide, deeply explains the technical characteristics and application feasibility of satellite communication technology, focuses on four dimensions: network construction, demand alignment, facility operation and maintenance, and literacy improvement, and details the technical implementation paths and strategies, providing a technical solution with both academic value and practical guidance for the digital transformation of remote areas.

## Keywords

Satellite communication; Remote areas; Digital divide; Technology application

# 卫星通信在偏远地区数字鸿沟弥合中的作用研究

常攀龙<sup>1</sup> 杨元婷<sup>2</sup> 褚姝轲<sup>1</sup>

1. 武警士官学校, 中国·浙江 杭州 311402  
2. 广州市白云区龙归学校, 中国·广州 广东 510445

## 摘要

偏远地区数字鸿沟由基础设施缺位、经济支撑薄弱与教育资源失衡交织而成, 严重制约公共服务均等化与区域协调发展。卫星通信凭借广域覆盖、抗地理限制、部署灵活等核心技术优势, 成为突破偏远地区通信瓶颈、打通数字服务“最后一公里”的关键支撑。本文系统剖析数字鸿沟现状与现实困境, 深入阐释卫星通信技术特性与应用可行性, 聚焦网络构建、需求对接、设施运维及素养提升四大维度, 细化技术落地路径与实施策略, 为偏远地区数字化转型提供兼具学术价值与实践指导的技术方案。

## 关键词

卫星通信; 偏远地区; 数字鸿沟; 技术应用

## 1 引言

数字经济时代, 数字鸿沟已成为制约偏远地区发展的核心桎梏, 基础设施滞后、资源配置不均等问题加剧了区域发展失衡。卫星通信作为天基通信核心技术, 其技术迭代与应用创新为偏远地区跨越数字鸿沟提供了全新路径。深入挖掘卫星通信技术潜力, 探索贴合偏远地区实际的落地模式, 对推动数字普惠、促进区域协调发展具有重要现实意义与学术价值。

## 2 偏远地区数字鸿沟现状剖析

### 2.1 基础设施匮乏困境

偏远地区多为山地高原荒漠等复杂地貌, 地形崎岖导致传统通信基础设施建设面临极高施工难度与成本压力。光纤铺设需跨越复杂地形, 工程周期冗长且后期维护成本高昂, 多数区域难以实现光纤网络覆盖<sup>[1]</sup>。基站建设受限于地理条件与电力供应, 信号覆盖盲区广泛, 现有通信设施传输速率低、稳定性差, 难以满足居民日常信息交互与高质量网络使用需求。信息获取渠道狭窄使得偏远地区与外界发展脱节, 进一步固化了区域发展差距。

### 2.2 经济发展水平制约

偏远地区产业结构单一, 经济增长动力不足, 居民收

【作者简介】常攀龙(1990—), 男, 中国河南许昌人, 本科, 从事卫星通信研究。

入水平普遍偏低,对高资费通信服务的承受能力有限,部分家庭甚至无力承担基础通信费用。通信企业以市场效益为导向,在偏远地区建设通信网络面临投资规模大、回报周期长、收益率低等现实问题,导致其缺乏主动投入的积极性。这种通信基础设施建设滞后与居民消费能力不足的恶性循环,持续拉大与发达地区的数字差距,形成难以突破的发展困境。

### 2.3 教育资源分布不均

优质教育资源向城市集中的格局长期存在,偏远地区学校信息化教学设施配置不足,缺乏先进的网络教学平台与数字化教学工具。教师队伍信息化教学能力培养滞后,难以有效运用数字技术开展教学创新,学生无法通过网络获取优质教育资源,难以参与线上同步课堂、远程研学等活动<sup>[2]</sup>。数字素养培育缺乏有效载体,不仅影响当下学习效果,更限制了青少年未来适应数字社会的能力,形成代际传递的数字鸿沟,进一步加剧区域发展不平衡。

## 3 卫星通信技术优势及在偏远地区应用的可行性

### 3.1 卫星通信技术独特优势

卫星通信依托天基平台构建通信链路,核心优势体现在覆盖范围的全域性,单颗地球同步轨道卫星即可覆盖地球表面三分之一区域,能够无缝覆盖偏远地区无地面网络的盲区地带。其通信容量具备规模化支撑能力,可满足语音、数据、高清视频、物联网等多元业务传输需求,传输速率可达百兆级甚至千兆级,适配偏远地区多样化信息交互需求<sup>[3]</sup>。相较于传统地面通信,卫星通信受地形地貌、气候条件等自然因素影响较小,信号稳定性强,在复杂地理环境中展现出不可替代的技术韧性。此外,卫星通信无需大规模地面基础设施铺垫,能够快速构建应急通信链路,为偏远地区提供高效便捷的通信保障,突破地面网络覆盖的物理瓶颈。

### 3.2 技术发展降低应用成本

卫星通信技术的持续革新推动全产业链成本优化,卫星制造采用轻量化、模块化设计理念,新型复合材料与集成电路技术的应用大幅降低卫星自重与制造成本。火箭回收技术的成熟与发射流程的优化,使单次发射成本较十年前下降超六成。地面终端设备向小型化、低成本方向发展,便携式卫星终端、一体化接收设备等产品不断涌现,大幅降低偏远地区用户的接入门槛。低轨卫星星座通过多星协同组网,实现低时延、高带宽传输,通信时延可控制在50毫秒以内,通信速率与服务质量显著提升<sup>[4]</sup>。规模化部署进一步摊薄运营成本,使得卫星通信资费逐步趋向普惠,为偏远地区大规模应用奠定坚实的经济基础。

### 3.3 政策支持营造良好环境

国家高度重视数字乡村建设与偏远地区信息化发展,将卫星通信纳入偏远地区通信基础设施建设重点规划。相关部门出台一系列扶持政策,通过财政补贴、税收减免、专项

基金支持等方式,鼓励卫星通信企业参与偏远地区通信网络建设。在重大战略规划中,明确提出加快推进偏远地区卫星通信覆盖,将其纳入数字中国建设考核指标<sup>[5]</sup>。政企协同合作平台的搭建,为卫星通信技术在偏远地区的推广应用提供了坚实的政策保障与发展动力,激发了市场主体的参与积极性,形成政府引导、企业主导、社会参与的良性发展格局。

## 4 卫星通信在偏远地区数字鸿沟弥合中的具体应用策略

### 4.1 构建多元化卫星通信网络体系

高低轨卫星协同组网需充分发挥两类卫星技术特性形成功能互补,高轨卫星凭借广域覆盖与长期在轨运行优势,承担基础通信保障功能,提供语音通话、低速数据传输、应急通信等基础服务,满足偏远地区居民日常通信与简单信息交互需求。低轨卫星以低时延、高带宽的技术优势,支撑高清视频传输、物联网数据交互、在线教育直播、远程医疗会诊等高速业务,解决偏远地区对高质量网络的迫切需求。通过星间链路技术实现高低轨卫星数据无缝切换,基于业务类型与网络状态自动匹配最优通信路径,保障不同场景下的通信体验<sup>[6]</sup>。星上处理与星间路由技术的应用,进一步提升了网络响应速度与数据传输效率,实现全域通信资源的动态调度与优化配置。

卫星与地面网络融合发展需构建天地一体化通信架构,在偏远地区现有地面网络覆盖区域,通过网络切片技术实现卫星通信与地面4G/5G网络资源整合,优化网络负载分配,提升网络整体容量与稳定性。在地面网络覆盖盲区,卫星通信自动接管通信服务,形成“地面为主、卫星补盲”的无缝覆盖模式。依托核心网升级改造,实现两类网络协议互通与资源调度协同,采用软件定义网络与网络功能虚拟化技术,构建统一的网络管理平台,实现对全域网络资源的集中管控与动态调整。用户终端无需手动切换即可在不同网络环境下持续接入互联网,保障通信连续性与稳定性,满足偏远地区移动场景下的通信需求。

### 4.2 精准对接偏远地区多样化需求

教育领域应用以卫星通信为纽带搭建优质资源共享通道,通过卫星链路将城市优质学校的课堂教学、教研活动实时传输至偏远地区学校,构建远程同步教学体系,使偏远地区学生同步享有优质师资与教学内容。搭建数字化教学资源库,整合学科课件、虚拟实验、名师讲座等资源,通过卫星通信实现资源下沉,支持偏远地区教师开展个性化教学与学生自主学习。针对教师信息化教学能力短板,开设线上专题培训课程,通过卫星网络开展教学研讨与技能实训,系统性提升教师数字教学应用能力。搭建虚拟教研室与跨区域教研平台,促进城乡教师深度交流合作,推动教学质量均衡提升。

医疗领域应用依托卫星通信构建远程医疗服务体系,搭建远程会诊平台,实现偏远地区医疗机构与城市三甲医院

的实时视频连接,支持病例共享、影像传输、远程诊断等核心功能,为偏远地区患者提供精准医疗指导。部署便携式卫星终端与医疗监测设备,将患者生命体征数据实时传输至上级医院,实现重症监护与应急救治指导,解决偏远地区医疗资源短缺、救治能力不足的难题。构建医疗知识培训平台,通过卫星通信向偏远地区医护人员推送医学前沿知识、诊疗规范与技能培训课程,持续提升基层医疗服务水平。建立应急医疗通信保障机制,在突发公共卫生事件中快速搭建临时通信链路,保障医疗指令传达与救援信息互通。

农业领域应用结合卫星通信与物联网技术赋能农业生产,构建农业物联网监测网络,通过部署各类传感器采集土壤墒情、作物长势、气象条件等数据,经卫星通信传输至云端数据平台,实现农业生产环境实时监测。基于大数据分析提供精准种植建议、病虫害预警与市场信息推送,助力农民科学决策、优化生产流程。搭建农产品产销对接数字化平台,通过卫星通信支撑农产品信息发布、在线洽谈与订单交易,拓宽销售渠道,提升农产品附加值。部署农业无人机遥感监测系统,结合卫星通信实现大范围农田监测与精准作业指导,推动传统农业向智慧农业转型,促进偏远地区农业经济提质增效。

### 4.3 加强卫星通信基础设施建设与维护

基础设施建设强化政企协同投入机制,政府统筹规划卫星通信基础设施布局,结合偏远地区人口分布、地理特征与发展需求,科学选址建设卫星地面站与中继节点,优化信号覆盖质量。采用分布式部署模式,在人口集中区域建设主地面站,在偏远分散区域设置小型中继站与信号增强器,形成多层次、广覆盖的地面接收网络。企业发挥技术与资金优势,推进卫星接收终端普及,针对偏远地区用户实际需求,提供低成本、易操作的终端设备与安装服务<sup>[7]</sup>。加强电力保障配套建设,通过光伏供电、储能设备等方式解决部分偏远地区电力供应不稳定问题,确保卫星通信设备持续稳定运行。采用模块化设计与标准化接口,提升设备兼容性与可扩展性,降低后期升级改造成本。

维护体系建设组建专业化技术服务团队,吸纳本地技术人才参与培训,打造兼具专业能力与地域适配性的维护队伍,负责卫星地面设备、终端的日常巡检、故障排查与技术支持。建立常态化维护机制,制定设备巡检流程与技术规范,定期开展设备性能检测与系统升级,及时处理信号衰减、设备故障等问题,保障通信服务连续性。构建应急响应机制,针对自然灾害、极端天气等突发情况,制定应急通信保障预案,配备应急通信车、便携式卫星终端等设备,确保紧急情

况下通信畅通。利用远程运维技术,实现对卫星通信设备的远程监测与故障诊断,减少现场维护频次与成本,提升运维效率。建立设备故障数据库与运维知识库,通过大数据分析优化运维策略,提高故障预判与处置能力。

### 4.4 提升偏远地区居民数字素养与技能

数字素养培育构建分层分类培训体系,针对不同年龄段、职业群体的认知特点与需求差异,制定差异化培训内容。面向老年群体聚焦基础通信技能,包括智能手机操作、网络信息查询、线上便民服务使用等。面向青壮年群体强化数字应用能力,涵盖电子商务、在线办公、数字技能提升等内容。面向乡村干部、创业者重点培养数字化管理与创新能力,助力区域数字经济发展。培训方式采用线上线下结合,通过卫星网络开展远程培训,依托乡镇文化站、村部活动室开展集中实训,邀请技术专家与实操能手现场指导,提升培训覆盖面与实效性。开发适配卫星通信网络的轻量化培训平台,提供视频课程、在线测试、互动答疑等功能,支持居民自主学习。

## 5 结语

卫星通信以其独特技术优势,成为弥合偏远地区数字鸿沟的关键支撑力量。通过构建多元化网络体系、精准对接多元需求、强化基础设施运维及提升居民数字素养,卫星通信能够有效破解偏远地区通信难题,推动信息资源共享与均等化服务。然而,技术应用过程中仍需应对成本控制、技术适配、可持续运营等现实挑战,需持续优化技术方案、完善政策支持、强化政企协同。未来,随着低轨卫星星座规模化部署、终端设备轻量化发展及通信资费进一步降低,卫星通信在偏远地区的应用将更加广泛深入。持续深化技术创新与模式创新,不断提升卫星通信服务的可及性与普惠性,将为偏远地区数字化转型注入持久动力,助力实现区域协调发展与数字中国建设目标。

### 参考文献

- [1] 王森洋,夏龙.数字鸿沟如何制约农民共同富裕——基于生计资本中介[J].当代经济,2025,42(07):38-48.
- [2] 赵旭,唐子怡,陈祺睿,等.社会网络弥合水库农村移民数字鸿沟的机制研究[J].中国农村水利水电,2025,(10):223-230.
- [3] 鲍凌云,宋颖,杨秀臻.乡村振兴背景下城乡数字鸿沟的审视与弥合[J].中南农业科技,2024,45(07):197-200.
- [4] 易佳月.农村地区老年人数字鸿沟成因及弥合路径[J].农村经济与科技,2024,35(12):204-206.
- [5] 王艺.欠发达地区农村数字鸿沟实证研究[J].南方农机,2023,54(15):123-125.

# On the Potential Negative Impact and Ethical Challenges of Deepfake Technology on Memory

Yuhuan Liang

Xiangtan University, Xiangtan, Hunan, 411100, China

## Abstract

Leveraging deep learning algorithms, deepfake technology can generate highly realistic fake videos. This paper uses Bartlett's schema theory and dual encoding theory as the analytical framework to reveal the potential threats that deepfake poses to individual and collective memory. The paper argues that the threat of deepfake extends beyond information falsification and penetrates the memory reconstruction process through psychological mechanisms, thereby disrupting the original individual and collective memories. Based on the analysis in this paper, addressing this challenge requires the combination of real-time detection technology and ethical review to maintain the authenticity of memory and the social narrative justice.

## Keywords

Deepfake; Memory Reconstruction; Personal Memory; Collective Memory; Ethical Challenges

## 论深度伪造技术对记忆的潜在负面影响及伦理挑战

梁郁涵

湘潭大学, 中国·湖南 湘潭 411100

## 摘要

深度伪造技术依托深度学习算法, 能够生成高度逼真的虚假视频, 本文以巴特莱特的图式理论与双重编码理论为分析框架, 揭示深度伪造对个体记忆与集体记忆构成潜在威胁。本文主张, 深度伪造的威胁并非止于信息造假, 而是通过心理机制深度介入记忆重构过程, 破坏原有的个体与集体的记忆。基于本文分析表明, 应对这一挑战需要结合实时检测技术与伦理审查, 以维护记忆的真实性与社会的叙事公正。

## 关键词

深度伪造; 记忆重构; 个人记忆; 集体记忆; 伦理挑战

## 1 引言

当前, 以人工智能为主体的信息技术迅速发展, 在不同领域并通过不同方式席卷了人类生活。与此同时, 互联网早已成为人们获取信息和构建自我经验的重要媒介, 因此网络信息的存在也成为了人们认知和生活的一部分。过去, 信息的造假形式仅限于文字舆论的“造谣”或简单的修图技术。尽管这些伪造信息曾带来误导, 但它们很容易通过简单的事实说明或技术鉴定被推翻, 其欺骗性相对有限。然而, 新兴的深度伪造技术依托于深度学习算法, 能够制作出高度逼真的视频, 展现人们说或做一些他们并未说或做过的事情。显然, 在这里“伪造”这一术语本身我们就能得到欺骗的性质, 同时又依托视频这一有力载体, 人们将面对高度逼真的伪造影像, 其原有的记忆重构过程将被影响, 进而会引发集体记

忆的扭曲。

## 2 理论基础: 记忆的可塑性与视频的证据效力

记忆本质上是动态的重构, 而非静态的存储。当我们进入回忆时, 难以确保得到的结果是当时发生的原本模样。大脑与计算机的存储机制并不相同, 记忆无法做到准确地输入和输出。

### 2.1 记忆的可塑性与重构本质

根据弗雷德里克·巴特莱特提出的图式理论, 记忆是基于“图式”进行构念, 而非简单的再现。“图式”是活的、经久不息地发展的“安排形式”, 涉及对过去的反应或经验予以一种积极的组织<sup>[1]</sup>。这意味着个体的记忆包括了对过去的经验进行主动的、创造性重建。换言之, 记忆包含一个重构的过程。记忆的这种重构性, 使其具有可塑性和脆弱性, 为外部信息的介入提供了可能。记忆的可塑性具有神经学基础。如果在记忆形成的时间内增加其他信息, 那么这段记忆就可以被改写, 这段时间是大脑在自己的生物部件和分子组成中重构记忆所需的时间<sup>[2]</sup>。伊丽莎白·洛夫特斯的实

【作者简介】梁郁涵(2005—), 女, 中国河北石家庄人, 在读本科, 从事哲学研究。

验研究进一步证明了这一点，在事件发生之后引入的误导性信息，能够系统地与原始记忆融合，改写甚至取代部分真实记忆。

## 2.2 视觉证据的优势

著名心理学家Allan Paivio基于认知心理学的研究成果，提出了双重编码理论，认为人类的信息加工与记忆过程中存在两个相对独立却又相互关联的系统：一个用于语言编码，另一个则负责非语言（主要是视觉）编码。我们知道视频这一载体同时提供了非语言（视觉）和语言（听觉）信息，这使得信息能够以双重方式被编码和存储在大脑中，观看者可以同时接收到“看到”的事实和“听到”的解释，这种双重编码加上感官的相互印证增加了信息的真实感和可靠性，所以视频是最具可信度的载体之一，正如人们常常认为眼见为实。此外，双重编码比单一编码更不容易被遗忘，提高了信息的留存率和持久性。

## 3 作用机制：深度伪造如何干扰记忆重构

深度合成是指通过利用人工智能的深度学习算法和模型生成视频的技术，高度仿真性是其核心特征<sup>[3]</sup>。具体而言，使用者先通过网络轻易获取一个人身份的内容如声音、面部、身体，然后再通过深度伪造技术低成本而轻易地以对方身份的内容形成视频，结果展现在人们眼前的是，内容为自己或他人做和说从未做过的事情的视频<sup>[4]</sup>。

根据双重编码理论，深度伪造的视频提供了同步且一致的视觉与听觉信息，使伪造的场景通过两个独立编码通道进入大脑，并且具有极高生动性与真实感，这种新的输入在大脑中留下了印记。根据巴特莱特的图式理论，一种新的传入冲动不仅是一种线索，可以建立起新的反应，还是一种刺激，刺激过去的反应。深度伪造视频作为一种刺激，并且其内容高度逼真且完整，大脑容易把它加入到本就不断变化发展的“图式”之中。巴特莱特认为往事不完全作为一种图块形式起作用，建立“图式”的最后传入成分具有支配性影响<sup>[1]</sup>。当伪造信息与原始图式发生冲突时，由于伪造的视频具有极高的信源权威性，甚至从时间上也相对更新，在记忆中更加明确清楚，大脑会通过主动修改并更新“图式”以容纳新的、更生动的信息，从而将伪造内容作为填补记忆空白的合理细节。“我们会受到过去某一时刻发生的反应和经验的影响，和某种类型的所有传入冲动结合在一起，进而建立一种积极、有组织的场景<sup>[1]264</sup>。”伪造的内容就这样被直接整合入图式中，最终在记忆重构的过程中作为信息源参与形成新的记忆，同时记忆和图式以被修改后的形式再次巩固，错误信息在后续提取和重构时以我们更加相信其为真实地呈现。

## 4 负面影响的具体表现

### 4.1 对个体记忆的篡改与情感破坏

因为我们没有无限的时间和精力进行亲自接触和了解他人和世界，但是我们又和外界社会存在着无法断截的联

系，所以拥有那些我们能够信任的信息来源是十分必要的。其中，直接的视觉感知就是一个重要来源。但我们不可能总是在正确的地点和应该的时间“看”事情，进而产生真实的了解。在这种情况下，视频往往是最直接的选择<sup>[4]</sup>。正如我们所坚信的，直接的视觉感知会提供一个事件发生的可靠证据，其中视频便可以提供虽然不在场但是几乎和亲身经历或与旁观一样令人信服的证据。

在深度伪造出现前，通过不停的设想与引导甚至反问和逼问，已经会对被问者（案件相关者或目击者）造成干扰，他们会开始怀疑自己原本所持有的记忆，以及有些情况由于在案件过程中，相关者确实存在错误（但并非导致结果的主要原因），而因受干扰便开始衡量记忆中的错误程度究竟是否如同对方所说。总之在怀疑中可能造成记忆的篡改，最终导致误认。而今，应用深度伪造的虚假视频，通过对设定合理情节回忆的伪造，由于记忆的可塑性，相关者或目击者因外界视频信息的干扰将重建“现场”或“情形”，导致了不准确的记忆，进而造成无辜的人自己承认或被指认而发生冤假错案<sup>[5]</sup>。在这里，相关者和目击者并不是在有意说谎，因为他们甚至在讲述他们被篡改的记忆内容时都是说服了自己后带有信誓旦旦的，由此可见这些虚假视频对于篡改人记忆的影响。如果说对于这些视频的存在形式或来源有疑问，或许可以设想一下更改视频记录的某些细节，毕竟随处可见的凑热闹人群拍摄一段视频上传到网络中的“网民习惯”早已不是一件新鲜事。或者直接伪造记录的镜头画面，甚至侵入监控系统替换新的内容，在利用深度伪造这一技术下，实现这些目的也已不再是一件难事。

篡改记忆还会对记忆有关的情绪或情感产生不利影响。在我们的印象中，记忆不仅包括了我们一直持有的过去的存在和意义，也包括对过去的情感。无论是我们的关于他人的记忆，还是以自身为中心的记忆，都或多或少承载着不同的情感。当我们记忆被伪造视频篡改后，往事的感觉和情感的将消失或与现在的感受出现冲突。此外，记忆是源自过去事件的知识，但不一定是内容为过去的知识。当一件未来的事存在于我的记忆中后，即我知道某事会发生，带有一种“相信”，我便会有期待或者紧张等情绪波动。而如果因为深度伪造的视频，与我们已知的内容出现了矛盾冲突，甚至记忆被篡改了，那之前所谓的波澜便都成了空虚的存在，同时也浪费了精力。例如，我记得2028年将举行奥运会，我是在过去知道这个事情的，它在未来才发生，但是人们会因为它的存在而饱含激动和期待，而如果这一记忆被伪造的类似官方通知性信息损害，将令人感到难受，无论是期望落空，还是产生疑惑哪段记忆为真实的矛盾心理。

除此之外，心理创伤会一直存在，一旦源自过去的伤害再次被激起，心理受伤害的人就会产生不相称的反应。它把不相干的物体与产生创伤的过去的物体联系起来。这是两种再现过去的病理学表现形式<sup>[6]</sup>。倘若人们通过深度伪造制

作出当时产生创伤的场景，这样生动直观的视频将会比那些物体更有冲击力，有心灵创伤的人会被迫回忆起过去的那个场面，以至于重新恢复那种让人紧张或不安的情绪，造成更新更持久的二次伤害。过去的创伤，无论是淫秽还是施暴，比起身体上的痛苦，更为痛苦的是在记忆中的精神上的折磨，从神经学和心理上讲，短暂的身体上的疼痛是一时的，但是造成对人格的侮辱和耻辱感的阴影将伴随一生。

#### 4.2 对集体记忆的扭曲与政治操纵

哈布瓦赫认为存在着一个所谓的集体记忆和记忆的社会框架。<sup>[7]</sup>的确，每个人都仅仅亲历了历史中有限的一小段，并且是以一种极为局限的方式经验着，那么有关于大部分无法直接经历的历史与世界，人们的记忆则依赖于信任的人所传播的外界知识。当一群聚集性的人接触和获取到相同的外界知识，将形成记忆共同体，即产生“集体记忆”。此外，人是符号性动物，人与人之间可以在不必面对面接触的情况下形成象征性的团结关系<sup>[6]</sup>。那么就意味着通过操作共享记忆的符号便可以决定“集体记忆”，由此深度伪造便可以通过创造“视频”这一符号，“准确地”再现（其实是编造）历史事件，介入集体记忆，直接阻碍形成真实集体记忆或者篡改集体记忆。例如在视频中和我们说话的人看起来像是一个我们知道的值得信赖的人（比如某些公众人物），但是它可能是一个别人用来欺骗大众的深度伪造形象。

在传统意义上，个人的问题导向社会的问题，个人和社会的共同演进，即通过形成共同的集体记忆去解决问题和实现发展。但是在深度伪造技术对人们获取共同记忆进行了冲击之后，这种集体的历史记忆本身不再是真正意义上的“可相信”的集体记忆。就这样，深度伪造对个人层面的记忆和社会层面的信息造成了多方面的破坏，集体记忆和信息将不再具有真实性，更深远的则会导致社会历史无法发挥原有的正面意义，由此将引发更深层的伦理危机。

深度伪造或将扭曲国家和历史的情怀与认同。人们通过深度伪造可以制作出容易令人信服的各种虚假视频，将虚构知识植入特定历史，有意地偏离公众对这段历史的集体记忆，从而使得原有的历史记忆被割裂并重新建构。其目的是以他们所需要的利益方向重新建构与真实的历史相异的集体记忆。集体记忆的价值在于形成民族的共同意识，但是如果以这样一种错误却令人信服的手段伪造更改社会集体记忆，真实的历史将被隐藏，这样形成的共同意识将背弃集体

记忆道德，扭曲国家和历史的情怀与认同。

切入到政治博弈上的，即被国际政局的现实所操控。例如当小国面临政治被深度伪造技术直接逆转的困境，但就连证明“视频是伪造的”这一点，都是要去借助大国的技术和话语权的，这个意义上，它居然在破坏没有技术优势的民族、社会和共同体的生存的基本条件。另外，很多在媒体流传的视频或许本来是弱小的民众在呼唤正当的解决，但现在面对深度伪造导致民众认知怀疑增加，将对视频的真实性进行否定和怀疑，便可以故意或许含有无意地将他们的需求以正当的理由屏蔽，甚至想将他们从历史上抹去。也在利用有这种技术后，感到霸权在我们谈话的桌面上布下了一层铁幕。

## 5 结语

本文探讨了深度伪造技术如何利用心理学机制，对个体记忆产生负面影响，进而影响集体记忆。深度伪造技术并非仅仅创造和生成了虚假信息，并且通过利用记忆的重构性本质以及视频媒介的高权威性，给个体记忆植入虚假记忆，从而破坏了个人记忆的连贯性与真实性，产生更多方面的负面影响。同时，这种对个体记忆的破坏延伸至社会，引发了集体叙事危机和政治操纵。然而本文主要基于心理学理论和伦理学框架进行理论推演，缺乏大规模的认知实验数据来实证深度伪造视频对记忆篡改的可行性和持久性。鉴于当前的技术发展趋势，未来可以深入研究深度伪造实时检测技术，在它不断向真实完美的结果靠近过程中加入伦理审查机制。

### 参考文献

- [1] 英)弗雷德里克·C.巴特莱特著;黎炜译:记忆[M].浙江教育出版社, 1998, 263-265
- [2] 斯蒂芬·霍尔, Jacob Escobedo, 修改可怕的记忆[J].科技创业, 2013, (08):42-48
- [3] 赵国宁: 智能时代“深度合成”的技术逻辑与传播生态变革[J].新闻界, 2021(06):65-76
- [4] Philosophy & Technology (2021) 34:623-643
- [5] 白洁著: 记忆哲学[M]: 中央编译出版社, 2014:108.
- [6] (以)阿维夏伊·玛格利特著;贺海仁译. 记忆的伦理[M].北京: 清华大学出版社, 2015.01: 117
- [7] (法)莫里斯·哈布瓦赫著;毕然, 郭金华译. 论集体记忆[M].上海: 15



### 2.1.1 电源无环控

取两组电源有环控和无环控的基站，每组包含 50 个基站，对比两组基站电源类故障次数，通过综合网管统计全网数据，存在电源无环控的基站有 87 个，全网基站共 3012 个。占比  $87/3012 < 3\%$ ，占全网比例小，此项为非要因。

### 2.1.2 传输线路布放不规范

本次对比整改前后，基站线路故障次数变化情况。线路布放不规范是指线路裸露、浅埋、未架空等不规范问题，对于存在该问题的壶瓶山区域，统计整改前后一个月该区域基站线路类故障次数。如图 2 所示。

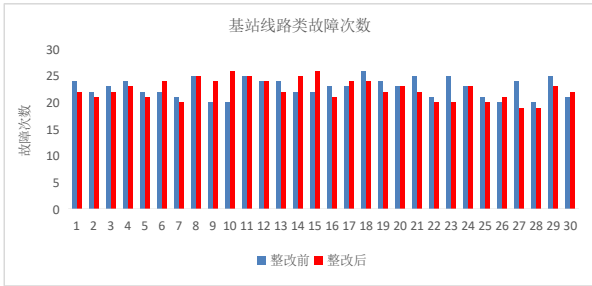


图 2 基站线路故障次数对比图

由计算可知，整改前该区域基站线路类平均故障次数为 22.8 次，实验后为 22.4 次，下降了约 0.4 次，影响幅度小。

结论：传输线路布放不规范对基站线路类故障次数影响较小，为非要因。

### 2.1.3 传输线路成环率低

传输线路成环率，指的是成环的传输设备和全网设备的比值<sup>[4]</sup>。若传输设备成环率低，一旦发生光缆故障，就会导致业务卡顿、中断等。

现将 8 组成环率低于 70%，与成环率高于 80%、90% 网络结构进行统计 100 次光缆中断，对比业务中断及恢复情况。如图 3 所示。

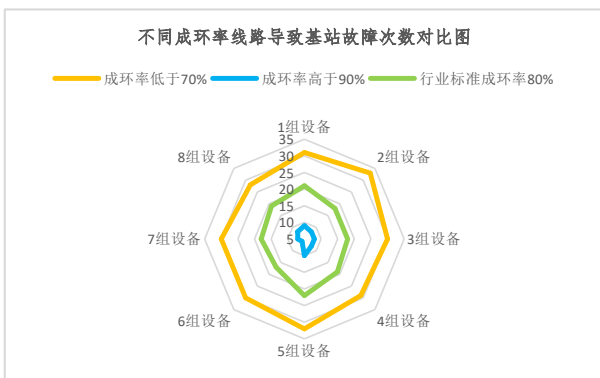


图 3 不同成环率故障次数对比图

结论：基站线路成环率增高，基站故障率明显降低。传输设备成环率对故障影响较大，确认为要因。

### 2.1.4 蓄电池性能差

统计不同性能蓄电池造成的基站故障情况。统计全网

700 个基站，分析 7 组不同性能蓄电池造成的基站故障情况，涉及的基站故障为 448 次 / 月均。在蓄电池性能下降的分组中，基站电源类故障快速增加，蓄电池性能和基站故障次数呈现强关联性。

结论：蓄电池性能对基站电源类故障影响大，则蓄电池性能为基站故障的要因。实验对比市电引入整改前后基站电源故障次数变化情况。选择 50 个存在市电引入不规范情况的基站，进行对比实验，对比市电整改前后基站电源故障次数。

### 2.1.5 市电引入不合标准

结论：结果显示，在进行市电引入整改后，基站电源类故障次数变化小，即市电引入不规范对基站电源类故障次数影响小，为非要因。

### 2.1.6 传输设备光功率低

统计对比同型号传输设备不同光功率情况下，接入的基站线路类故障次数。抽取 100 台型号相同的传输设备，对比不同光功率传输设备在同一段时间内，基站线路类故障次数如图 4 所示：

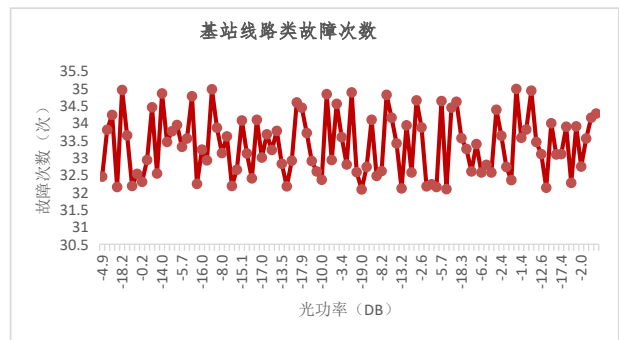


图 4 基站线路类故障次数

基站线路类故障次数期望值  $X = (a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_{100}) / 100 = 33.37\%$ ， $a_1, a_2, \dots, a_{100}$  分别是第 1、2、...100 台传输设备的光功率数值，方差  $D = [(a_1 - X)^2 + (a_2 - X)^2 + \dots + (a_{100} - X)^2] / 100 = 0.76$ ，方差值结果为 0.76，说明传输设备光功率引起的数据变化幅度小。

结论：传输设备光功率对基站线路类故障次数影响小，为非要因。

### 2.1.7 基站巡检频次低

调研某地市使用传统人工巡检，已部署 AI 智能巡检，澧县区域基站巡检频次 30 次 / 月，石门区域基站智能巡检频次 120 次 / 月。统计分析两区域内一年的基站故障率，澧县的故障率是 33%，石门的故障率是 21%。

结论：由上图可知基站巡检次数增加，故障率明显降低。基站巡检频次低对故障影响较大，确认为要因。

### 2.1.8 电源模块不足

抽取 50 个电源模块不足的基站，与标准电源模块基站对比故障次数，发现电源模块不足基站的基站电源类故障次数，相比标准电源模块基站较大，说明电源模块对基站电源

类故障次数影响大。全网电源模块不足的基站为 58 个，仅占全网基站数的约 2%。

结论：电源模块不足基站占比小，因此为非要因。

### 2.1.9 要因确认结果

由上文分析得出，最终确定了 3 个要因：传输设备成环率低、蓄电池性能差、基站巡检频次低。

## 2.2 降低 5G 基站故障率技术方案

采用智能城域网承载业务，将 IP-RAN 承载的业务割接上智能城域网，智能城域网成环率 100%，业务中断率大大降低。

蓄电池性能差，更换高性能蓄电池，通过正交实验优选 AI 智能基站蓄电池调度方案参数，基站 AI 智能调度准提升至 95% 以上，蓄电池性能差导致的故障率大幅下降。

基站巡检频次低，部署 AI 智能巡检监控系统，采用创新智能化隐患采集方式，采用 AI 智能巡检人工补充巡检，人机协作模式。

### 2.2.1 部署智能城域网

传输设备与线路在业务承载中占据了重要的地位。承载网络的质量好坏，直接影响用户的感知。针对承载网络成环率不足问题，小组对某区域先部署了智能城域网，并且将该区域内的业务逐步割接上智能城域网，并部署了智能保护机制，启用 SRv6+FlexE 技术实现：50ms 级故障检测、智能算路动态迂回、带宽资源弹性调整。

2024 年 1-3 月，某地市智能城域网已建成 552 台，2024 年 3-9 月，某地市联通 QC 小组将承载的业务逐步割接至智能城域网。线路故障数未有明显减少的情况下，由于成环保护，基站业务中断率下降了 48.85%，明显提高了用户的感知。

### 2.2.2 基站蓄电池智能 AI 检测调度

针对蓄电池性能差导致基站故障频发的问题，通过 AI 建模与正交试验优化蓄电池智能调度方案。选取电池健康度、基站等级、GIS 地理位置、电力停电时长四项核心参数，设置三水平级开展正交试验，筛选最优参数组合。

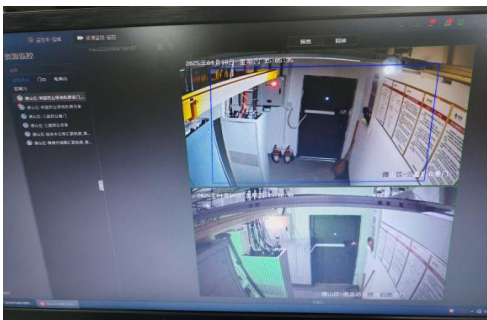


图 5 AI 智能监控系统

### 2.2.3 部署 AI 智能巡检巡查系统

全市部署 AI 智能巡检巡查系统，创新智能化隐患采集方式，传统的隐患收集主要依赖巡检人员电话上报，值班人员记录，专人汇总等方式。传统流程较复杂，且往往记录杂乱无章，隐患处理过程跟踪困难，不利于统一管理。

AI 智能化巡检数据采集主要包含隐患上报、隐患管理、及结果反馈等模块。隐患上报模块，实现了一键上传照片、自动定位和在线审核等功能。隐患管理模块，方便管理人员统计和跟踪隐患处理进度，落实隐患处理结果等。智能化隐患管理，让设备维护工作更有价值，实现隐患整治闭环管理。

平台会根据 AI 智能评估结果，提供专业化服务解决方案，智能匹配维护人员。平台会进行故障等级，匹配就近人员，维护人员根据方案情况，迅速定位故障，并快速解决问题。

2024 年 3 月-2024 年 7 月，小组完成了 3012 个基站巡检智能覆盖。通过智能工单系统实现隐患 2 小时内定位、4 小时修复闭环。AI 智能巡检较传统模式效率提升了 8 倍，基站故障率下降了 11%，工单处理效率提升了 55%。

## 2.3 效果评估

全部对策实施后，分析统计指标，实施前故障率为 32.58%，实施后为 20.5%，目标达成。QC 活动后，统计三个月数据，全网有 9367 个故障，基站电源和基站线路故障数下降 16%。

## 3 结语

本文以降低 5G 基站故障率为目标，从故障成因、运维优化、技术创新三方面开展系统研究。实践表明，所提综合方案可显著提升基站运行稳定性，减少故障次数、缩短修复时长，降低运维成本，有效保障用户通信体验与网络服务质量。

未来随着 5G-A 与 6G 技术发展，基站架构更趋复杂，网络切片、毫米波等应用对网络可靠性提出更高要求。后续研究将重点聚焦数字孪生深度应用、AI 算法优化升级、全域协同运维建设三大方向，持续提升基站故障预测与自愈能力。

## 参考文献

- [1] 杜红,唐倩,刘香倩,等.认知无线电中的频谱感知技术及其应用综述[J].通信技术,2025,58(10):1029-1039.
- [2] 李永飞,刘庆涛.提升VoLTE客户感知的优化分析方法浅析[J].中国新通信,2019,21(13):82.
- [3] 王鹏,薛凌云.传输时延问题研究和解析[J].江苏通信,2018,34(04):34-37.

# Research on an Intelligent Inspection System for Self-Focusing Lens End Face Defects Based on Machine Vision and Deep Learning

Qian Wu Yiqi Fang Jun Yang\* Yang Zhang

Xijing College, Xi'an, Shaanxi, 710123, China

## Abstract

To address the long-standing reliance on manual visual inspection for end-face defect detection in optical communication self-focusing lenses (GRIN lenses)—characterized by low efficiency and high false-positive rates—this paper proposes and implements an intelligent inspection system integrating machine vision and deep learning. The system employs high-precision industrial cameras with telecentric optical imaging structures, combined with a customized XYZ three-axis motion platform and a negative-pressure adsorption flexible clamping mechanism, enabling highly stable imaging and automated sample handling of lens surfaces. Algorithmically, an end-to-end detection pipeline comprising “Retinex enhancement—adaptive filtering—Otsu segmentation—lightweight CNN classification” is developed, achieving precise micron-level defect identification while suppressing glass reflectivity interference. Pilot-scale trials conducted through industry-academia collaboration demonstrated that the system maintains a detection accuracy exceeding 99.2% for defects  $\geq 500$  nm, delivers imaging resolution superior to 300 nm, reduces single-piece inspection time from 15 seconds to 8 seconds, and lowers overall quality inspection costs by 32%. This system provides a high-precision, reliable quality inspection solution for optoelectronic device manufacturing, while establishing a scalable engineering paradigm for industry-academia integration and domestic production of critical inspection equipment in the context of smart manufacturing.

## Keywords

self-focusing lens; machine vision; defect detection; deep learning; intelligent manufacturing; industry-education integration

# 基于机器视觉与深度学习的自聚焦透镜端面缺陷智能检测系统研究

吴倩 方伊琪 杨军\* 张洋

西京学院, 中国·陕西 西安 710123

## 摘要

针对光通信自聚焦透镜 (GRIN Lens) 端面缺陷检测长期依赖人工目检、效率低、误检率高的问题, 本文提出并实现了一种融合机器视觉与深度学习的智能检测系统。系统采用高精度工业相机与远心光学成像结构, 结合定制化XYZ三轴运动平台及负压吸附柔性夹持机构, 实现透镜端面的高稳定成像与自动流转。算法层面, 构建“Retinex增强—自适应滤波—Otsu分割—轻量化CNN分类”的端到端检测流水线, 在抑制玻璃高反光干扰的同时, 实现微米级缺陷的精准识别。校企联合中试表明, 系统对 $\geq 500$  nm缺陷的检出率稳定在99.2%以上, 成像分辨率优于300 nm, 单件检测节拍由15 s降至8 s, 综合质检成本降低32%。该系统为光电子器件制造提供了高精度、高可靠性的质量检测解决方案, 同时为智能制造背景下产教融合与关键检测装备国产化提供了可推广的工程范式。

## 关键词

自聚焦透镜; 机器视觉; 缺陷检测; 深度学习; 智能制造; 产教融合

## 1 引言

随着 5G 通信、数据中心及物联网的快速发展, 光通信

【作者简介】吴倩 (2005–), 女, 中国陕西宝鸡人, 在读本科生, 从事机器视觉、缺陷检测研究。

【通讯作者】杨军 (1981–), 男, 中国四川达州人, 硕士, 讲师, 从事教育管理、思想政治教育研究。

无源器件需求持续增长, 自聚焦透镜作为光路耦合与信号传输的核心元件, 其端面质量直接决定光传输损耗与系统稳定性 [1]。目前, 国内透镜制造企业仍以人工显微镜目检或半自动化抽检为主, 存在主观性强、漏检率高、难以适配高速产线等问题, 严重制约产品质量一致性与交付能力 [2]。传统光学性能检测 (如折射率分布、数值孔径测量) 虽可评估功能参数, 却无法高效识别崩边、划痕、针孔等微观表面缺陷。在此背景下, 引入机器视觉与人工智能技术实现端面质

量的自动化、智能化检测，已成为光电子制造产业升级的迫切需求。

本文依托校企协同创新平台，针对自聚焦透镜端面缺陷检测的产业瓶颈，设计并实现了一套智能化视觉检测系统。系统阐述其硬件架构、算法流程与工程实现路径，并通过实验验证其在工业环境下的检测性能与应用价值，旨在为高端光学元件质检提供可复制的技术方案，同时探索高校科研成果向产业转化的有效机制。

## 2 行业背景与市场需求分析

光电子产业是现代信息社会的物理基础。据行业预测，至2026年全球光纤通信与光器件检测市场规模将突破630亿元。我国虽占据全球自聚焦透镜产能的60%以上，但高端质检设备长期依赖进口，核心算法与精密光学组件受制于人，国产替代空间广阔。国家政策层面，《“十四五”智能制造发展规划》与《关于推动未来产业创新发展的实施意见》均明确提出，要加快机器视觉、工业AI在精密制造环节的渗透，突破关键检测装备“卡脖子”技术[5]。

自聚焦透镜端面缺陷主要包括崩边、划痕、针孔与麻点四类，尺寸多在微米至亚微米量级，极易引起光散射与模式失配，导致通信链路衰减加剧[6]。传统人工检测产能一般低于200件/小时，漏检率高达5%—8%，且难以形成可追溯的质量数据闭环。随着AI视觉检测成本下降与算力普及，行业正加速向“高分辨率、高帧率、高稳定性”的智能质检转型。本项目紧扣这一产业痛点，以机器视觉替代人工判读，以深度学习赋能缺陷分类，契合了光通信产业链向高端化、智能化演进的历史趋势，具备显著的市场前瞻性与工程落地价值。

## 3 系统总体架构与硬件设计

本检测系统以“高稳定性成像+精准运动控制+智能算法决策”为核心设计理念，采用模块化架构，主要由机械输送单元、光学成像单元与数据处理终端三部分构成。

### 3.1 机械输送单元

基于XYZ三轴精密步进电机滑台设计，结合负压吸附机械手，实现透镜的自动取放、姿态调整与双端面翻转采集。X-Y轴负责水平定位，Z轴控制升降高度，确保透镜端面始终处于光学系统的最佳焦平面与视场中心。夹持机构采用柔性硅胶吸盘，避免刚性接触导致的微裂纹扩展，适应直径2mm—5mm的微型透镜批量作业。

### 3.2 光学成像单元

光学成像单元是系统的感知核心。经多轮选型对比，采用MV-EM200M黑白CCD工业相机（200万像素，1600×1200分辨率，20fps帧率）搭配TML20×150S小型工业远心镜头。远心镜头具有极低畸变（0.02%）与高景深一致性，有效消除透视误差，保障边缘缺陷的几何保真度。照明系统选用可调角度白色环形LED光源，通过背光/明

场混合打光策略，抑制玻璃材质的高反光干扰，凸显划痕与麻点的灰度对比度。所有光学组件通过定制底座与滑块机构实现同轴度精密调节，确保光路稳定。

### 3.3 数据处理终端

硬件系统支持流水化作业：机械手完成单件定位后，相机触发采集，图像经USB3.0高速传输至工控机，处理结果实时反馈至分拣机构，实现合格品与不良品的自动归类。整套装置结构紧凑、抗振性强，可无缝嵌入现有封装产线。

## 4 图像处理与智能识别算法

算法流水线是决定检测精度与速度的关键。本系统构建了“预处理-分割-特征提取-智能分类”四级处理架构。

### 4.1 图像预处理

针对透镜端面图像存在的照度不均与表面反光问题，采用Retinex算法进行动态范围压缩与对比度增强，恢复暗部细节。随后，引入自适应中值滤波与双边滤波组合策略，在保留边缘锐度的同时有效抑制高斯噪声与椒盐噪声，为后续分割奠定基础。

### 4.2 缺陷分割

结合Otsu全局阈值法与局部自适应阈值算法，实现目标与背景的精准分离。针对崩边与划痕的线性特征，应用Canny边缘检测与Hough变换提取轮廓几何参数；针对针孔与麻点的点状特征，采用形态学开闭运算与连通域分析，提取面积、圆度、灰度方差等12维形态学特征向量。

### 4.3 智能分类

传统阈值与规则方法在复杂缺陷交叉或光照波动时易产生误判。为此，系统后端集成轻量化卷积神经网络(CNN)分类模块。通过收集校企联合产线的数千张标注样本，构建包含正常、崩边、划痕、针孔、麻点五类数据集，采用数据增强（旋转、缩放、亮度扰动）提升模型泛化能力。网络结构引入注意力机制与残差连接，在保持低计算开销的同时，实现微米级缺陷的高精度分类。算法整体Pipeline经CUDA加速优化，单帧处理耗时控制在50ms以内，满足产线节拍要求。

## 5 改进YOLOv8s-4GCW算法设计

### 5.1 基准算法选择

对YOLOv8n、YOLOv8s、YOLOv8m三种模型进行对比实验。结果表明，YOLOv8s在检测精度(mAP@0.5=84.7%)和计算效率(GFLOPs=28.7G)之间取得最佳平衡，因此选择YOLOv8s作为基准模型。

### 5.2 算法改进策略

#### 5.2.1 引入分组混洗卷积块

为降低模型计算复杂度，在主干网络中引入分组混洗(GS)卷积块替代传统卷积。GS卷积通过分组卷积和逐点卷积的组合，在保持特征提取能力的同时减少参数量。实验表明，引入GS卷积后，模型计算量从28.4G降至26.6G，

帧率从 212.89 F/t 提升至 227.17 F/t。

### 5.2.2 嵌入坐标注意力机制

为增强模型对缺陷位置信息的感知能力，在颈部网络嵌入坐标注意力（CA）模块。CA 机制将位置信息编码到通道注意力中，通过水平和垂直方向的池化操作，捕获长程依赖关系。实验显示，添加 CA 模块后，mAP@0.5 提升 1.7% 至 86.4%，且计算量仅增加 0.1G。

### 5.2.3 增加 P2 检测层

针对微小缺陷易漏检的问题，在检测头增加 P2 检测层（特征图尺寸 160×160）。P2 层利用浅层特征，减少多次下采样导致的小目标信息丢失。实验表明，增加 P2 层后，微小目标检测精度提升 1.1%。

### 5.2.4 采用加权交并比损失函数

将原 CIoU 损失函数替换为加权交并比（WIoU），通过动态非单调聚焦机制，在训练过程中自适应调整梯度增益分配。实验显示，替换损失函数后，mAP@0.5 提升 0.3%，计算量下降 1.7G。

综合上述改进，提出 YOLOv8s-4GCW 算法。最终模型 mAP@0.5 达到 88.6%，较原 YOLOv8s 提升 3.9%，精确率提升 2.6%。

## 6 实验验证与成果案例

为验证系统有效性，项目组依托省级重点实验室与陕西威尔机电科技有限公司联合开展中试测试。实验平台按硬件配置搭建，采集多批次自聚焦透镜端面图像共计 1500 余组，涵盖不同光照条件与生产批次。

测试结果表明：在标准工况下，系统对  $\geq 500$  nm 的微小缺陷检出率稳定在 99.2% 以上，成像有效分辨率达 300 nm，测量重复性误差控制在  $\pm 0.003$  mm 内。相较于人工检测，单件检测周期由 15 s 缩短至 8 s，产线吞吐率提升 49%；同时，因误判返工率下降，综合质检成本降低 32%。典型缺陷的采集与识别结果清晰呈现：崩边区域边缘灰度突变被精准勾勒；划痕的走向与深度通过形态学骨架提取清晰呈现；麻点与针孔经连通域分析实现亚像素级定位。算法模型在测试集上的分类准确率达 98.7%，F1-score 优于 97.5%，具备较强的工程鲁棒性。

## 7 应用价值分析

对客户而言，系统价值体现在三个维度：经济效益上，

替代 2-3 名质检员 / 班次，年节省人力成本超 20 万元，投资回收期通常  $< 12$  个月；质量管控上，实现 100% 全检覆盖与缺陷溯源，满足 ISO9001 与车规 / 医疗级元器件认证要求；战略升级上，设备具备 API 接口与 MES 系统对接能力，助力企业数字化转型。

## 8 结论与展望

本文针对自聚焦透镜端面缺陷检测难题，提出一种基于改进 YOLOv8s 的智能检测算法。主要贡献如下：

（1）构建了包含 3907 张图像的自聚焦透镜端面缺陷数据集，通过中值滤波预处理和精细化标注，为算法训练提供高质量数据支撑；

（2）提出 YOLOv8s-4GCW 算法，通过引入 GS 卷积块、坐标注意力机制、P2 检测层和 WIoU 损失函数，使 mAP@0.5 达到 88.6%，较原算法提升 3.9%，有效解决了微小缺陷漏检问题；

（3）开发了基于 PyQt5 的人机交互界面系统，实现了从图像导入、模型训练到缺陷检测的全流程自动化，未知样本检测准确率达 83.3%-100%，具备工程应用价值。

未来工作将从以下方面展开：扩充复合缺陷样本，提升模型对多缺陷并发场景的识别能力；探索模型轻量化技术，在保持精度的同时降低计算资源消耗；优化人机交互界面，增加数据统计、质量追溯等功能，提升系统易用性。

本研究为光电子器件智能制造提供了可靠的技术方案，对推动我国光学元件质检装备国产化具有重要工程价值。

### 参考文献

- [1] 全国光学和光子学标准化技术委员会(SAC/TC 103). 光学零件表面疵病: GB/T 1185—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [2] 邵延华, 冯玉沛, 张晓强, 等. 基于深度学习的光学元件表面疵病识别[J]. 强激光与粒子束, 2022, 34(11): 112002.
- [3] 侯劲尧, 刘卫国, 周顺, 等. 基于卷积神经网络的光学元件表面缺陷图像分类[J]. 应用光学, 2023, 44(3): 677-683.
- [4] 向弋川, 林有希, 任志英. 光学元件表面缺陷检测方法研究现状[J]. 光学仪器, 2018, 40(1): 78-87.
- [5] 胡泽波, 郭忠达, 李宏, 等. 球面光学元件表面疵病视觉检测方法研究[J]. 光学与光电技术, 2023, 21(1): 21-27.
- [6] 王伟, 李娜, 赵磊. 光通信无源器件端面缺陷对传输性能的影响[J]. 光学精密工程, 2021, 29(5): 1023-1031.