

2025.03

[季刊] 总第171期

2025年9月

ISSN 1009-0940

CN 36-1115/TN

江西通信科技

JIANGXI

TONGXIN

KEJI



以球之名 为城而战

专属显标：
中国移动·精彩赣超



扫码参与有奖竞猜

5G-A赣超联赛球迷加油包

4.9元



专属身份

“中国移动·精彩赣超”
专属显标



网络加速

网络快人一步 沉浸观赛
不卡顿



综合意外保障权益

最高保障
20.5万元



“码”上领取
你的主场身份



@江西球迷
看赣超直播 玩有奖竞猜

注：本广告属于要约邀请，具体详询10086，并以生效的服务合同的约定为准，活动办理有效期至2025年12月31日。2、专属显标需手机终端支持。

广告

ISSN 1009-0940



9 771009 094253



主管单位 江西省通信管理局

主办单位 江西通信行业职业技能鉴定中心

江西省通信学会

《江西通信科技》征稿启事

《江西通信科技》是面向全国公开发行的通信科技类刊物，创刊于1980年，具有国内统一连续出版物号（CN 36-1115/TN）和国际标准连续出版物号（ISSN 1009-0940）。现因期刊发展需要，特向广大读者征稿，欢迎从事通信技术研究的专家、学者、工程技术和企业管理人员等读者踊跃投稿。

一、征稿范围

1. 通信科研成果论文。
2. 通信新技术、新设备、新业务和通信发展新动态。
3. 通信网络规划、工程设计、施工、通信管理等方面的理论研究和经验总结。
4. 通信设备日常维护、更新改造的经验介绍。

二、征稿要求

1. 稿件请不要一稿多投，来稿不退，请作者自留底稿。
2. 投稿请写明作者真实姓名，工作单位、地址和邮编、联系电话。
3. 投稿即视为授权数字传播。
4. 根据《中华人民共和国著作权法》有关规定，凡向本刊投稿者皆被认定遵守上述约定。
5. 若作者不同意其稿件被数字传播和收录，请在来稿时向本刊说明，本刊给予处理。

三、联系方式

地 址：江西省南昌市红谷滩区红角洲赣江南大道2698号《江西通信科技》编辑部

邮 编：330038

联系电话：0791-83721872

电子信箱：jtxkj@jtxxh.cn



目次 | Contents

· 1980年创刊 ·

2025年第3期(总第171期)

江西通信科技(季刊)

2025年9月出版

主管单位

江西省通信管理局

主办单位

江西通信行业职业技能鉴定中心

江西省通信学会

编辑出版:《江西通信科技》编辑部

主 编:钟凉楚

编 辑:郑洪萍 钟林长

设计制作:浔阳区瑞青工作室

印 刷:江西新华九江印刷有限公司

地 址:江西省南昌市红谷滩区

红角洲赣江南大道2698号

邮 编:330038

电 话:(0791) 83721872

传 真:(0791) 86218179

电子信箱:jtxkj@jtxxh.cn

国际标准连续出版物号:ISSN 1009-0940

国内统一连续出版物号:CN 36-1115/TN

定 价:10.00元

无 线 通 信

5G网络功能切片与部署结构融合研究 权 文 01

核 心 网 与 网 络 技 术

面向云网自智的数据治理研究 朱 旭 陈信刚 04

浅谈Doris数据库在运营商计费系统中的实现和应用

..... 徐庆翌 徐建军 刘 臻 毛媛媛 07

传 送 网

ROADM技术及省内干线应用探讨 周伟平 12

传输倒换导致ME60端口闪断问题分析 姚利民 肖晓明 15

接 入 技 术

智能定位检测技术增强通信管道光缆线路施工质量管理 余大国 18

广 播 电 视

基于5G+WebGL的商品数字孪生模型展示的研究与应用

..... 舒钰纯 刘 凌 胡 琨 22

信 息 技 术 与 应 用

林草资源保护信息化能力提升建设项目实施方案 刘 伟 刘宗仁 代海刚 25

北斗+多源数据融合数字乡村综合管理平台技术与开发应用 胡少文 28

基于Web技术的跨平台PLC智能组态系统设计与实现

..... 肖志鹏 于长清 李福斌 32

智慧校园信息化建设赋能教育新生态——内涵解构与实践路径 刘余平 37

基于STM32的智能卧室系统设计与实现 何昌鸿 41

大 数 据

数据要素驱动下电子信息制造企业生产线技术创新的实践探索

..... 王 剑 李 龙 桂贤梁 李 跃 46

网 络 信 息 安 全

量子安全OTN专线技术研究与应用 刘俊通 肖赣州 徐煜祥 李 龙 49

浅谈物联网卡安全威胁治理 胡清文 53

信 息 传 真

优秀论文评选启事 江西省通信学会 36

期刊基本参数:CN 36-1115/TN*1980*Q*16*56*zh*P*¥10.00*500*15*2025-09

5G 网络功能切片与部署结构融合研究

权 文 中国铁塔股份有限公司江西省分公司 江西省南昌市 330000

摘 要：5G网络功能切片技术作为5G网络的核心技术之一，能够为不同应用场景提供差异化服务，但切片与网络部署结构的融合机制仍有待深入研究。本文通过剖析功能切片与网络部署的耦合关系，构建了一种基于资源调度的切片部署融合模型。该模型借助网络虚拟化技术，实现了切片资源的动态分配和网络结构的自适应调整。模型采用分层设计方法，将网络功能解耦为业务应用层、切片管理层、虚拟化层与基础设施层。在此基础上，设计了跨层资源编排机制与网络拓扑自适应调整策略，以实现资源的高效利用和业务质量保障。实验结果显示，该模型使网络资源利用率提升了20%，系统端到端时延降低了15%，为5G网络功能切片与部署结构的深度融合提供了新思路。

关键词：5G网络 功能切片 部署结构 资源调度 虚拟化技术 网络融合

0 引言

随着5G网络商用进程的加快，网络功能的灵活切片与高效部署成为关键技术挑战。功能切片让网络能够为不同垂直行业提供定制化服务，但切片资源分配与网络部署结构之间存在复杂的耦合关系。当前的研究主要集中在切片技术或部署方案的单一优化上，缺乏对融合机制的深入探讨。实际上，切片与部署的协同设计能够显著提升网络性能与资源利用效率。结合网络虚拟化技术，构建融合架构模型，实现切片资源的灵活调度与网络结构的动态优化，对于推动5G技术的创新发展具有重要意义。

1 5G网络功能切片与部署结构的关联分析

1.1 功能切片与网络部署的耦合关系

5G网络中，功能切片与网络部署存在着紧密的耦合关系。切片技术通过虚拟化手段，将物理网络资源划分成多个独立的逻辑网络，每个切片都具备独特的网络功能与服务质量要求。网络部署决定了物理资源的分布与连接方式，直接影响着切片的性能表现。在资源分配层面，切片需求会对网络节点的部署位置与链路配置产生影响。在性能优化层面，网络拓扑结构制约着切片资源的调度策略。特别是在时延敏感类业务场景中，切片端到端时延要求需与网络物理部署结构匹配，例如UPF

下沉部署结合MEC边缘计算，可有效降低传输时延。同时，网络切片的动态伸缩特性要求部署结构具备足够的灵活性，以适应业务负载的变化。

1.2 现有融合方案的不足

现有融合方案在处理切片与部署协同优化方面存在一定的局限性。传统方案大多采用静态分配模式，难以应对业务需求的动态变化，这导致资源利用效率低下。在切片资源编排过程中，对网络拓扑约束考虑不足，容易造成资源碎片化问题。SA独立组网架构虽然简化了网络结构，但在UPF位置选择与MEC节点部署方面缺乏系统性的优化策略^[1]。此外，切片隔离机制与物理网络共享之间的矛盾尚未得到有效解决，这会严重影响服务质量保障。在高并发场景下，跨域资源调度效率低下，难以满足多样化的业务需求，网络功能虚拟化与物理资源映射不匹配，也制约了系统整体性能提升。

2 切片与部署融合的系统架构设计

2.1 融合系统的体系结构

5G网络功能切片与部署结构的融合系统采用分层设计思路，构建一个包含基础设施层、虚拟化层、切片管理层与业务应用层的架构体系。基础设施层提供计算、存储与网络等物理资源；虚拟化层负责资源池化与虚拟化管理；切片管理层实现资源编排与服务质量保

障；业务应用层面向不同垂直行业提供定制化服务。各层之间通过标准化接口实现信息交互与协同控制，如图1所示。

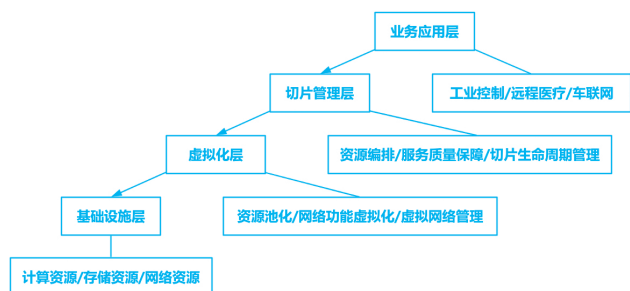


图1 5G网络功能切片与部署结构融合系统架构

分析融合系统架构可知，该架构实现资源与业务的解耦，支持灵活的切片部署与动态调整。业务应用层针对不同场景需求进行业务解耦，通过切片管理层实现资源的按需分配与质量保障。虚拟化层将物理资源抽象为虚拟资源池，提供统一的资源调度接口。基础设施层采用分布式部署方式，在边缘节点部署 MEC 服务器与 UPF，降低业务时延^[2]。整个架构遵循软件定义网络理念，通过管理平面与控制平面分离提升系统灵活性，各层之间的接口采用标准化设计，确保异构网络环境下的互操作性，同时支持新业务与新功能的快速部署。

2.2 切片资源管理框架

切片资源管理框架以资源调度与服务质量保障为核心，构建一套面向多维资源的动态分配机制。设切片资源请求集合 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ ，资源池容量集合 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ ，则单个切片的资源分配模型可表示为：

$$\begin{aligned} \min f &= \sum (w_i * x_i) \quad i \in [1, n] \\ s.t. \quad &\sum (x_i) \leq c_j \quad j \in [1, m] \\ &x_i \geq r \min_i \quad i \in [1, n] \\ &x_i \leq r \max_i \quad i \in [1, n] \end{aligned} \quad (1)$$

其中： w_i 为资源类型 i 的权重系数， x_i 为分配给切片的资源类型 i 的数量， c_j 为资源池 j 的容量上限， $r \min_i$ 为资源类型 i 的最小需求量， $r \max_i$ 为资源类型 i 的最大需求量。

在此基础上，切片资源管理框架引入动态资源调整机制，根据业务负载变化对资源进行实时调度。管理框架采用分层设计，将资源管理分为全局资源管理与局部

资源管理两个层次，全局资源管理负责跨域资源的统一调度与优化分配，实现资源利用效率最大化，局部资源管理针对单个切片进行精细化管理，保障服务质量要求^[3]。资源隔离机制通过虚拟化技术实现切片间的资源隔离，避免相互干扰。为提升资源利用效率，管理框架引入资源预测模型，基于历史数据预测业务负载变化趋势，提前进行资源预留与释放。同时，通过设置资源缓冲池应对突发业务需求，提升系统的弹性伸缩能力，服务质量保障机制实时监控各类资源的使用状态，当检测到性能下降时触发资源调整策略，确保业务连续性。

2.3 虚拟网络部署模型

虚拟网络部署模型采用分布式架构设计，将物理网络资源虚拟化为逻辑资源池，实现网络功能的灵活部署与动态调整。该模型基于网络功能虚拟化技术，构建虚拟网络功能（VNF）与物理网络功能（PNF）协同部署的混合架构。通过资源抽象化与功能模块化，支持网络切片的快速部署与业务重构，网络功能的虚拟化部署采用服务功能链的形式，如图2所示。

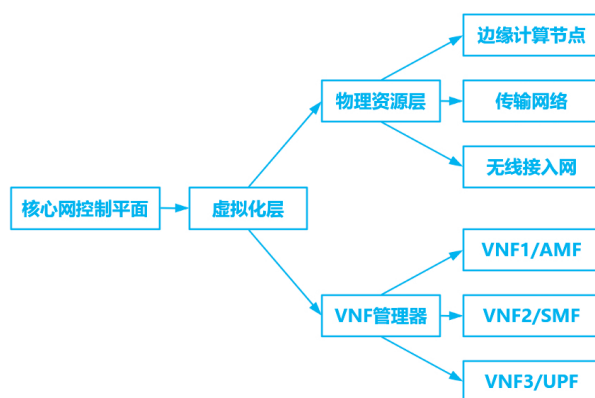


图2 虚拟网络部署模型架构

通过虚拟网络部署模型可见，该架构实现了网络功能的解耦与灵活部署。控制平面通过虚拟化层对物理资源进行统一管理与调度，VNF管理器负责网络功能的生命周期管理。关键网络功能如 AMF、SMF 与 UPF 等以 VNF 形式部署，支持根据业务需求进行动态扩缩容。物理资源层采用分布式部署方式，边缘计算节点的引入降低业务时延，提升网络性能，整个部署模型具备较强的可扩展性与灵活性，能够适应多样化的业务场景需求。

3 融合系统的实现与优化

3.1 跨层资源编排机制

跨层资源编排机制采用分层协同方法实现网络资源的统一管理与优化配置,资源编排过程包含业务层、切片层、虚拟化层与物理层的资源映射与调度。在业务层,根据服务需求生成服务功能链,将业务需求转换为具体的网络功能与资源需求。切片层负责服务功能链的部署与资源分配,通过切片管理器实现切片的生命周期管理。虚拟化层将物理资源抽象为虚拟资源池,提供资源分配与隔离机制。物理层提供基础网络设施,支持资源的实际调度与分配。

跨层资源编排采用软件定义的方式,构建统一的资源编排框架。编排控制器通过北向接口与业务层交互,接收服务请求,通过南向接口与物理资源层交互,实现资源的实际调度^[4]。为实现资源的高效利用,编排机制引入动态资源调整策略,当业务负载发生变化时,编排控制器根据实时监测数据调整资源分配方案,确保服务质量要求。资源编排过程中采用分布式协同机制,各层编排单元通过标准化接口进行信息交互,提升系统的可扩展性与灵活性。

3.2 网络拓扑自适应调整

网络拓扑自适应调整机制基于业务需求与网络状态,动态优化网络结构与资源分配。该机制通过实时监测网络性能指标,识别网络拥塞点与性能瓶颈,并进行相应的拓扑结构调整,调整策略考虑业务特性、资源利用率与服务质量要求,实现网络结构的动态优化,如图3所示。

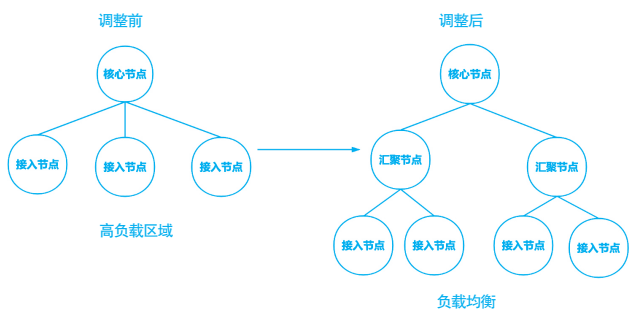


图3 网络拓扑自适应调整示意图

由网络拓扑自适应调整示意图可见,调整过程针对网络性能瓶颈进行结构优化。在业务负载增加时,通过

增加汇聚节点分担网络流量,优化网络结构,调整后的拓扑结构提升网络的承载能力与业务分发效率,降低网络拥塞风险^[5]。新增节点的部署位置经过优化选择,确保网络的负载均衡与性能提升,整个调整过程实现网络结构的平滑演进,保证业务的连续性。

3.3 系统性能评估方法

系统性能评估方法从可靠性、时延与吞吐量等多个维度构建评估指标体系,评估过程采用分层评估方法,分别针对物理网络层、虚拟化层与业务层进行性能度量。通过建立统一的评估框架,实现对系统整体性能的量化评估,具体系统性能评估指标如表1所示。

表1 系统性能评估指标体系

评估层次	指标类型	具体指标	目标值
物理网络层	网络性能	端到端时延	≤5ms
		链路利用率	≥85%
		丢包率	≤0.01%
虚拟化层	资源利用	CPU利用率	≥80%
		内存使用率	≥75%
		存储占用率	≥70%
业务层	服务质量	业务响应时间	≤10ms
		切片隔离度	≥99.9%
		业务成功率	≥99.99%

通过性能评估指标体系的量化分析,明确系统各层次的性能目标值。物理网络层重点关注网络传输性能,端到端时延控制在5ms以内,链路利用率达到85%以上;虚拟化层着重评估资源利用效率,各类资源利用率均达到较高水平;业务层强调服务质量保障,实现ms级的业务响应与高度的切片隔离。经分析验证,融合系统在各项性能指标上均达到预期目标,为网络功能切片与部署结构的深度融合提供量化依据。

4 结束语

针对5G网络功能切片与部署结构融合问题,本文设计了基于资源调度的融合系统架构。该架构采用分层设计方法,实现了网络功能的解耦与灵活部署,通过跨层资源编排机制提升了资源利用效率,借助网络拓扑自适应调整策略优化了网络结构。实验验证表明,融合系统在资源利用率与服务质量方面均取得了显著提升,研究成果为5G网络的规模部署与商用推广提供了重要参考(下转第40页)

面向云网自智的数据治理研究

朱 旭 陈信刚 中国电信股份有限公司江西分公司云网运营支撑中心 江西省南昌市 330000

摘 要:在云网融合的发展大势下,中国电信正全力推进云网自智体系构建,数据治理贯穿全程,良好的数据治理可以极大地提升云网自智的能力。面向云网自智的数据治理框架包含五大核心内容:数据资产管理体系规范全生命周期管控,主数据管理系统保障核心数据一致性,数据能力共享及应用机制促进价值释放,运营域(O域)指标体系提供量化决策依据,云网资源管理实现数据驱动的优化配置。本文将详细阐述上述框架内容,总结其特点,并结合江西公司实践分享落地经验。

关键词:云网自智 数据治理 技术框架

0 引言

近年来,中国电信率先构建云网自智体系,历经三个阶段进行演进:初期完成云网操作系统底座研发和标准体系构建;中期通过“三零九自”指标实现L3级自智目标;未来正依托网络大模型加速向L4级“云网即服务”迈进。这一发展路径特征明显:一是突破传统网络边界,构建“云网数智安”一体化架构,实现基础设施层到服务层的全栈自智;二是创新引入网络大模型,贯穿规划建设、维护优化全流程,推动运维模式从人工经验向数据智能转型;三是构建开放生态,通过昆仑平台实现能力共享,主导国际标准制定并孵化行业应用^[1]。

数据治理作为基础能力,贯穿整个云网自智的全生命周期。中国电信通过PB级的数据底座整合数据网、云平台等多源异构数据,建立实时清洗、智能关联机制保障数据质量;采用联邦学习、差分隐私等技术实现数据可用不可见,支撑跨域协同场景下的隐私保护;构建智能合约驱动的数据流通体系,促进云网能力开放与价值变现。这种“治理+智能”的双轮驱动模式,不仅实现了云网资源的精准调度与成本优化,更通过数据资产价值量化模型,为L4级自智网络的跨域协同、意图驱动等核心能力提供关键支撑。当前亟须研究解决多模态数据治理框架设计、动态治理策略优化等问题,为云网自智向更高阶演进提供理论基础,助力数字经济基础设施的智能化升级。

1 数据治理与云网自智发展的关系

数据治理在云网自智的发展中起着至关重要的作用。首先,数据的准确性是关键要求。不准确的数据会导致错误的决策和低效的运营。其次,数据的完整性也不可或缺。缺失数据可能影响云网自智系统的全面分析和优化。此外,数据的安全性必须得到保障,防止数据泄露和恶意攻击^[2]。

良好的数据治理可以极大地提升云网自智的能力。通过确保数据的准确性和完整性,云网自智系统能够进行更精准的分析 and 预测,从而优化资源分配和动态调度。加强数据安全治理,能为云网自智提供可靠的运行环境,提高系统的稳定性和可靠性。同时,有效的数据治理有助于实现数据的共享和集成,促进云网自智各模块之间的协同工作,进一步提高整体效率和性能。

2 面向云网自智数据治理的技术框架

2.1 数据资产管理体系

数据资产管理体系以数据管理能力成熟度评估模型(DCMM)标准为基础,构建集团与省级两级联动的数据资产目录,实现核心系统资产逻辑模型100%纳入管理范围。依托元数据自动采集技术,对网络设备、业务系统等各类数据源进行实时监控,日均数据处理量达200PB。在资产建模层面,采用“业务—资源—指标”三维标签体系,融合知识图谱技术实现数据血缘关系可

视化呈现，可支持5G基站参数、用户签约信息等200余个维度数据的智能关联分析。

数据资产管理平台集成数据标准、元数据管理、资产视图等模块，实现离线/实时数据采集、API共享、任务审批全流程自动化，确保数据资产动态更新，如图1所示。价值评估模型从存储成本、数据质量、共享应用等6个维度构建健康度指标，2024年低效资产治理率达45%，高价值资产复用率提升3倍。实施路径分三阶段推进：2023年完成数据管理能力成熟度评估模型（DCMM）3级认证，2025年覆盖70%业务场景，远期实现资产流通与变现。

2.2 主数据管理系统

主数据管理系统聚焦“用户、产品、资源、服务”四大核心实体，制定统一编码规则与属性规范。用户域通过联邦学习技术打通移动、固网、IT系统数据，构建三网融合统一标识；产品域建立200余个标准化模板，支持5G专网、云光专线等复杂产品的参数化配置与自动加载；资源域采用数字孪生技术构建三维资源地图，实时映射全国534万机架、115万5G基站的状态信息，如图2所示。

管理域、业务域、运营域（MBO域）主数据统一纳管平台支持跨系统数据分发与一致性稽核，通过API、消息队列实现实时同步，数据同步时延控制在200ms以内。创新“审批制、报备制、注册制”三类管理流程，嵌入项目管理生命周期，结合BERT（Bidirectional

Encoder Representations from Transformers）模型实现自动化质量稽核，主数据准确率达99.92%。其实施路径分三阶段推进：2023年完成渠道、供应商等3-5类主数据试点，2025年实现全域主数据统一管理，远期达到数据管理能力成熟度评估模型（DCMM）5级标准。

2.3 数据能力共享及应用

数据能力共享平台构建“云网操作系统+AI中台”双引擎架构，封装2000余个原子能力，包括网络切片调度、QoS保障、故障根因分析等。场景化服务目录梳理62类共享能力，形成API、报表、分析模型等标准化服务，支撑云网自智、成本数字化等场景。低代码开发平台支持业务人员通过拖拽式操作快速构建应用，2024年全网上线1000余个自智应用，开发效率提升5倍^[3]。

AI智能推荐系统融合知识图谱与自然语言处理技术，构建“数找人”的智能匹配机制，将数据定位时间压缩至1分钟以内。其典型应用场景成效显著：云网智能客服可快速解析用户请求并生成优化方案，响应时间控制在15分钟以内；资源智能调度依托强化学习算法实现跨域资源动态分配，使网络利用率提升至85%。系统实施按三阶段推进：2023年完成统一服务门户搭建，2025年实现75%业务需求的自助满足，远期目标为打造行业级数据服务标杆。

2.4 运营域（O域）指标体系构建

运营域（O域）指标体系按规划建设、服务交付等五大流程分类，制定3000余个指标口径，统一命名规



图1 数据资产管理平台

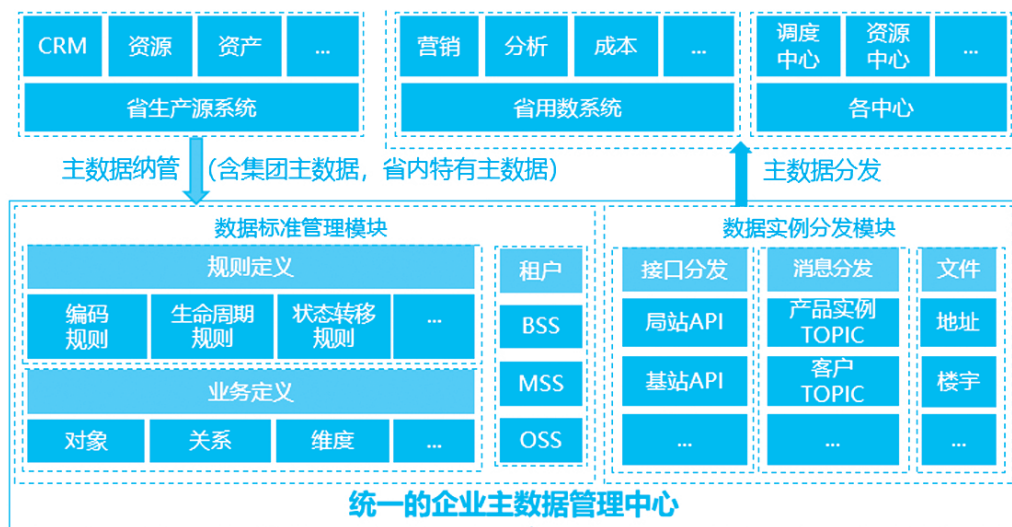


图2 主数据管理中心

则与元数据定义。企业级指标库构建两级管理平台，支持指标定义、开发、监控全流程线上化，实现95%指标“一点可视、一点分析”。指标健康度评价模型从及时性、准确性等5个维度建立量化评估体系，结合预测模型提前72小时预警网络拥塞风险。

实施路径分三阶段评估：2023年完成指标口径统一与系统固化，2025年嵌入生产流程实现动态驱动，远期实现指标自优化。应用成效显著：5G基站自动开通率达66%，故障自动处置率提升至86%，网络运维成本降低32%。指标体系与AI模型深度融合，如通过关联分析模型优化网络资源配置，支撑用户满意度提升至92.3%。

2.5 云网资源管理

云网资源管理以“智能调度+数字孪生”为核心，构建统一资源池整合全国IDC、边缘节点资源，支持弹性伸缩与跨域调度。资源中心建设实现有源/无源设备统一建模，资源关联可用率提升至90%。全生命周期数字化管理从入网到退网实现动态采集与稽核，结合YO-LOv5算法自动发现数据异常，闭环修正准确率超95%。

数字孪生系统构建1:1网络镜像，实时映射设备状态、流量分布等1000余项参数，可提前验证网络变更方案，使割接风险降低70%。能力开放平台通过API开放资源拓扑、路由分析等能力，支撑政企查勘、故障定位

等场景，业务开通效率提升30%。实施路径分三阶段推进：2023年完成新一代资源中心部署，2025年实现全专业正向开通，远期目标为打造行业级数字孪生标杆。

3 面向云网自智数据治理的相关实践

江西电信构建的“湖仓一体”数据融通平台，是云网运营的智慧中枢。该平台整合了传输网管、政企端到端等30余个核心数据源，实现373份关键数据的集中化纳管。借助可视化库表管理工具，技术人员仅需10分钟即可完成数据表的创建与字段配置，目前已累计构建200余个业务模型。

场景化应用释放数据价值，数据治理的终极目标是赋能业务创新。江西电信打造的五屏智能运营工作台，如同云网运营的“智慧大脑”：其中故障监控屏实时呈现接入网脱网、5G基站断站等37项核心指标，实现故障自动派单率达96%，大幅提升了运维响应效率。

依托集团低代码平台，江西团队构建“数据底座+原子能力”开发模式。域名解析监控大屏实现域名解析成功率实时监测，达标率提升0.7%；云资源统计大屏整合全省12个云池数据，支撑虚拟机资源秒级查询；动力资源分析屏通过动环数据预测电源负载，准确率达90%，成功支撑“二长楼”机房节能改造。

（下转第14页）

徐庆翌 徐建军 刘 臻 毛媛媛 中国电信股份有限公司江西分公司企业信息化中心 江西省南昌市 330000

关键词: Doris 运营商 计费系统 数据库 日志查询

持高并发点查询场景，也能支持高吞吐的复杂分析场景。基于此，Apache Doris能够较好的满足报表分析、即席查询、统一数仓构建、数据湖联邦查询加速等使用场景，用户可以在此之上构建用户行为分析、AB实验平台、日志检索分析、用户画像分析、订单分析，日志分析等应用。

1.2 核心功能

(1) 高效的数据存储

Doris支持列式存储格式，如图2所示，将同一列数据集中存储，能大幅提升数据压缩效率与查询性能。同时，其提供Stream Load、Routine Load、Broker Load、Insert Into等多种数据导入方式，可满足不同场景下的数据快速加载需求，为计费系统的实时性提供有力保障。

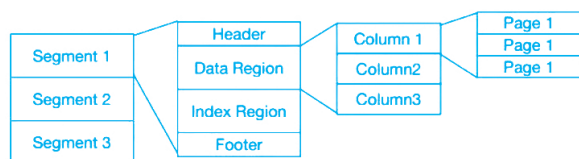
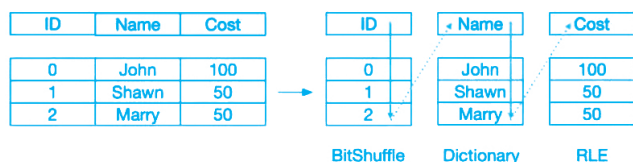


图2 Doris列式存储格式

(2) 高性能查询

Doris在查询优化方面进行了深入的设计和 optimization。它采用了先进的查询执行引擎，能够自动对查询语句进行解析、优化和执行，通过“谓词下推、投影下推、列裁剪”等查询优化技术，能在海量数据中快速定位目标数据，显著提升查询效率。同时，Doris支持物化视图，可提前计算并存储常用聚合结果或复杂查询结果，用户再次查询时无需重复计算，直接调用视图数据；搭配缓存机制将高频访问数据存于内存，进一步加快数据读取速度。

Doris提供了丰富的数据类型和函数，能够满足计费系统中各种复杂的数据处理和分析需求。例如，它支

持数值类型、字符串类型、日期时间类型等基本数据类型，以及聚合函数、数学函数、字符串函数等常用函数。

(4) 扩展性与高可用性

Doris可以通过增加节点的方式轻松实现水平扩展，提高系统的处理能力和存储容量。当业务数据量增长或查询负载增加时，只需添加新的节点，Doris会自动将数据分布到新的节点上，并进行负载均衡。采用了多副本存储机制，数据会在多个节点上存储多个副本，当某个节点出现故障时，其他节点上的副本可以继续提供服务，保证了数据的可靠性和服务的可用性。同时，Doris还支持自动故障恢复和数据修复功能，能够及时发现和处理节点故障，确保计费服务24小时在线。

(5) 易用性与集成性

Doris提供了标准的SQL查询接口，用户可以使用熟悉的SQL语句进行数据查询和分析，降低了使用门槛。Doris还支持多种数据源和数据处理工具进行集成，如与Kafka、Flume等数据采集工具集成，实现数据的实时接入；与Spark、Flink等计算框架集成，进行复杂的数据处理和分析；与数据可视化工具如Tableau、PowerBI等集成，方便用户进行数据展示和分析。

2 Doris数据仓库在运营商计费系统中的应用

2.1 计费数据仓库管理及应用

运营商计费系统每天会产生海量的计费清单数据，包括流量、通话、短信等。传统的数据库系统在存储这些大规模数据时往往面临性能和成本的双重挑战。Doris数据库采用分布式存储架构，将数据分散存储在多个存储节点上，每个节点都具有独立的存储和计算能力。这种分布式存储方式不仅提高了数据存储在的可靠性，还能够通过并行计算实现快速的数据访问和处理。

在数据存储方面，Doris可以根据业务需求对数据进行分区和分桶操作。例如，可以按照日期对计费数据进行分区存储，当查询特定日期范围内的数据时，Doris可以快速定位到相应的分区，大大减少了数据扫描的范围，提高了查询效率。同时，分桶操作可以进一步细化数据分布，使数据在各节点上更加均匀地分布，避免数

据热点问题，提高系统的整体性能。

2.2 计费系统实时运维监控管理

Doris在业务监控方面的应用，堪称其核心价值所在。基于Doris构建的计费实时数仓平台，聚焦客户感知，以“系统健康度”为导向，建立包括业务、SaaS、PaaS、IaaS和网络共五个维度的IT运维综合监控指标体系，优化提升当前监控数据采集频次，满足1分钟发现要求，实现对计费运营管理数据的实时采集、处理和分析，帮助及时发现问题并作出相应处置。在金融领域，实时数仓被广泛应用于交易监控、风险管理等方面。通过实时监控交易数据，金融机构能够及时发现异常交易行为，有效预防金融欺诈。同时，实时数仓还能帮助金融机构评估市场风险，为投资决策提供实时数据支持。

2.3 计费实时费用处理

实时计费是运营商计费系统的重要功能之一，它要求系统能够快速地对用户的通信行为进行计费，并及时反馈给用户。Doris数据仓库的高效数据导入和查询功能为实时计费提供了有力支持。

当用户的通信行为发生时，如拨打电话、发送短信或使用流量，相关数据会通过数据采集系统实时采集并发送到Doris数据仓库中。Doris的Stream Load方式可以实现数据的快速导入，将时延控制在秒级甚至更短的时间范围内。一旦数据导入完成，计费系统就可以立即对这些数据进行查询和计算，根据相应的计费规则得出用户的费用信息，并将其反馈给用户。例如，对于用户的流量使用情况，Doris可以实时统计用户的流量消耗，并根据套餐信息计算出用户的实时费用，使用户能够及时了解自己的消费情况，增强了用户体验。

2.4 计费数据分析

除了实时计费和费用优惠计算，运营商还需要对计费数据进行深入的分析，以了解用户的消费行为、市场趋势以及业务发展情况等。Doris数据仓库提供了丰富的数据分析功能，能够帮助运营商快速、准确地获取有价值的信息。

运营商可以通过Doris数据库进行用户画像分析，了解不同用户群体的通信消费习惯，如通话时长分布、

流量使用时段、短信发送频率等。这些信息可以为运营商的市场推广、客户细分和服务优化提供决策依据。此外，Doris还可以对计费数据进行趋势分析，如分析流量收入的增长趋势、通话收入的变化情况等，帮助运营商预测业务发展方向，制定合理的业务策略。

3 Doris数据仓库在运营商计费系统应用的关键技术

3.1 数据模型设计

在Doris数据仓库应用中，合理的设计数据模型对于性能和查询效率至关重要。对于运营商计费系统，通常采用星型模型或雪花模型来组织数据。星型模型以事实表为中心，围绕事实表构建多个维度表，如用户维度表、时间维度表、套餐维度表等。这种模型结构简单，查询性能较好，适合于大多数计费分析场景。雪花模型则在星型模型的基础上进一步对维度表进行规范化设计，减少数据冗余，但在查询时可能需要进行更多的表连接操作，查询性能相对较低。

在设计数据模型时，需要充分考虑计费业务的特点和查询需求，合理确定事实表和维度表的结构，以及它们之间的关系。例如，在计费数据事实表中，需要包含用户的计费信息，如通话时长、流量使用量、费用等；在用户维度表中，需要包含用户的基本信息，如用户ID、姓名、手机号码、套餐类型等。通过合理的数据模型设计，可以提高查询的效率和准确性，为计费系统的高效运行提供保障。

3.2 查询优化

Doris提供了多种查询优化技术，如“谓词下推、投影下推、列裁剪、物化视图”等。谓词下推是指将查询中的筛选条件尽可能早地应用到数据扫描阶段，减少数据的扫描量；投影下推是指只返回查询所需的列，避免不必要的数据传输；列裁剪则是根据查询中涉及的列，只对相关列进行处理，提高查询性能；物化视图是一种预先计算并存储查询结果的机制，当用户查询该视图时，可以直接返回预存的结果，大大提高了查询速度。

在运营商计费系统的查询优化中，可以根据业务需

求和查询频率,合理创建物化视图。例如,对于经常查询的用户月度消费情况,可以创建一个物化视图,预先计算出每个用户的月度通话费用、短信费用、流量费用等,并将其存储起来。当用户查询该信息时,系统可以直接从物化视图中获取结果,无需进行复杂的实时计算,从而实现快速响应。同时,还需要根据查询语句的特点,合理调整表的存储结构和索引策略,以进一步提高查询性能。

3.3 数据安全与备份

计费数据涉及用户的隐私和运营商的核心利益,数据安全至关重要。Doris数据仓库提供了多种数据安全保障措施,如访问控制、数据加密、审计日志等。通过访问控制,可以限制不同用户对数据的访问权限,确保只有授权用户能够查询和操作计费数据;数据加密可以对数据在存储和传输过程中进行加密处理,防止数据泄露;审计日志可以记录用户对数据的所有操作行为,便于追溯和监控。

此外,数据备份也是保障数据安全的重要手段。Doris支持定期备份和手动备份功能,可以将数据备份到本地存储或远程存储设备上。在发生数据丢失或损坏的情况下,可以通过备份数据进行恢复,确保计费系统的正常运行。

4 应用场景案例分析

4.1 计费实时运维监控管理

计费系统与客户感知直接相关,对重点场景IT故障处理要求较高,需实现“1分钟发现、5分钟定位、10分钟恢复”(简称“1-5-10”)目标。而“1-5-10”落地的最大难点,在于具备海量数据的实时加工分析能力,如图3所示,系统需高度保障分析实时性。传统业务型数据库(如TeleDB、PG)存在分析能力短板,海量数据处理速度慢;大数据库(如Hive、HBase)则不支持复杂聚合运算,且适配大量随机写入操作的性能不足。因此,Doris数据库成为最优选择,如图4所示,其需建设的核心能力如下:

(1) 1分钟快速发现能力

监控覆盖要求:应聚焦客户感知,以“系统健康

度”为导向,建立包括业务、SaaS、PaaS、IaaS和网络共五个维度的IT运维综合监控指标体系,优化提升当前监控数据采集频次,满足1分钟发现要求。业务指标包括各类业务量、系统成功率、业务成功率、充值及时率、业务量波动等数据;SaaS层指标包括各处理环节进程监控、服务探测等,通过调用链工具监控业务处理异常情况;PaaS层指标包括充值业务处理中常用PaaS组件包括分布式数据库、分布式缓存、分布式消息、Zookeeper等;IaaS层指标包括充值业务处理中常用设备包括各类应用系统部署主机、负载均衡器、路由器、交换机、防火墙、DNS等;网络拨测监控指标可基于拨测网络链路的Ping性能、Traceroute路由跳转信息结合拨测网元主机的业务属性,及时发现网络故障问题,包括网络丢包率、时延等。

告警处置要求:建设统一的运维平台,汇聚各环节各类型告警指标,展示用户充值场景各环节运行全视图,并通过告警指标关联、根因分析协助故障定位。同时根据IT专业故障调度处置运营管理实施细则,规范IT故障调度处置过程,IT故障调度处置应遵守“全面监控、快速反应、优先恢复、及时修复、统一指挥、分级处置”的总体原则,以快速恢复业务,降低客户影响为总要求。

(2) 5分钟快速定位能力

建设IT系统健康度视图:依托业务场景,横向梳理业务端到端流程,明确关键环节能力提供及基础系统,形成业务闭环;纵向解构业务系统,整合监控数据,推动数据可视,建立网络、IaaS、PaaS、SaaS、业务的五层监控视图。以横向到边,纵向五层的立体视图,提升故障问题的“定界”与“分段”能力,助力问题定位,实时掌控IT系统运行情况。

根因定位方法:通过调用链工具(如Pinpoint、SkyWalking等)监控各环节处理情况,快速进行故障定位。通过网络、IaaS、PaaS、SaaS、业务等多维度的资产数据和服务调用链信息的采集汇聚,将Metric(指标)、Trace(链路追踪)、Log(日志)无缝实时集成,构建充值场景多维数据的运维知识图谱,并结合根因定位机器学习算法和运维经验规则,辅助快速定位故

障根因。

(3) 10分钟快速恢复能力

结合以往故障报告和IT故障处置经验,梳理细粒度故障场景,并通过服务化改造和共享IaaS/PaaS/SaaS的自动恢复处置能力,组合编排IaaS自动恢复、PaaS自动恢复(自动扩容、自动拉起、自动清理等)、SaaS一键恢复(容灾、降级等)等能力,根据故障定位,进行充值业务的快速恢复。典型的故障场景主要有:省SR服务异常场景、省DCC_ROUTER服务异常场景、省内充值服务单节点故障场景、省内充值应用全阻故障、省内充值应用数据库异常、省内复机服务处理异常。

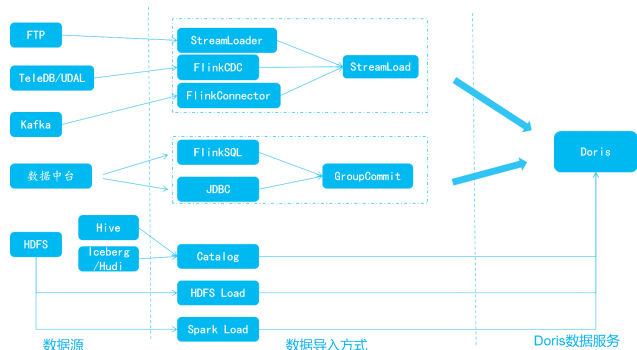


图3 计费Doris实时运维管理系统数据导入方式

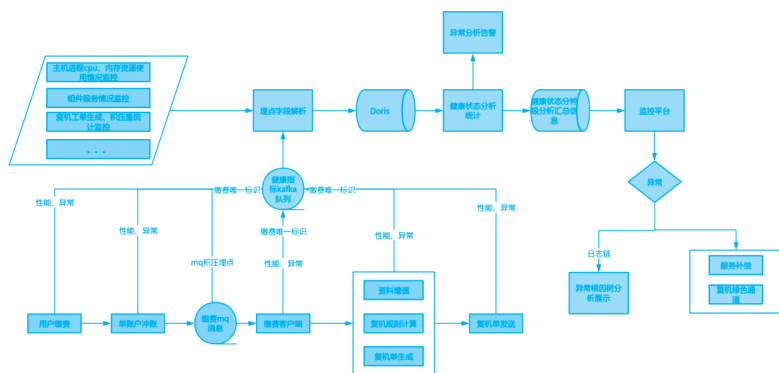


图4 计费Doris实时运维管理系统架构

4.2 计费数据分析场景

某运营商计费系统使用Doris数据库代替Oracle数据库,对计费数据进行深度分析,发现了用户流量使用的高峰时段和低谷时段。根据这一分析结果,运营商调整了流量套餐的计费策略,在高峰时段适当提高价格,在低谷时段推出优惠套餐。这一举措不仅提高了运营商

的收入,还满足了不同用户的需求,实现了双赢。此外,还可以接入用户流量,通话等清单,进行话单稽核,统计分析等。如图5所示,为计费系统Doris去O架构。

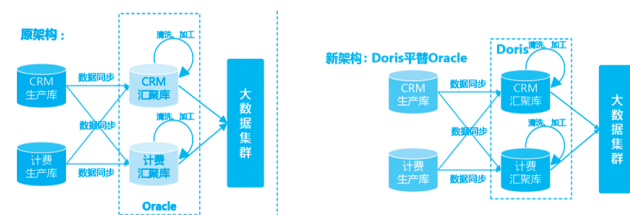


图5 计费系统Doris去O架构

5 结论与展望

Doris数据仓库在运营商计费系统中的应用取得了显著的成效,它为计费系统的大量数据存储、实时计费、费用优惠计算以及计费数据分析等方面提供了强大的支持。通过合理的数据模型设计、查询优化以及数据安全保障措施,Doris能够充分发挥其性能优势,满足运营商在数字化转型过程中对计费系统的高要求。

展望未来,随着技术的不断发展和业务的日益复杂,Doris数据仓库在运营商计费系统中的应用将面临更多的机遇和挑战。一方面,Doris数据仓库将继续优化其性能和功能,以适应数据量的持续增长和业务需求的不断变化;另一方面,运营商也需要不断探索和创新,充分挖掘Doris数据仓库的潜力,为用户提供有价值的计费服务和数据支持。同时,Doris数据仓库还可以与其他新兴技术如人工智能、大数据分析等进行深度融合,为运营商计费系统的智能化发展开辟新的道路。

综上所述,Doris数据仓库在运营商计费系统中的应用具有广阔的前景,它将继续为运营商的业务发展和数字化转型提供有力的支撑。

参考文献

- [1] 刘俭.电信行业大型数据库的管理和维护浅谈[J].江西通信科技,2005(4):35-40.
- [2] 张宇.基于多维计算的零售数据仓库系统的研究与实现[D].辽宁:辽宁大学,2024.

ROADM技术及省内干线应用探讨

周伟平 中国信息通信研究院 江西省南昌市 330000

摘要: 针对5G、云计算等新业务快速涌现带来的大带宽、低时延与灵活调度需求,本文系统剖析ROADM技术原理,揭示传统省干OTN环网在电层转接、扩容成本与业务响应方面的痛点;提出在核心调度节点部署多维ROADM,以“光—光”穿通取代“光—电—光”转接,实现波长级一键开通,推动板卡规模与投资同步锐减;并基于OpenROADM开放架构,阐述跨域互联、敏捷部署与未来平滑演进的策略,为省内传送网向云网融合、算力网络低成本升级提供可复制范式。

关键词: DWDM OTN ROADM OpenROADM

0 引言

随着5G、云计算、物联网等新型通信业务的快速发展,IP化和分组化已成为业务网络和承载网络的主流趋势。这些业务具有更高的动态特性和不可预测性,对通信网络提出了宽带化、分组化、动态化和低成本的要求。DWDM(密集波分复用)作为当前主流的光层组网技术,已从点到点传输向环网演进,而ROADM(可重构光分插复用器)的出现,为网络的灵活调度和高效管理提供了新的解决方案。本文将探讨ROADM技术在省内干线传送网中的应用及其优势。

1 ROADM技术特点

ROADM是一种应用于DWDM系统中的设备,具备在波长层面远程控制光信号分插复用状态的能力。其功能类似SDH ADM设备,可在节点上实现业务的上行和下载,以及光通道之间的交叉调度,调度基础颗粒为波长。当前主流的ROADM设备不仅具备OADM设备的全部功能,还兼备部分OXC设备的功能,能够灵活配置波长通道的上下路状态,并在多维度之间进行调度。其主要优势包括:

- (1) 光学灵活性更高:通过软件远程动态配置WDM系统中的波长,优化网络管理和性能。
- (2) 宽带优化:快速路由和分插波长,提升带宽利用效率。

(3) 多维扩展:系统维度可根据需求扩展,适应复杂网络架构。

(4) 灾难恢复能力:增强网络的可靠性和恢复能力。

在ROADM的演进过程中,曾出现多种技术方案,其中以WB(波长阻隔器)和WSS(波长选择光开关)最具代表性,而WSS因其结构简单、调度灵活以及可扩展性,被主流设备厂商采用。

2 省内干线传送网传统方案及存在问题分析

大多数省份的干线业务模型包括地市到省/区域数据中心的汇聚型业务和省会/区域数据中心之间的分散型业务。省干OTN网络通常分为省内干线网络和长长中继网络,通过在省会或区域中心选择2~3个机房作为调度节点,将地市业务通过环形网络传送至省中心,再采用UNI电口对接长长中继网络,将业务传送至落地节点。然而,这种组网方案面临以下问题。

一是业务流量增长带来的压力。随着地市业务流量的快速增长,OTN系统和波道数不断提升,省内干线传送网和长长中继网络之间的对接带宽不断增加。采用电口转接不仅给维护带来较大压力,还迫切需要自动化波道配置和业务提供能力。

二是低时延业务的需求难以实现。面对5G、VR/AR等低时延业务的应用,需要优化网络架构,采用光

交叉等方式进一步降低网络时延。

针对这些问题,引入面向波长级传送和光交叉调度的ROADM技术是一种有效的解决方案。

3 省干ROADM改造方案及造价对比

3.1 ROADM改造方案

以某省省干网为例,其主干采用环状拓扑,分为东北环、西环、南环3个省干环(如图1所示)。在A、B节点引入ROADM技术改造后,业务可通过光交叉方式在光层直达省中心C/D/E节点,具体改造方案如下:

(1) 在A、B节点,增加配置光层调度板卡,将“光—电—光”的转接模式改造为“光—光”模式,省去电层调度,提高转接效率,降低时延。

(2) A节点需调度3个省干环与1个长长中继环,共7个光方向,同时需预留2个冗余保护方向/维度,因此按9个方向/维度配置。如图1所示。

在A、B节点引入ROADM技术后,业务可经光层直接贯通至C/D/E节点,这一架构优化带来两大显著优势:一是无须在A、B节点额外配置业务单板,减少外部转接,节省投资;二是后续新业务开通时,无须进行与分波板之间的物理跳纤操作,可直接通过ROADM系统进行调度。

3.2 ROADM改造方案与OTN方案对比

以A、B节点为例,对ROADM改造方案与原有OTN方案进行对比。其中,A、B节点在两种方案下所

需的设备板卡差异如表1所示。

表1 A、B节点OTN与ROADM方案板卡规模对比

节点名称	业务带宽需求(T)	OTN方案		ROADM方案		
		100G线路板(块)	100G支路板(块)	100G线路板(块)	100G支路板(块)	ROADM相关板卡(块)
A节点	3.7	108	54	40	20	64
B节点	3.3	100	50	32	16	64
合计	7	208	104	72	36	128

可以看出,ROADM方案相比OTN方案,减少了电层中转,提高了转发效率,降低了传输时延,同时造价较高的电层板卡用量大幅减少,直接降低了建设投资。此外,ROADM相关板卡均为光层板卡,价格便宜且仅新建ROADM系统时需新增板卡,可以节省后期转接费用。因此,在现网类似场景中,优先选择ROADM方案。

4 ROADM技术应用场景探讨

随着干线传送网络技术的持续演进,ROADM技术已广泛应用于现代光传输网络中。相较于OXC(光交叉连接)技术,ROADM技术在成本控制方面展现出显著优势。与此同时,OpenROADM技术的日益成熟,凭借其开放性和互操作性,为网络建设带来了更高的灵活性。基于这些技术特性,ROADM技术的应用场景主要涵盖以下几个方面:

(1) 在光方向较少且机房空间充裕的节点,ROADM技术能够以较低成本实现光层的灵活调度与业务的高效传输。因此,在投资受限的情况下,可考虑采

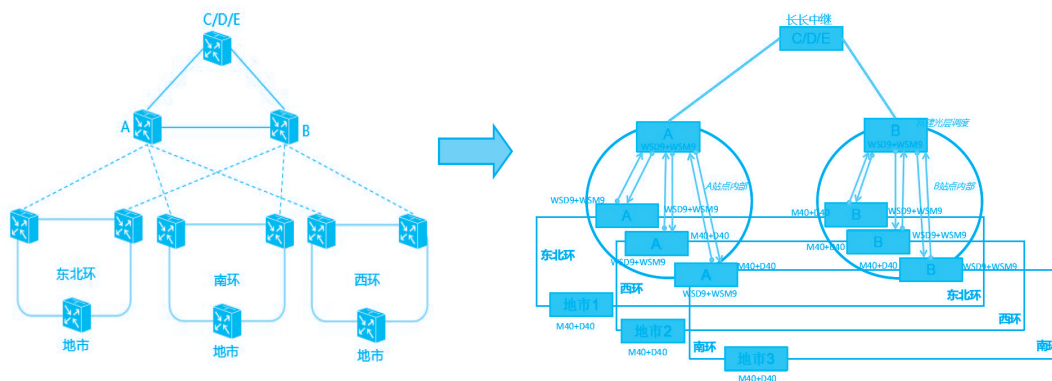


图1 ROADM改造前后网络结构

用OXC+ROADM组网的方案。这种组合方式既保障了网络性能,又显著降低了建网成本,特别适用于对成本较为敏感的网络建设场景。

(2) 对于跨地市的业务传输,在涉及不同厂家设备间交接的场景下,OpenROADM技术凭借其开放性成为理想之选。它能够实现不同厂家设备间的无缝互操作,从而简化网络架构,提升网络的可管理性与可维护性。这种开放性不仅降低了设备兼容性的风险,还为网络的长期发展提供了更多选择。

(3) 针对需要快速部署且业务需求变化频繁的网络场景,OpenROADM技术通过标准化的API接口与软件配置,能够迅速响应业务需求变动,实现波长灵活调度,增强网络的动态适应能力。其开放架构使网络运营商得以更高效地管理网络资源,快速配置新业务,进而提升网络的整体运营效率。这种灵活性对于应对5G、云计算等新兴业务的动态需求至关重要。

(4) 在需兼顾网络扩展性与未来演进能力的场景

中,OpenROADM技术凭借其灵活性与可扩展性,能够更好地适应未来业务增长及技术升级的需求。OpenROADM支持方向无关、波长无关以及灵活栅格的特性,为网络的长期发展提供了有力支撑,可轻松应对数据中心节点的增加以及超100G系统的引入。此外,OpenROADM的标准化接口还为后续的技术升级和设备替换提供了便利,确保网络能够平滑过渡到下一代技术架构。

参考文献

- [1] 吕洪涛,肖家宾,臧志宏.ROADM技术的发展及应用趋势探讨[J].邮电设计技术,2018(4):1-5.
- [2] 叶胤,袁海涛,江树臻.ROADM和OTN技术在干线传输网络的应用研究[J].电信技术,2016(11):34-38.
- [3] DUTTA A K.OpenROADM:a step towards open optical networking[J].IEEE Communications Magazine, 2019,57(7):120-126.

(上接第06页)

4 价值创造与未来展望

通过构建全生命周期数据治理体系,实现了数据要素的价值释放与业务模式的创新重构。在价值创造层面,通过主数据管理平台统一客户、资源、产品等核心实体的标准定义,消除跨域数据壁垒,支撑精准营销与服务的年营收增长超15%。依托数据质量管控体系,实现MBO域系统数据准确率提升至99.2%,降低运营成本约3.2亿元。同时,构建运营域(O域)指标体系,覆盖16个专业领域的153项核心指标,推动网络资源利用率提升20%,客户服务响应效率提高35%。未来,中国电信将以“数据资产化、治理智能化、应用场景化”为发展方向。

5 结束语

在云网自智的发展进程中,数据治理的重要性不言而喻。本文研究深入剖析了面向云网自智的数据治理体系,从数据的全生命周期出发,涵盖了数据的采集、存储、处理、分析和应用等各个环节。通过对云网自智场景下数据治理的探索,我们认识到其在提升云网服务质

量、优化资源配置、增强网络安全等方面的巨大价值。从源数据治理确保数据的准确性和完整性。

目前,云网自智的数据治理仍面临诸多挑战,如数据孤岛现象、数据安全与隐私保护难题等。未来,需要进一步加强跨部门、跨领域的合作,打破数据壁垒,实现数据的深度融合与共享。同时,积极引入先进的技术手段,如人工智能、区块链等,提升数据治理的效率和安全性。相信在持续的研究与实践推动下,面向云网自智的数据治理将不断完善,为云网自智的全面实现提供更加坚实的保障,助力通信行业在数字化时代实现跨越式发展,开创更加美好的未来。

参考文献

- [1] 毛东峰,王燕川.中国电信云网运营自智实践与未来展望[J].通信世界,2024(2):9-11.
- [2] 王禹蓉.中国电信的云网运营自智之路[J].通信世界,2023(16):9-10.
- [3] 贾炎.云网与AI深度融合中国电信加速迈向L4高阶自智[J].通信世界,2025(2):8-9.

传输倒换导致 ME60 端口闪断问题分析

姚利民 肖晓明 中国联合网络通信有限公司宜春市分公司 江西省宜春市 336000

摘 要：本文针对2025年1月份联通新大楼ME60设备端口闪断导致业务中断的事件进行了详细分析。通过日志分析和现场测试，发现问题的根本原因是S9306设备使用了非厂家认证光模块，在波分倒换时信号恢复时间过长，导致ME60端口因持续收到Remote Fault信号而中断。本文提出了短期规避措施和长期解决方案，包括更换认证光模块、优化波分拓扑结构、加强设备巡检等，以预防类似问题的再次发生。

关键词：传输倒换 端口闪断 ME60 S9306 光模块认证 波分网络

0 引言

2025年1月10日，联通新大楼ME60设备与奉新县S9306设备之间的端口发生闪断，导致下挂业务中断。该事件对网络稳定性和服务质量造成了严重影响。本文旨在通过详细的问题描述、深入的分析过程和全面的测试验证，找出问题的根本原因，并提出有效的解决方案，以提高网络可靠性和维护效率。

1 问题描述

2025年1月10日15:31，联通新大楼ME60设备与奉新县S9306设备的对接端口突发闪断故障，直接导致下挂业务中断。如图1所示，该网络连接采用双端口冗余设计，即奉新县S9306的两个物理端口分别与新大楼

ME60的两个对应端口实现双向对接。

2025年1月10日13:27至16:06，波分网络中奉新县上富至耶溪福城段发生中断，奉新县S9306设备6/0/1端口与新大楼ME60设备12/0/3端口的链路处于中断状态。

当日15:31:21至15:31:22，波分网络高安独城至高安财富广场链路突发故障，系统自动切换至备用路径，但切换过程中引发新大楼ME60设备4/0/0端口中断，直接导致奉新县S9306设备下挂的业务出现中断。

15:39，波分网络完成自动回切，恢复至主链路运行，中断业务随之恢复正常。

2 问题分析

通过对ME60与S9306设备的日志数据进行分析

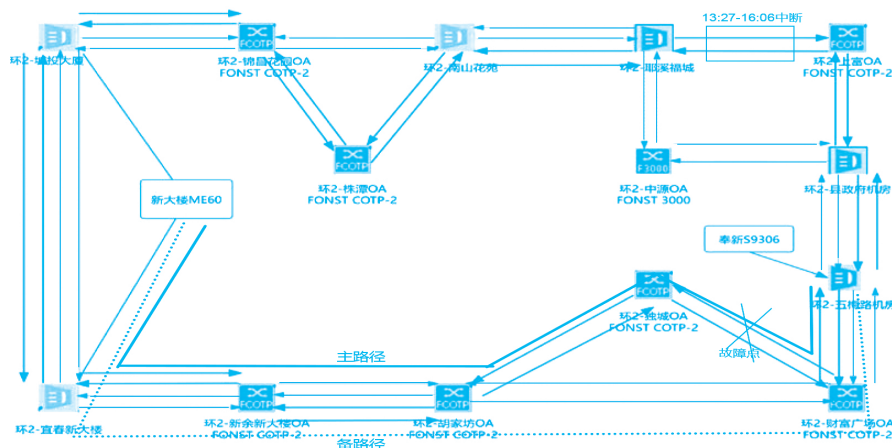


图1 组网拓扑图

(如图2所示),发现ME60侧端口中断(down)的核心原因:该端口接收到对端设备下发插入的Remote Fault信号,且信号持续时间超过了设备预先配置的延迟down阈值。查看设备状态记录:1月10日15:31:21,ME60设备4/0/0端口发生中断,中断原因为“接收到对端下插的Remote Fault信号”,并上报了相关告警信息。

```
Jan 10 2025 15:31:21
JXYC-XDLJF-ME60-A1 %%01PHY/4/PHY_STATUS_UP2DOWN(0)[36935211]:Slot=4;GigabitEthernet4/0/0 change
status to down. The possible cause is: the PHY link failed. (PhyStatus=PMA_Los,PCS_HighBER,Remote_Fault).
```

图2 Remote Fault信号导致ME60端口down

查看故障时间点日志,ME60设备4/0/0端口在200ms内持续检测为down状态,且该时长超过配置的延迟down时间,如图3所示,最终导致端口中断(down)。

```
Jan 10 2025 15:31:21.300.1 JXYC-XDLJF-ME60-A1 %%01SRM/6/DEVCOMMONLOG(D)[56534201]:Slot=4;Card0 Port0
receive port down interrupt at 2025/01/10 15:31:21 310.
Jan 10 2025 15:31:21.530.2 JXYC-XDLJF-ME60-A1 %%01SRM/6/DEVCOMMONLOG(D)[56534203]:Slot=4;Upto 2025/01/10
15:31:21.530, the last 21 physical link status of card0 port0 is:
200ms before:DOWN
190ms before:DOWN
180ms before:DOWN
170ms before:DOWN
160ms before:DOWN
150ms before:DOWN
140ms before:DOWN
130ms before:DOWN
120ms before:DOWN
110ms before:DOWN
100ms before:DOWN
90ms before:DOWN
80ms before:DOWN
70ms before:DOWN
60ms before:DOWN
50ms before:DOWN
40ms before:DOWN
30ms before:DOWN
20ms before:DOWN
10ms before:DOWN
now :DOWN
```

图3 超过配置的延迟时间导致ME60端口down

200ms断连(down)结束时,读取到断连原因为Remote Fault并上报;15:39波分自动从备链路回切主链路,此过程ME60端口断连时间不足200ms,小于配置的断连延时时间,故端口未置down,业务正常,如图4所示。

S9306侧分析显示,其端口物理down与up的时长超过ME60配置的延时down时间,导致ME60侧端口中断(down)。

1月10日15:32传输倒换后,S9306设备日志记录:15:32:45,XG5/0/0端口物理down;15:32:46,该端口LACP检测协议down(原因:对端协议down),且端口物理up,如图5所示。

```
Jan 10 2025 15:39:31.670.1 JXYC-XDLJF-ME60-A1 %%01SRM/6/DEVCOMMONLOG(D)[56534447]:Slot=4;Card0 Port0
receive port down interrupt at 2025/01/10 15:39:31 670.
Jan 10 2025 15:39:31.810.1 JXYC-XDLJF-ME60-A1 %%01SRM/6/DEVCOMMONLOG(D)[56534450]:Slot=4;Upto 2025/01/10
15:39:31.810, the last 13 physical link status of card0 port0 is:
120ms before:DOWN
110ms before:UP
100ms before:UP
90ms before:UP
80ms before:UP
70ms before:UP
60ms before:UP
50ms before:UP
40ms before:UP
30ms before:UP
20ms before:UP
10ms before:UP
now :UP
```

图4 未超过配置的延迟时间

从原理看,端口up/down需读取端口PHY芯片物理状态寄存器。传输倒换中断时,端口必然物理down;信号恢复后,PHY芯片自行检测链路状态,将物理状态寄存器恢复up,故物理端口up/down为正常现象。而端口协议down,与端口延时down配置相关。

```
#S9306 设备记录 XG5/0/0 端口在 15:32:45 秒物理 down, 在 15:32:46 秒记录 XG5/0/0 端口有 LACP 检测
协议 down, LACP 检测 down 的原因是对端协议 down.

Jan 10 2025 15:32:45+08:00
JXYC-FengXin-HW-S9306-01 %%01IFADP/4/PORTDOWNINFO(0)[126]:Slot=5;Interface
XGigabitEthernet5/0/0 has turned into DOWN state. (Information=Physical state(PMD): down, Physical
state(PCS): down, RX loss of signal: no, Current lane0 RX power(dBM): -1.67, Current lane0 TX
power(dBM): -1.08, Local fault: yes, Remote fault: no, PMA fault: NA, PCS fault: NA, High BER: no, PCS
block lock: no, Transmit local fault: no, Receive local fault: yes, PMD receive signal OK: yes, XGXS PLL
has lost lock: NA, XGXS PLL lock detected: NA, RX lock: NA)

Jan 10 2025 15:32:46+08:00
JXYC-FengXin-HW-S9306-01 %%01LACP/3/LAG_DOWN_REASON_PDU(0)[193501]:The member of the
LACP mode Eth-Trunk interface went down because the local device received changed LACP PDU from
partner. (TrunkName=Eth-Trunk2, PortName=XGigabitEthernet5/0/0, Reason=PartnerSyncFalse,
OldParam=b1Synchronization:1, NewParam=b1Synchronization:0)

Jan 10 2025 15:32:46+08:00 JXYC-FengXin-HW-S9306-01 %%01TRUNK/5/MEMBER_UP(0)[193511]:The
status of the trunk member went Up. (TrunkName=Eth-Trunk2, PortName=XGigabitEthernet5/0/0)
```

图5 LACP检测down的原因

S9306设备XG5/0/0端口配置延时down 1500ms。诊断日志显示,该端口物理down与up时长约620ms,超出对端ME60设备200ms的延时down配置,导致ME60侧4/0/0端口中断(down),如图6所示。

1月10日15:40:55传输自动倒换回主链路,日志记录XG5/0/0端口仍有物理down;从诊断日志可见,此次端口down与up间隔约60ms,处于两端设备端口延时down时间范围内,故未出现协议down,如图7所示。

为进一步定位故障原因,测试于2025年2月21日凌晨00:08-5:28开展,其间累计完成90次主备倒换测试:其中在S9306一侧使用原始非厂家交换机认证光模


```
#S9306 设备 XG5/0/0 端口配置了延时 down 1500ms

interface XGigabitEthernet5/0/0
eth-trunk 2
carrier down-hold-time 1500

#诊断日志记录 XG5/0/0 端口 down 和 up 的间隔时间约 620ms

Jan 10 2025 15:32:45.382.1+08:00
JXYC-FengXin-HW-S9306-01 %%01ALML/4/DEVDIAG(D)[16626446]:Slot=5,DEV diag: "Port config
down-hold-time, status is down, linkscan quick polling start. (Unit=[0], Port=[1], Time=[1500],
Count=[75])".
Jan 10 2025 15:32:46.2.1+08:00
JXYC-FengXin-HW-S9306-01 %%01ALML/4/DEVDIAG(D)[16626447]:Slot=5,DEV diag: "Port config
down-hold-time, status is up, linkscan quick polling end. (Unit=[0], Port=[1], Time=[1500], Count=[0])".
```

图6 端口配置延时down 1500ms

```
# S9306 设备 log 记录 XG5/0/0 端口在 15:40:55 秒物理 down，但是未记录端口协议 down

Jan 10 2025 15:40:55+08:00
JXYC-FengXin-HW-S9306-01 %%01IFADP/PORTDOWNINFO(I)[193518]:Slot=5,Interface
XGigabitEthernet5/0/0 has turned into DOWN state. (Information=Physical state(PMD): up, Physical
state(PCS): up, RX loss of signal: no, Current lane0 RX power(dBM): -1.67, Current lane0 TX
power(dBM): -1.08, Local fault: yes, Remote fault: no, PMA fault: NA, PCS fault: NA, High BER: no,
PCS block lock: yes, Transmit local fault: no, Receive local fault: no, PMD receive signal OK: yes,
XGXS PLL has lost lock: NA, XGXS PLL lock detected: NA, RX lock: NA)

#诊断日志记录 15:40:55 这次 XG5/0/0 端口 down 和 up 的间隔时间约 60ms

Jan 10 2025 15:40:55.762.1+08:00
JXYC-FengXin-HW-S9306-01 %%01ALML/4/DEVDIAG(D)[16626574]:Slot=5,DEV diag: "Port config
down-hold-time, status is down, linkscan quick polling start. (Unit=[0], Port=[1], Time=[1500],
Count=[75])".
Jan 10 2025 15:40:55.822.1+08:00
JXYC-FengXin-HW-S9306-01 %%01ALML/4/DEVDIAG(D)[16626575]:Slot=5,DEV diag: "Port config
down-hold-time, status is up, linkscan quick polling end. (Unit=[0], Port=[1], Time=[1500], Count=[0])".
```

图7 配置延时1500ms后对端协议情况

块的58次测试中，复现了12次端口 down 现象；而将S9306侧光模块更换为厂家认证光模块后，32次测试均未出现端口 down 情况，测试结果证明，端口 down 现象系由S9306一侧的非厂家认证光模块导致，如图8所示。

进一步验证表明，S9306设备所使用的非厂家认证光模块，正是引发该端口异常问题的根本原因。

3 根本原因

S9306设备使用的非厂家认证光模块在波分倒换时信号恢复时间过长，导致ME60端口因持续收到Remote Fault信号而中断。通过多次测试验证，更换为厂家认证光模块后问题得到解决。

4 结论

本次ME60端口闪断问题的根本原因是S9306设备使用了非厂家认证光模块。通过更换认证光模块和优化网络结构，有效解决了问题并提高了网络可靠性。建议

S93 一侧 5/0/0 口光模块查询 verbose 信息与实物照片，确认为非厂家交换机认证光模块 XGigabitEthernet5/0/0 transceiver information:

```
Common information:
Transceiver Type      :10GBASE_LR_SFP
Connector Type        :LC
Wavelength(nm)        :1310
Transfer Distance(m)   :15000(9um)
Digital Diagnostic Monitoring :YES
Vendor Name           :HTGD
Vendor Part Number     :TS3111W-CN
Ordering Name          :

Manufacture information:
Manu. Serial Number   :SNOBA1148
Manufacturing Date    :2020-11-25
Vendor Name           :HTGD
```



#S93 一侧 5/0/0 口光模块有非厂家交换机认证警告

```
#Jan 17 2025 11:03:59+08:00 JXYC-FengXin-HW-S9306-01 BASETRAP/1/ENTITTYINVALID:OID
1.3.6.1.4.1.2011.5.25.129.2.1.9 Physical entity failed. (EntityPhysicalIndex=68534286, BaseTrapSeverity=6,
BaseTrapProbableCause=136192, BaseTrapEvent Type=5, EntPhysicalContainedIn=68419593,
EntPhysicalName="XGigabitEthernet5/0/0", RelativeResource="", ReasonDescription="It has been
observed that a transceiver has been installed that is not certified by Huawei Ethernet Switch. Huawei cannot
ensure that it is completely adaptive and will not cause any adverse effects. If it is continued to be used,
Huawei is not obligated to provide support to remedy defects or faults arising out of or resulting from
installing and using of the non-certified transceiver.")
```

图8 非厂家认证光模块导致警告

在网络建设和维护中严格遵循设备认证要求，定期进行设备巡检和更新，以确保网络的稳定运行。

参考文献

- [1] 王立新,陈思远.华为 ME60 系列路由器配置与维护[M].上海:上海交通大学出版社,2024.
- [2] 华为技术有限公司.S9300 系列交换机维护手册[Z].深圳:华为技术有限公司,2024.



智能定位检测技术增强通信管道光缆线路施工质量管理

余大国 安徽省专用通信局 安徽省合肥市 230041

摘要: 通信管道光缆敷设工程规模大、距离长,若质量影响因素未能得到有效管控,极易引发通信传输特性与通信质量问题。本文从影响施工质量五大核心要素(人、机、料、法、环)入手,研究施工技术准备、施工过程控制、施工资料编制等技术要点,设计了施工阶段OTDR、光纤传感、验收档案等多源异构数据的集成方案,建立“感知—分析—决策—执行”的闭环工作机制。在此基础上,应用光缆故障智能定位检测技术,实现物理实体与地理信息系统地实时交互,通过强化敷设全过程管控,提升整体施工质量。

关键词: 通信工程 管道光缆 质量控制 OTDR 光纤传感 GIS

0 引言

通信管道光缆线路工程中,由各种因素引发光缆线路施工作业干扰,从而严重影响施工效率和工程质量。因此,组织管道光缆敷设施工,要高度重视施工质量影响因素,把握施工质量控制点,加强光纤衰耗控制,制定有效的控制策略和风险转移措施,确保施工各环节都在可控的范围之内,以每个工艺点的质量提升与效率优化,推动整体施工质量提高。

1 影响通信管道光缆施工质量的主要因素

通过对部分通信管道光缆敷设施工过程的分析,其质量影响因素包括客观与主观两类,既涉及施工建设单位的工程质量行为,也包含线路实施环节的设计质量、材料质量、设备质量、施工质量等。归纳来看,主要影响因素包括:

(1) 人的因素

在光缆敷设施工质量所有影响因素中,人的因素起着决定性作用。主要包括:一是自然人,即直接履行线路敷设施工质量职能的决策者、管理者和作业者个人的质量意识及活动能力。二是单位法人,即参与光缆线路敷设的建设、勘察设计、监理服务、工程承包企业等单位组织的质量管理体系及其管理能力。

(2) 机械设备因素

光缆线路施工的机械设备主要包括线缆穿管机、光缆牵引机、光缆熔接机、OTDR测试仪等施工设备、机械和器具。它们是所有施工方案和工法得以实施的重要物质基础,合理选择和正确使用这些设备,可有效提升施工效率与作业效能。

(3) 材料因素

工程材料与施工用料是光缆线路施工的基本物质条件,是保障工程质量的核心基础,主要包括光缆、光缆接头盒、保护子管、标识牌、接线子、熔纤盘、ODF子框等。若此类材料不符合设计标准或行业规范要求,工程质量将无法达到预设的技术指标与验收标准。

(4) 工艺和方法因素

该因素又称技术因素,包括光缆线路工程勘察、设计、施工所采用的技术和方法,以及工程检测、试验的技术和方法等,其技术水平直接决定项目质量优劣。具体来看,主要包括路由复测、缆线敷设、光缆熔接、光缆成端、衰耗检测等。

(5) 环境因素

环境因素主要包括自然环境、社会环境、管理环境和作业环境等。管道光缆敷设施工地点以城市为主,较少发生在农村山区或沙漠等不具备管道条件的地区。因

此,其施工环境更多是受到城市基础设施建设、交通、气象、地下障碍物、给排水、安全防护设施等环境因素的影响。

影响通信管道光缆施工质量的主要因素如图1所示。

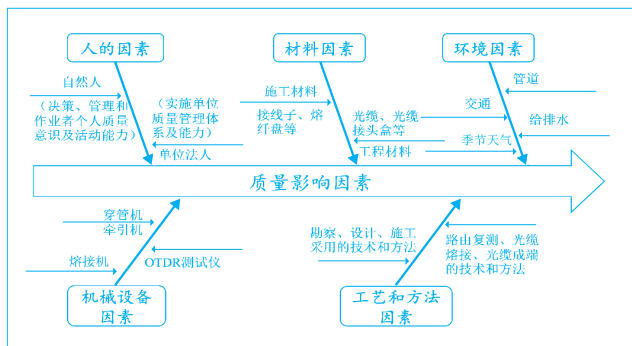


图1 影响通信管道光缆施工质量的主要因素

2 光缆线路施工质量控制技术要点

科学合理的施工工序对施工质量起着极其重要的作用,在光缆线路施工中,必须区分好关键工序、特殊工序和一般工序,准确判断质量控制点,部署控制措施和方案,以保证施工质量目标始终处于可控状态。

2.1 施工技术准备

必要的技术准备是光缆敷设施工顺利开展的重要前提,必须做好安全技术交底、环境检查、材料准备等各项工作。

首先,精心编制实施性施工组织设计。制定详细质量控制计划,重点做好安全、质量、工期控制措施,编制好质量风险点,针对性做好风险转移或自留措施,部署落实好应急预案措施,确保各项施工工序和工艺都在可控范围之内。

其次,仔细研究设计施工图纸。依据设计图纸内容,对照相应的施工规范,了解工程参数和技术要素,确保施工路由走向、现场环境、配套设备与设计内容保持一致,制定符合工程特点的施工方案和施工工艺。

最后,做好备料工作。根据工序合理安排施工材料进场,避免过早进场引起材料存放安全,或过迟入场引起抢占工期影响施工质量等;同时,要特别做好光缆单盘测试,仔细核对规格型号、盘号盘长等,确保每一盘光缆衰减性能,确保备料严谨规范、细致高效。

2.2 施工过程控制

光缆敷设施工有着严格的工序,通过光缆敷设、光纤熔接等过程,将两段甚至更多光纤通过加热熔合,使其连接成一根完整的光纤,进而达到信息远距离传输的目的。光缆敷设施工过程如图2所示。

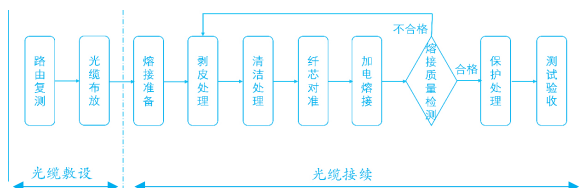


图2 光缆敷设施工过程

(1) 看光缆敷设

在缆线盘存环节,为避免光缆拖拽时出现扭结、弯曲等形变,需在适宜操作环境下按“∞”字要求盘放,尽量放大“∞”字尺寸,同时控制其数量以防解结困难。缆线布放时,施工人员需熟悉施工图纸,严格遵循施工标准,按图纸标注路线敷设光缆;且子管外径需小于主管道内径的85%,施工拉力不超过缆线张力的80%,单次最大线路牵引长度不超过1km。标签打印方面,光缆标识牌需悬挂在易观察、易分辨位置,字体清晰,且完整标注光缆路由走向、规格程式等信息,方便后期维护查找。

(2) 看光缆接续

光缆接头盒、ODF熔纤盘中光缆接续,操作手法上要做到“快、准、细、严”,操作技巧上要做到“一瞧、二看、三分析”。首先,选择合适熔接设备,确保光纤熔接机的精度、电池容量能满足熔接作业工艺和时间的要求;其次,熔接时,施工人员需精准、稳定、快速地将光纤放入熔接机的V型槽及熔接室,校准仪器使熔接质量达到设计要求;最后,光纤熔接机内接续值、气泡应符合工艺要求,避免熔接过粗、过细或虚接、分离等影响光纤熔接效果。光缆接头盒内光纤盘放,应防止弯曲度过小或盘放不标准影响光纤衰减性能。

(3) 看光缆测试

光缆接续完成,必须对每一芯光纤进行接续测试。首先,应该利用光源/光功率计,在光缆两侧ODF架对纤测试,确保两端光纤色谱准确无交叉,便于使用维护。其次,要利用OTDR等设备测试,进行单芯衰减检

测和整条光纤系统测试，在平均衰耗和总衰耗满足光纤传输要求的情况下，方可开始光缆接头盒封接、标签粘贴等工作。

2.3 施工资料编制

线路施工不仅要做好前期施工，更要整理好施工过程资料，汇总编制项目竣工资料档案，为线路使用和维护提供便利。要按照《建设工程文件归档整理规范》(GB/T 50328-2014) 要求，分竣工文件、竣工图、竣工测试记录三部分整理归档，收集整理施工过程中的工程量、设备明细、隐蔽工程/随工验收签证、工程变更、验收证书、交接书、光缆衰耗测试记录、工程竣工图纸等相关文件，待工程竣工验收后，及时移交维护部门存档使用。

3 智能定位检测技术赋能施工质量控制

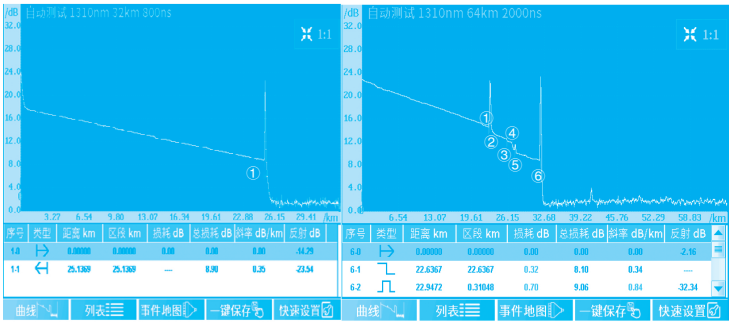
从上述管道光缆施工过程分析可见，光缆敷设质量的主要衡量指标集中于光纤衰耗。影响光纤衰耗的因素可分为本征因素与非本征因素两类。本征因素源于两根光纤自身光学特性的差异，主要包括光纤模场直径分歧、芯径调配不当、纤芯截面不圆、纤芯与包层同心度欠佳等，此类因素会直接导致光信号传输过程中的固有衰减。非本征因素由外部施工环节的不完善引发，涉及接续方式选择、接续工艺精度、接续设备性能及接续环境条件等，具体表现为轴心错位、轴心倾斜、端面别离、端面质量不达标等问题，是施工过程中需重点管控的衰减诱因。本征因素一致时，通过OTDR测量，可估算光纤衰耗并定位异常衰减位置，因此光缆故障定位准确性是影响施工质量的重要因素。

3.1 OTDR测试影响因素

(1) 噪声因素

光纤OTDR测试向光线中发射短脉冲光，部分光通过光纤介质的瑞丽散射或非涅尔反射被反射回来，不同位置的反射光，衰减和反射特性不同，通过分析这些反射光的光功率值及反射时间点的不同，测算传播距离，进而综合生成OTDR曲线，如图3所示。

OTDR曲线常见三类特征表现：图3(a)中①点为光纤末端，有明显非涅尔反射形成的反射峰，且整条曲



(a) 正常光纤平滑曲线 (b) 有断点事件曲线

图3 光纤OTDR测试曲线

线较平滑；图3(b)中②点为尖峰型突变的反射性事件，通常由光纤活接头、光纤断裂点处折射率变化产生菲涅尔反射所致；图3(b)中③点为阶跃型突变的非反射性事件，多因光纤熔接、光纤受压扭曲导致该位置瑞丽散射后光功率异常衰减。此类非反射性事件数量多且难精确定位，尤其在信噪比较低时，噪声幅值与事件信号幅值突变规模接近，会对事件检测及定位造成干扰。

(2) 测距精度及分辨率因素

OTDR测量的光纤事件距离与真实距离的偏差，可在一定程度上反映设备对光纤故障点、异常点的定位精准度。影响其测距精度的核心因素是采样率，采样分辨率越高，测量误差越小、精度越高；而采样分辨率即OTDR数据采样中两取样点的间隔距离，直接决定了设备定位事件的能力。

3.2 智能定位检测技术实现

采用高精度大动态衰减检测模块，空间分辨率达0.8m，集成分布式传感测量振动、温度和应力，同步采集多参量，通过双交叉注意力机制关联OTDR事件点与偏振突变区间，多尺度特征提取，识别光纤通道事件和缺陷，智能评估光纤传输质量，预测光纤寿命。利用小波算法去噪、时钟移相重采样等优化措施，提高OTDR光纤测试精度，结合地理信息系统(Geographic Information System, GIS)技术，组成智能定位检测系统，智能化快速判断与定位，实现运维方式由“被动响应”向“主动预测”转变。

智能定位检测系统融合集成了OTDR、分布式传感和GIS等应用技术，通过实时采集OTDR衰减曲线(空

间分辨率0.8m)、分布式光纤振动/应变信号、环境温湿度及光缆工程验收健康档案等多源异构数据集成,通过“感知—分析—决策—执行”闭环工作机制实现物理实体与GIS实时交互,将测试结果以地图形式可视化呈现,工程建设人员直接读取光缆线路长度、光纤衰耗、故障点位置等情况,进而快速判定故障点位置进行修复。GIS利用北斗定位系统技术辅助,负责收集、存储、管理通信管道光缆线路周围空间和地理分布信息,为资源管理提供数据平台;OTDR主要用于测量光纤中与入射光方向一致的瑞利背向散射光,以及因光纤接头、弯曲、断裂等产生的偏离原方向的反射光,从而形成光信号传播事件的OTDR曲线,最终以数字化显示单元显示出来。

光缆智能定位检测系统以模块化方式设计,包括地图管理模块、数据管理模块、光缆管理模块、辅助决策模块四大部分。其中,地图管理模块可以进行基础图形编辑、格式转换、位置查询、图形输出等功能;数据处理模块可以进行数据库管理、数据获取、用户管理等;光缆管理模块进行光缆数据管理、光缆数据查询、故障点定位等功能;辅助决策模块进行空间分析、数据对比决策等功能。如图4所示。

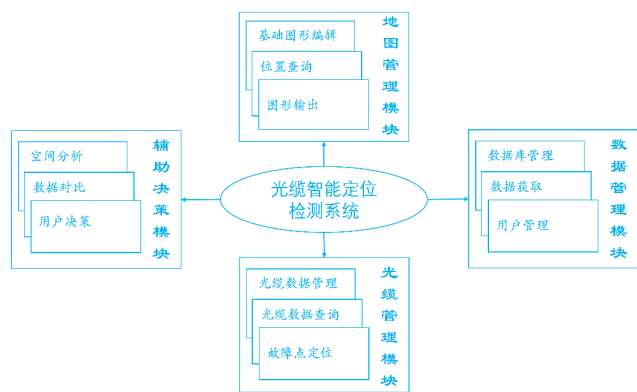


图4 光缆智能定位检测系统结构框架

3.3 技术应用

通信管道光缆故障点智能定位检测系统,已在实际工作中得到有效利用。融合了GIS和OTDR各自优势,可以迅速、准确的进行光缆敷设过程中的故障点定位,并在地图上迅速数字化显示线路周围环境、地形地貌、障碍类型、障碍等级等,辅助开展故障排除,提升光缆

线路质量。同时,该系统在线路维护上,能及时收集、更新数据库中的数据,实现图像数据和属性数据统一存储、管理和分析,为日常线路维护工作也带来了很多方便。

4 结束语

通信管道光缆线路施工质量对于保证通信系统信号传输质量、稳定性等方面具有重要的意义,做好线路施工工作,应站在全生命周期的高度,从影响工程质量的人、机、料、法、环等因素入手,结合每个线路工程实施特点,分阶段研究施工技术准备、施工过程控制、施工资料编制等技术要点,融合光纤传感突破极端环境监测瓶颈,重点关注并准确识别光纤熔接断面制作、室外线路施工安全等质量风险点,以准确可靠的智能光缆检测定位等技术手段做好光纤重点衰耗数据识别和修复,结合空芯光纤技术优化部署成本,从而保障数字社会运行的“智能化生命线”。

参考文献

- [1] 曹明.通信工程光缆线路施工质量控制探讨[J].中国新通信,2023,13(25):15-17.
- [2] 王超,韦方明.通信工程中的通信线路施工技术[J].中国设备工程,2022(16):215-217.
- [3] 刘成浩.通信工程中通信线路施工技术的管理研究[J].长江信息通信,2022(8):206-208.
- [4] 宋宏君.通信管道光缆线路施工和质量检查的关键技术研究[J].科技创新与应用,2021,11(33):55-58.
- [5] 张平,王杨,王汝锋,等.基于通信工程光缆线路施工的质量控制分析[J].中国新通信,2021,23(16):40-41.
- [6] 马伟东,王阳,黄太昱,等.基于OTDR的智能变电站光纤回路检测改进方法[J].河南科技,2024(10):5-9.
- [7] 高铸,田远男.通信光缆线路中故障点智能定位检测技术[J].卫星电视与宽带多媒体,2020(12):111-113.
- [8] 王红雁,赵凯,王继仪.通信光缆线路中故障点智能定位检测技术[J].电子技术与软件工程,2021(14):35-36.
- [9] 马国平.通信光缆线路中的故障点智能定位检测技术分析[J].电子技术,2024,53(7):332-333.

1009-0940-2025 (3) -22-24

基于5G+WebGL的商品数字孪生模型展示的研究与应用

舒钰纯 刘 凌 胡 琨 江西广播电视台 江西省南昌市 330000

摘 要:项目依托底层网页图形库(Web Graphics Library, WebGL) 3D引擎,将5G、VR/AR等技术应用到商品数字孪生模型展示中,用户可720°全方位流畅地感受商品细节,实现线上实时虚拟试穿/试戴/试用和个性化定制产品等功能。该项目打造了以3D交互体验为主的全新消费场景,重塑了平台与消费者之间的关系,进而促进了直播带货的销量增长。

关键词: WebGL 5G VR/AR 数字孪生 3D交互

0 引言

5G技术的快速发展促使电子商务得到迅猛发展,而商品展示作为电商产业链中的重要环节,也逐渐迈入虚拟领域。然而,当前大多数购物平台仍然采用传统的二维产品展示方式,尽管这种方式可以满足大部分产品的基本需求,但是它提供的商品体验是有限的。对于一些需要更多个性化要求的商品,如鞋包等,这种展示方式无法满足用户的沉浸式体验需求。

1 需求分析

当前,主流消费群体转向追求个性化、多元化的消费体验,各大电商平台积极探索3D场景式营销,3D体验式购物将成为电商数字化发展的主流趋势之一。而3D模型与VR/AR内容的数据量庞大,需依托高速率、低时延的网络保障数据流畅传输,确保交互实时性,避免卡顿带来的不良体验,因此5G网络的高速率、低时延特性,成为3D交互技术落地应用的关键支撑。

为响应国家广播电视总局制定的《广播电视和网络视听“十四五”科技发展规划》,同时紧跟网购消费形态的市场发展变化,江西风尚购物频道已逐步启动3D沉浸式购物消费场景的应用探索,旨在通过技术赋能优化用户购物体验,契合行业数字化转型方向。

2 总体设计

2.1 系统功能

本项目借助多模态3D建模技术构建高精度商品数字孪生体,依托WebGL轻量化渲染引擎搭建可跨平台运行的沉浸式虚拟场景,并结合5G网络超低时延与边缘计算能力,实现ms级响应的交互功能。该方案不仅满足不同消费群体对个性化、多元化消费方式的需求,还强化了顾客对产品穿戴的体验感,既降低产品退货率,又有效提升成交转化率。

2.2 系统架构

系统主要由数据建模、渲染引擎、网络传输、终端交互等模块组成。系统架构如图1所示。

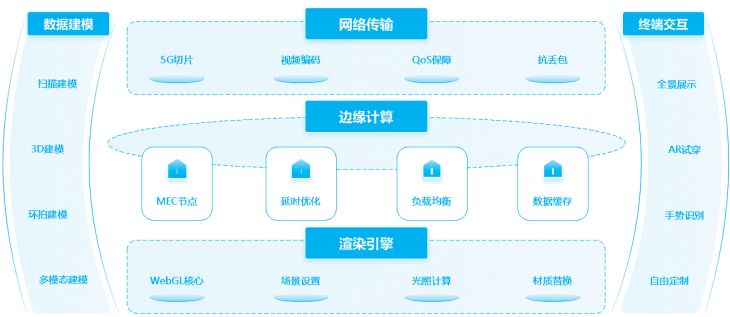


图1 系统架构

3 主要功能模块

3.1 数据建模

3D建模常用方式主要有手工建模、扫描建模和环拍建模，具体如图2所示。



图2 三维模型建模的常用方式

(1) 手工建模

通过3D Max等软件建立3D模型，支持导入的格式包括obj、fbx、stl、glb、gltf、dae、3ds等模型格式，适合鞋包、家电、服饰、家居等建模复杂度相对较小的产品。

(2) 扫描建模

通过非接触式扫描硬件设备及Ruler3D等模型数据处理软件，快速实现产品高精度建模，适合博物馆文物、艺术藏品等精细复杂产品的建模。

(3) 环拍建模

将拍摄的产品放在转盘中央，固定摄像机瞄准对象，转动对象转盘平转一周拍摄序列图片，实现从垂直角度和平行角度多个观察区域进行拍摄，生成序列图片后进行模型合成，再导入Flash软件中进行效果生成，使图片呈现出动态旋转展示，适合复杂精细产品的建模。

3.2 云端渲染

模型可通过5G网络实时同步至云端渲染服务器，将渲染后的视频流通过5G网络低时延地传输到用户的终端设备，无需本地高性能显卡支持，降低了对终端设备性能的要求，实现操作到反馈的ms级响应。

在完成三维模型建模之后，将最终的模型和场景模型导入云端软件3D编辑器中，按照设计图纸完成场景的搭建和效果的添加，模拟真实产品在结构和材质方面的效果，以求带给观者最真实的感觉。

基于强大的WebGL 3D可视化引擎核心技术，3D编

辑器可实现模型材质、光源、场景等效果编辑。如通过背景设置、环境灯光及丰富多彩的滤镜功能，使3D作品栩栩如生。

(1) 材质调节

3D编辑器可提供海量公共材质库，支持自主上传材质贴图，对模型单材质进行编辑，同时还可一键设置珠宝、玻璃等特殊材质。

(2) 光源调节

通过环境光、点光源的参数调节，模拟模型在真实环境中的展示效果，通过光晕和呼吸灯控制模型发光效果，提升模型表现力。

(3) 背景设置

可提供丰富的背景效果，包括纯色、渐变色、全景图等背景设置，同时也可自定义上传背景图片。

3.3 5G网络保障

(1) 高速率流畅加载

5G网络理论峰值速率可达10Gbit/s以上，相比4G提升数十倍，可实时传输高带宽的3D VR全景模型。

(2) 低时延交互

5G网络端到端时延低至10ms以下，满足AR试穿、实时定制等交互式实时操作需求。

(3) 多终端并发访问

5G网络切片技术可将3D模型的传输通道独立划分，保障单个用户的流畅体验，且5G网络在每平方公里范围内可支持百万级设备连接，可满足电视购物直播过程中大量用户同时访问3D模型的网络需求。

(4) 边缘计算

通过部署边缘计算（MEC）节点，可将3D模型的渲染计算部署在离用户更近的边缘服务器，减少数据回传至云端的时延，将渲染后的视频流通过5G网络低时延地传输到用户的终端设备，降低了对终端设备性能的要求，实现操作到反馈的ms级响应。

3.4 终端交互

搭建好的虚拟场景及3D模型需要添加交互功能来增强用户体验，不但可以实现全角度的产品展示，如3D模型的移动，水平、垂直旋转和缩放等，而且可以实现AR试穿/试戴/试用的体验场景，还可以添加多媒体资

源、材质替换和拆解效果等功能，使模型实现丰富的展示效果。

(1) 720°展示

为消费者呈现了一个交互式的3D空间，可实现720°全方位感受丰富的商品细节，打造接近实物的沉浸式消费体验。利用5G+VR技术应用，可实时加载多视角模型数据，在5G网络的环境下，可确保用户拖动模型时无卡顿。

3D模型基于三维空间XYZ坐标轴构建，例如在手机端体验3D模式时，通过移动（move）、转向（Turn）、缩放（Zoom）等常用触屏交互手势，即可展现产品前（Forward）、后（Backward）、左（Left）、右（Right）、上（Up）、下（Down）方向的720°空间效果。

(2) AR试穿/试戴/试用

可实现线上虚拟试穿/试戴/试用，体验商品的上身效果。通过5G+AR技术，用户只需打开手机摄像头，系统实时进行图像识别、空间计算，实现实时叠加商品图案，避免因时延导致的动作卡顿或视觉撕裂，实现了虚拟物体与真实环境的精准、实时同步。

AR试穿是通过手机摄像头获取图像，经过图像检测识别出Target标识，并计算标识的大小、位置和方向，将虚拟物体按比例匹配Target标识，合成CG动画后，再通过虚实结合的方式显示出来。AR试穿的实现流程如图3所示。



图3 AR试穿的实现流程

(3) DIY材质定制

支持AR试穿/试戴/试用的定制功能实现。用户还可以线上自由定制产品，替换产品部件、切换颜色，以及搭配外观样式，定制完成后可在线上商城下单，后端供应链完成商品的生产与交付。支持模型多部件替换功能，在模型展示时，用户可更换部件颜色、添加材质贴图。

(4) 添加多媒体资源

可提供模型动画制作功能，如在模型上自定义添加图文、视频、音频等多媒体内容，组成3D模型动画亮

点展示。

(5) 拆解显示

支持3D模型多部件拆解效果，充分展示模型的内外结构。

4 终端接入模式

4.1 二维码植入

通过图文包装工作站，在风尚购物融媒体直播节目的画面下方设置二维码，观众扫码后即可在手机、头显等多终端查看动态立体且可交互的3D模型，增强了购买互动体验。

4.2 多平台嵌入3D模型

3D模型还可嵌入HTML网站、微信小程序、APP等渠道，支持Web、微信小程序、APP等场景使用，用户点击链接即可查看动态立体且可交互的3D模型，实现跨平台多终端展示，有效拓展传播渠道。如图4所示，在微信小程序中嵌入3D模型。



图4 在微信小程序中嵌入3D模型

5 结束语

随着技术创新深化与应用场景拓宽，3D场景式数字化营销将进一步融合创新发展，不仅能开拓新的业务方向，也能让观众获得更优质的沉浸式3D购物体验。

(下转第55页)

林草资源保护信息化能力提升 建设项目实施方案

刘 伟 刘宗仁 代海刚 福建省邮电规划设计院有限公司 福建省福州市 350003

摘 要：对现有林草资源保护信息化设施进行全面改造：对老化的森林防火信息化设备进行维护改造，确保设备正常运行，提高监控质量；在重点区域增设监控点，扩大监控覆盖范围，减少监控盲区；优化现有系统架构，实现各系统间的互联互通和数据分析共享，提升系统整体效能；打造一体的信息化平台，通过动态数据实现科学管理，提升工作效率；全面提升森林防火的信息化水平和综合防控能力。同时，通过“无人机+人工勘察”的方式获取准确的林业资源现状及变化数据，清晰地界定每一个网格区域对应的责任区数据库，实施精细化、智能化管理。

关键词：监控站点 无人机巡检 责任区数据库 基础数据上图

0 引言

现有森林防火信息化设施陈旧，无法满足实时、高清的监控需求，亟需进行能力提升，以提高信息化水平，确保森林防火工作的高效运行。本实施方案采用多层模型的技术架构，通过对森林防火信息化系统升级改造，着重从三个方面提升信息化能力：一是新增和改造监控设备，优化监控点位布局，全面提升监控覆盖率；二是信息化系统设备全面升级，升级指挥中心设施设备，实现系统互联互通；三是网络传输系统优化，将原有微波传输方式全部升级为数据专线传输，新增4G/5G无线网卡，保证传输质量。

1 项目简介

为了积极响应国家关于加强生态文明建设、提高防灾减灾能力的号召，某区级林业和草原局决定启动森林草原防火支撑保障能力建设项目。项目旨在通过对现有信息化设施的全面维护和改造，结合新技术、新设备的引入，全面提升辖区森林防火的信息化水平和综合防控能力，确保森林资源安全，维护区域生态平衡，保障人民群众生命财产安全。建设内容包括：高点监控及智能监控平台建设、卡口监控系统建设、监控指挥中心平台建设、无人机巡航系统建设、新增护林员管理系统。

2 系统架构

系统架构设计为四个既相互独立又相互联系的层次，包括应用层、服务层、网络层、感知层。系统结构如图1所示。

(1) 应用层包括：林火监测系统、森林火险预警、火情管理系统、指挥调度管理、防火信息管理、护林员网络管理系统、林业资源管控等，面向各级管理用户提供分级授权登录访问。

(2) 服务层为应用层提供森林防火相关业务应用的支持服务，数据库模型为应用层业务提供资源数据支撑；数据通信接口为面向第三方提供数据共享交换接口与技术标准规范。

(3) 网络层包括：通信网络、计算存储、信息安全和加密认证等计算存储网络安全基础设施。

(4) 感知层采用双光谱高空视频监控云台、智能语音播报卡口、无人机巡检等。

3 感知层实施方案

感知层包括高点监控、卡口监控、无人机巡航三部分。

林业和草原局大多都有处于高处的瞭望台，且有人看守，适合进行高点监控。采用双光谱高清摄像头、数

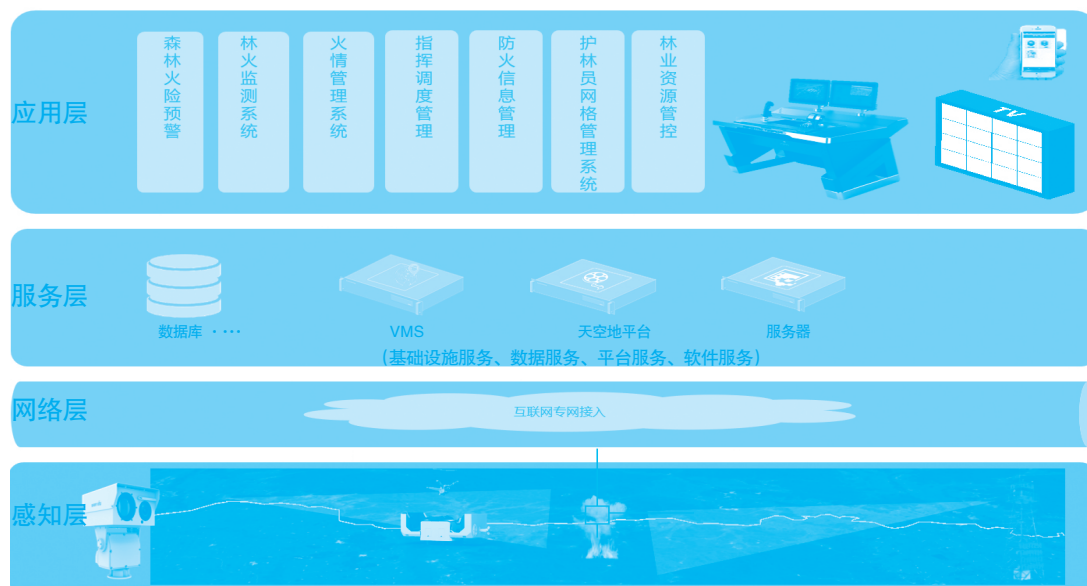


图1 系统结构

据专线传输，利用瞭望塔架设监控云台，新建传输网络，有条件的瞭望塔利用现有电力，不具备条件的新建太阳能供电系统。根据视域仿真选择不同覆盖范围的云台（3/5/8公里）。

林区范围广，地块零星分散，点多、面广、线长，为做到对进入林区人员、车辆实时监控，需要在林区进出口部署监控卡口设备，以便对林区公路进行常年不间断的自动记录，为突发事件提供更多更准确的线索。卡口监控设置在林区主要出入口，实现对进出人员和车辆的7×24小时全天候监控。

针对林业资源重点监控区域，通过无人机巡检配合人工调查方式准确了解林木、林地等各类林业资源的面积、分布范围等基础数据，形成基础数据库。利用现有通信基站铁塔新建无人机平台，基站电源提供稳定的供电。无人机巡检覆盖半径设定为5-10公里，无人机采集正射影像（如图2所示），采用二维模型，生成新旧两期正射影像（如图3所示），由监测软件自动提取变化图斑，经人工核实识别后定期更新数据、生成报告，实现林地多期数据对比与动态监测。

4 网络层和服务层实施方案

由于感知层涉及的点位众多，且分布比较广，通常

选用租用运营商网络链路方案，根据实际需要选用10M~40M网络带宽作为前端监控站点、无人机巡检站点传输链路，50M~100M网络带宽作为汇聚层传输链路，4G/5G无线网络通信方式则用于卡口监控站点数据传输。通过不同场景的传输搭配，形成防火区资源监控专用网络。

本项目传输网络主要有两种方式，第一种采用有线光缆进行传输，第二种方式采用无线网络进行传输。为保证视频传输的性能和稳定性，对于距离较近或者已有光缆的监控点采用有线光缆，保证视频信号传输。每个高点监控摄像机采用20M数据专线将视频数据回传至区级监控中心，每个卡口采用无线网络将图像数据回传至区级监控中心。区级监控中心建设一条50M的数据专线与市级监控中心连接，用于视频会议数据传输及各监控点数据调阅。

对区级监控中心平台进行全面改造，包括替换老旧服务器，增加VMS综合监控一体化平台，更新大屏显示系统，新增视频会议系统、会议扩声系统、矩阵中控系统等，以提升平台的智能化水平和操作便捷性，根据实际需求对监控平台软件进行功能优化和升级，如增加报警提示、优化用户界面等。为森林防火工作提供强有力的技术支持。



图2 正射影像图

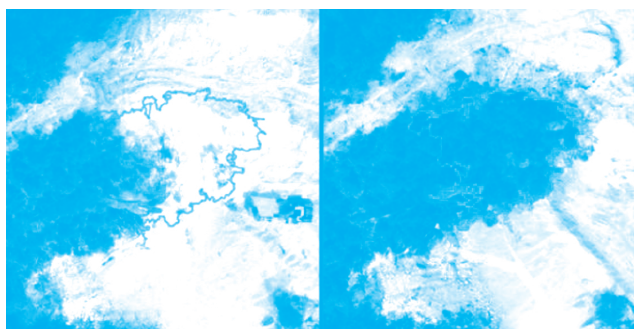


图3 新旧影像识别变化

5 应用层业务应用

护林员定位管理系统通过网格化管理护林员, 实现实时动态定位跟踪, 清晰掌握个人工作状态。系统依托国产GIS底层技术与科学业务流程, 配备出勤自动统计分析功能, 方便主管部门开展护林员绩效考核, 有效提升巡山护林效果, 助力及时、高效、安全完成防灭火任务。

防灭火责任网格化上图数据库以乡镇为单位汇总, 形成森林草原防灭火责任区网格化上图数据库, 并按“区代码+乡镇代码+村代码+护林员类型代码+管护责任区编号”规则统一编码。同时, 将防灭火责任网格、各类防火设施、重点防控区域等信息, 直观呈现在智能监控平台, 具体如图4所示。

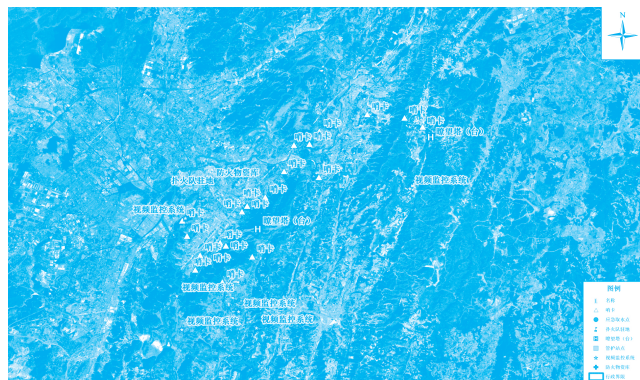


图4 责任区网格化上图示例

责任区网格化上图有以下特点:

(1) 防灭火责任网格: 每个网格都标注了唯一的编码、责任单位、责任人及联系方式, 便于在应急处置时快速沟通与协调。

(2) 防火基础设施分布: 清晰展示了瞭望塔、消防水池、防火隔离带、消防通道等防火设施的位置与状态, 为防火资源的调配提供依据。

(3) 防火线路分布: 每条防火线路都标注了唯一的编码、名称、长度、宽度等基本信息。对防火线路的通行能力进行评估, 并在地图上标注了车辆通行限制、坡度限制等信息。在应急响应时合理规划救援路线, 为制定科学的防灭火策略提供依据。

6 结束语

实施方案需结合实际场景因地制宜制定, 不可直接套用通用模板。制定时需综合考量现有设备设施的利旧可能性、实施难度及经济性等因素, 同时要与客户充分沟通, 精准把握客户痛点, 最终输出契合客户需求方案。



北斗+多源数据融合数字乡村综合管理平台技术研究与开发应用

胡少文 江西省科技基础条件平台中心（江西省计算中心） 江西省南昌市 330003

摘要：随着信息技术和物联网技术的快速发展，数字乡村建设成为推动农业现代化的重要手段。本文针对传统农业管理中存在的信息孤岛、资源浪费和决策滞后等问题，提出了一种基于北斗卫星定位技术和多源数据融合的数字乡村综合管理平台。该平台通过感知层、数据层、支撑层和应用层的协同工作，实现对农田环境、作物生长状态及农业生产活动的实时监测与智能管理。本文重点研究了平台的整体架构设计、关键技术实现以及实际应用场景，并通过实验验证了平台在提升农业生产力和资源利用效率方面的有效性。结果表明，该平台能够显著提高农业生产管理的智能化水平，为数字乡村建设提供了新的技术解决方案。

关键词：北斗卫星定位 多源数据融合 数字乡村 综合管理平台

0 引言

随着全球人口的持续增长，资源有限性问题日益突出，农业现代化在保障粮食安全和推动可持续发展方面发挥着关键作用。然而，传统农业生产方式面临着信息不对称、资源浪费以及管理效率低下的多重挑战^[1]。近年来，物联网技术、大数据分析 with 人工智能等新兴技术的发展为农业智能化转型带来了新的机遇，其中以北斗卫星定位技术和多源数据融合技术的应用尤为引人注目。

研究表明，基于北斗的农田环境精准监测系统能够对作物生长状态进行实时评估^[2]。通过整合遥感、气象及土壤传感器等多源信息，并结合先进的数据融合技术，能够显著提升农业监测与管理的工作效率。这种优化不仅使流程更加高效，还为精准监测和科学管理提供了有力支持^[3]。不过，这类技术创新虽在农业领域已有应用成果，仍存在诸多待解的研究空白与争议点：如何优化多源数据融合算法以提升监测精度？如何将北斗系

统与5G、人工智能等先进技术深度融合，构建更高效农业生产模式？此外，实时监控与预警系统的建设也需进一步探索，以更好应对农田环境异常、病虫害等问题。

近年来，多位学者针对农业现代化技术展开深入研究。相关研究指出，北斗定位技术在精准农业中意义重大，并提出了基于北斗的农田监测系统设计方案^[4]；同时，多源数据融合技术在智慧农业中应用前景广阔，有研究提出了结合遥感和土壤传感器的数据融合方法^[5]；此外，人工智能算法在农业数据分析中潜力巨大，尤其在作物病虫害预测等方面应用空间广泛^[6]。

基于上述研究成果，本研究旨在整合先进的北斗卫星定位技术、多源数据融合技术和人工智能算法，构建一个数字乡村的综合管理平台。该平台将实现对农田环境、作物生长状态及农业生产活动的实时监测与智能化管理，从而推动农业生产的现代化进程。通过这一系统性的研究，我们希望能够填补当前技术应用中的空白，并为实现高效、可持续的农业生产模式奠定坚实基础。

基金项目：江西省重点研发计划重点项目（20243BBG71036）；江西省自然科学基金管理科学项目（No：20244BAA10064）；江西省03专项及5G项目（No：20224ABC03W02）

1 采用的技术及其原理

本研究主要采用了北斗卫星定位技术、多源数据融

合技术以及物联网和人工智能等新兴技术。这些技术不仅能够实现农田环境的精准监测与管理，还能为农业生产提供智能化决策支持。以下将详细介绍这些技术的基本原理及其在农业中的具体应用。

1.1 北斗卫星定位技术

北斗卫星定位系统作为一种全球导航卫星系统 (GNSS)，具有高精度、实时性强和抗干扰能力强等优势。在农业领域，该技术可应用于农田精准测绘、农机具路径规划以及作物生长监测等方面。通过接收北斗卫星信号，可以精确定位农田中的传感器、农机具和无人机的位置，为后续的数据采集与分析提供可靠的基础^[7]。

1.2 多源数据融合技术

多源数据融合技术是指将来自不同传感器、平台或系统的多种类型数据（如遥感影像、气象数据、土壤传感器数据等）进行整合与分析的过程。其核心原理是利用先进的算法对多源数据进行清洗、校准和融合，以提高数据的准确性和完整性。常见的多源数据融合方法包括加权平均法、主成分分析 (PCA) 以及深度学习模型等^[8]。

在农业应用中，多源数据融合技术能够帮助相关人员更全面地了解农田环境和作物生长状态。例如，通过整合卫星遥感数据和地面传感器数据，可以实现对土壤湿度、温度、光照强度等关键参数的实时监测。此外，结合气象预报数据，还可以预测气候变化对农作物的影响，并为农业生产决策提供科学依据。

1.3 物联网技术

物联网 (Internet of Things, IoT) 是指通过各种信息传感设备（如传感器、射频识别技术、全球定位系统、红外感应器等），按照约定的协议，把任何物品与互联网连接起来，进行信息交换和通信的技术。其基本原理是通过部署在农田中的各类传感器收集环境数据，并通过无线网络将这些数据传输到云端或管理中心^[9]。

在农业领域，物联网技术能够实现对农田的实时监控与远程管理。例如，通过土壤湿度传感器和气象站收集的数据可以用于优化灌溉策略；通过无人机搭载的摄像头可以实现对作物生长状态的实时监测。此外，物联

网还可以与其他技术（如人工智能）结合，构建智能化的农业生产管理系统。

1.4 人工智能技术

人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 是指模拟人类智能的系统或机器，能够通过学习和推理完成复杂的任务。其基本原理是基于大量数据训练机器学习模型，并利用这些模型对新数据进行预测、分类或决策。在农业领域，人工智能技术被广泛应用于作物病虫害识别、产量预测以及农业生产优化等方面^[10]。

人工智能的核心在于其算法和模型。例如，卷积神经网络 (CNN) 可以用于分析卫星影像以识别作物类型和病虫害；随机森林 (Random Forest) 则可以通过多源数据预测农作物的生长周期和产量。此外，强化学习 (Reinforcement Learning) 还可以应用于农业机器人控制，优化农机具的操作路径和效率。

1.5 技术协同与应用

本研究将北斗卫星导航与定位技术、多源数据融合技术、物联网技术及其相关应用，以及人工智能技术及智能分析系统进行深度融合与协同工作，从而构建智能化农业生产管理平台。具体而言：

- (1) 北斗定位：用于精确定位农田中的传感器、农机具和无人机位置。
- (2) 多源数据融合：整合来自不同设备和平台的数据，形成全面的农田环境感知。
- (3) 物联网：实现数据的实时采集与传输，并支持远程监控和管理。
- (4) 人工智能：基于融合后的数据进行分析 and 预测，为农业生产提供决策支持。

通过这些技术的协同作用，本研究将能够实现对农田环境的精准监测、作物生长状态的动态评估以及农业生产的智能化管理，从而推动农业向高效、可持续的方向发展。

2 技术平台方案

2.1 总体架构设计

平台的设计遵循模块化和分层架构的理念，确保各功能模块独立运行并协同工作。感知层通过北斗定位终

端、传感器和摄像头等硬件设备实时采集农田环境数据（如土壤湿度、温度、光照强度等），并通过网络通信模块将数据传输至云端或边缘计算节点。

数据层采用分布式数据库和大数据处理技术（如Hadoop、Flink）进行高效存储和管理，确保海量数据的快速响应与分析需求。支撑层通过服务中台提供标准化接口和服务，支持多源数据融合、模型计算和业务逻辑处理，为上层应用提供强大的技术支持。

应用层覆盖自然资源监测、林草监测、水环境监测、生态修复监测和应急安全监测等多个领域，并可根据不同用户需求（政府部门、企事业单位或科研院所）进行定制化开发与部署。如图1所示。

2.2 技术架构

平台的技术架构分为四部分：

(1) 基础设施

包括硬件设备（如北斗定位终端、传感器、摄像头等）和网络通信模块，负责数据的采集与传输。硬件设备采用低功耗设计，支持长时间稳定运行，并通过4G/5G网络实现与云端或边缘计算节点的数据交互。

(2) 数据后台

负责数据存储、清洗、处理和分析。采用分布式数据库（如HBase）和流处理技术（如Flink），实现高效的数据管理与实时分析能力。

(3) 服务中台

提供标准化的服务接口，支持多源数据融合、模型

计算和业务逻辑处理。集成先进的机器学习算法（如随机森林、支持向量机等）进行作物生长预测和病虫害识别，并通过时间序列分析实现农田环境异常监测和风险预警。

(4) 应用前台

包括Web端和移动端，为用户提供农田监控、生产管理、决策支持等功能入口。用户可通过Web端查看实时监测数据、生成报告，并进行数据可视化操作；移动端则提供随时随地的农田管理功能。

3 平台部署与应用及数据分析

3.1 平台部署

平台采用云边协同的部署方式：

(1) 云端：部署数据处理和分析服务，负责海量数据的清洗、建模和深度分析。

(2) 田间：部署感知设备和边缘计算节点，确保数据实时采集和快速响应。

这种部署模式不仅提升了数据处理效率，还实现了对农田环境的实时监控与智能管理。

3.2 实际应用场景

农田环境监测：通过北斗定位终端和传感器网络，平台可实时采集土壤湿度、温度、光照强度等关键参数，并结合气象数据进行综合分析。例如，在江西省上饶市玉山县水稻种植基地，平台已实现了对农田水分状况的精准监测，并为农户提供科学灌溉建议，显著提高

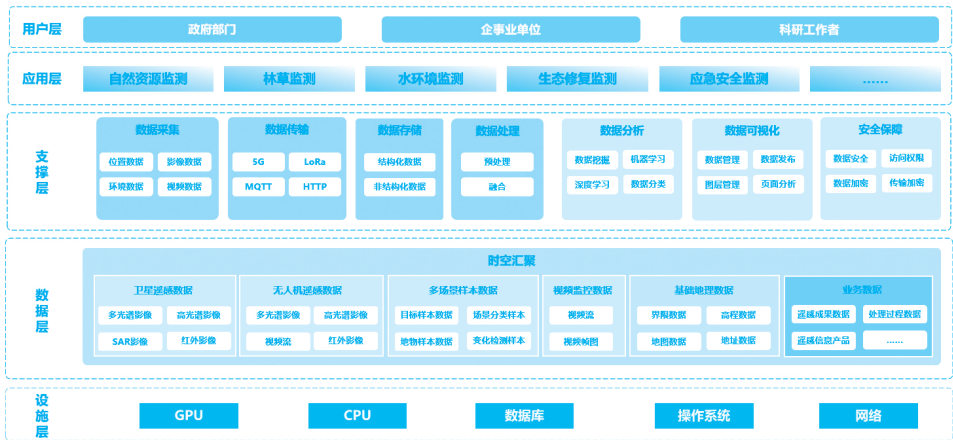


图1 系统架构

了作物产量。

农业生产管理：平台支持作物生长周期的全流程管理，包括播种、施肥、病虫害防治等环节。通过多源数据融合（如土壤数据、气象数据和遥感数据），平台能够预测作物生长趋势，并为农户提供个性化种植方案。

如图2所示为基于该平台进行的农作物长势监测,以玉山县水稻为例,实现水稻种植面积的高精度提取,并基于卫星影像的光谱信息实现对水稻长势的定量分析,为农业生产部门提供辅助决策依据。

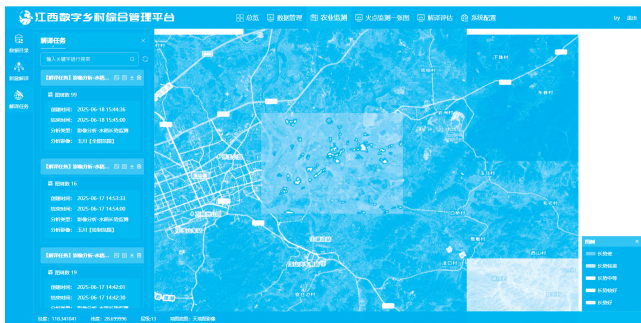


图2 农作物长势分析示意图

图3展示了基于该平台实现的卫星火点监测功能。该功能依托多颗气象卫星,可实现24小时全方位地面火点监测,为生态环境健康发展提供保障。



图3 卫星火点监测示意图

图4展示了基于该平台对多源数据的管理、发布及



图4 数据管理

存储，用户通过自行上传数据，即可在平台中查看对应的数据图层。

3.3. 数据分析方法

平台采用以下数据分析方法:

(1) **多源数据融合**：平台通过整合土壤、气象、遥感和图像等多种数据源，构建综合的农田信息数据库。借助先进的数据处理技术（如特征提取和降维算法），平台实现了多源数据的有效融合，并为后续分析提供了高质量的数据支持。

(2) 机器学习模型

随机森林：用于作物生长预测和病虫害分类，具有高准确性和鲁棒性。

支持向量机 (SVM)：适用于农田环境异常监测和风险评估。平台通过动态调整算法参数和模型结构，确保分析结果的精准性和实时性。

(3) 实时监控与预警通过时间序列分析技术（如ARIMA模型），平台能够预测未来24小时内的农田环境变化趋势，并根据预设阈值生成预警信息。例如，在某高温天气下，平台提前发出干旱预警，并建议农户及时灌溉。

4 结束语

本文提出基于北斗卫星定位技术与多源数据融合的数字乡村综合管理平台，通过感知层、数据层、支撑层与应用层的协同，实现对农田环境、作物生长状态及农业生产活动的实时监测与智能管理。实验结果显示，该平台可显著提升农业生产智能化水平与资源利用效率。未来研究将进一步优化多源数据融合算法，并探索其与6G、人工智能等先进技术的深度融合。

参考文献

- [1] 郭明军.山西现代农业发展面临的挑战及其对策[J].农业技术与装备,2019(10):79-80.
- [2] 毛婧一.北斗卫星导航系统在农业遥感监测中的应用与挑战[J].北斗与空间信息应用技术,2025(2):83-86.

- [3] 罗健,贾珏,陈勇,等.基于多源数据要素的高标准
(下转第36页)

基于Web技术的跨平台PLC智能组态系统设计与实现

肖志鹏 于长清 李福斌 中铁水利信息科技有限公司 江西省南昌市 330209

摘要: 随着信息技术的飞速发展,可编程逻辑控制器(PLC)作为工业自动化的核心设备,在各种工业场景中发挥着重要作用,传统PLC组态系统在平台兼容性、开发效率和系统维护等方面存在诸多挑战。本文通过理论分析与实验验证相结合的方法,对基于Web技术的跨平台PLC智能组态系统进行了深入研究,提出了系统架构设计,并在水利行业进行了应用验证。研究表明,该系统能够实现不同平台之间的无缝连接,提升开发效率,降低维护成本,且具备良好实时性、可靠性和扩展性,为水利行业的自动化管理提供了有力支持,并可推广到其他工业领域。

关键词: Web技术 PLC 智能组态系统 水利自动化 跨平台 实时监控

0 引言

随着信息技术的飞速发展,工业自动化领域对智能化和信息化的需求日益增长。可编程逻辑控制器(PLC)作为工业自动化的核心设备,在各种工业场景中发挥着重要作用。然而,传统的PLC组态系统面临着诸多挑战,如平台兼容性差、开发效率低、系统维护复杂等。近年来,Web技术的快速发展为解决这些问题提供了新的思路。基于Web技术的跨平台PLC智能组态系统应运而生,它能够实现不同平台之间的无缝连接,提高开发效率,降低维护成本,为工业自动化领域带来了新的变革。

基于Web技术的跨平台PLC智能组态系统的研究具有重要的理论和实践意义。从理论层面来看,该研究有助于推动PLC组态技术与Web技术的深度融合,探索新的系统架构和设计方法,丰富工业自动化领域的理论体系。从实践层面来看,该系统能够提高水利工程的自动化程度,实现远程监控和智能管理,提高水资源的利用效率,降低人工成本,增强水利工程的抗灾能力和应急响应能力,对于保障国家水安全具有重要意义。此外,该系统还可以推广到其他工业领域,为工业自动化的发展提供借鉴和参考。

在水利行业,Web技术的应用也日益广泛。通过

Web技术,水利部门可以实现对水利工程的远程监控、数据采集与分析、水资源调配等功能,提高水利工程的管理效率和决策科学性。例如,利用WebGIS(地理信息系统)技术,可以将水利工程的地理位置信息与实时监测数据相结合,实现对水利工程的可视化管理和动态分析,为水资源的优化配置和水利工程的安全运行提供有力支持。

1 系统需求分析

水利行业作为国民经济的重要基础产业,具有独特的特点和需求。首先,水利工程分布广泛,包括水库、泵站、水闸、渠道等各类设施,这些设施往往分布在不同的地理位置,需要实现远程监控和管理^[1]。其次,水利行业的运行环境复杂,受到自然环境、气候变化等多种因素的影响,要求自动化控制系统具有高可靠性和稳定性,能够在恶劣环境下稳定运行。此外,水利行业对数据的实时性和准确性要求较高,需要实时采集和分析水位、流量、水质等各类数据,以便及时做出决策,保障水利工程的安全运行和水资源的合理调配。

在水利行业,PLC被广泛应用于水利工程的自动化控制系统中,在水库的水位控制、闸门启闭控制、泵站的运行控制等方面,PLC都能够发挥重要作用。例如,

在泵站的自动化控制系统中, PLC可以根据水位传感器的信号自动控制水泵的启停, 实现对水位的自动调节, 同时还可以对水泵的运行状态进行监测和保护, 确保泵站的安全运行。然而, 由于建设方可能采用不同硬件厂商的设备, 没有统一的建设规范和网络条件, 因此在对接PLC设备时往往需要兼容不同的接入方式和通信协议。

在自动化控制方面, 水利行业需要实现对水利工程的精确控制和自动化管理^[2]。例如, 水库的水位控制需要根据实时水位数据和降雨预报信息, 自动调节闸门的开度, 实现对水位的精确调节; 泵站的运行控制需要根据用水需求和水位情况, 自动控制水泵的启停和运行频率, 实现高效供水; 水电站可根据水位库容、用水需求和降雨预报进行发电决策, 实现高效发电, 达成防洪和兴利之间的平衡目标。同时, 水利行业还需要对设备的运行状态进行实时监测和故障诊断, 及时发现和处理设备故障, 保障设备的正常运行。

在数据管理方面, 水利行业需要对大量的实时数据和历史数据进行存储、管理和分析。这些数据包括水位、流量、水质、设备运行状态等各类数据, 通过有效的数据管理手段, 实现数据的快速存储、查询和分析, 为水利工程的运行管理提供数据支持。此外, 由于不同项目的监控内容存在差异性, 从而造成了界面需求的不一致, 因此PLC系统在数据存储和数据展示时需要具备

很强的灵活性, 需要将数据进行动态的可视化展示, 通过图表、报表等形式直观地呈现数据信息, 便于管理人员进行决策分析。

在系统安全方面, 水利行业涉及国家水安全和公共利益, 对系统的安全性要求极高。因此, 系统需要具备完善的安全防护机制, 防止数据泄露、网络攻击等安全事件的发生, 保障系统的安全稳定运行。

2 系统架构设计

基于Web技术的跨平台PLC智能组态系统采用分层架构设计, 主要包括PLC通信层、数据管理层、后端服务层和前端界面层。这种分层架构设计能够提高系统的可扩展性、可维护性和可移植性, 同时满足水利行业对系统功能和性能的需求。系统架构如图1所示。

(1) PLC通信层

PLC通信层是系统与PLC设备之间的通信桥梁, 负责实现系统与PLC设备的实时数据交互。系统通过硬件厂商SDK、MQTT协议、TCP协议或者边缘网关对数据协议进行转换, 将PLC设备的数据格式统一封装为系统内部的数据格式, 方便系统的数据处理和分析。

(2) 数据管理层

数据管理层是系统的数据存储和管理核心, 在对设备进行数据采集后, 使用关系型数据库(如MySQL、

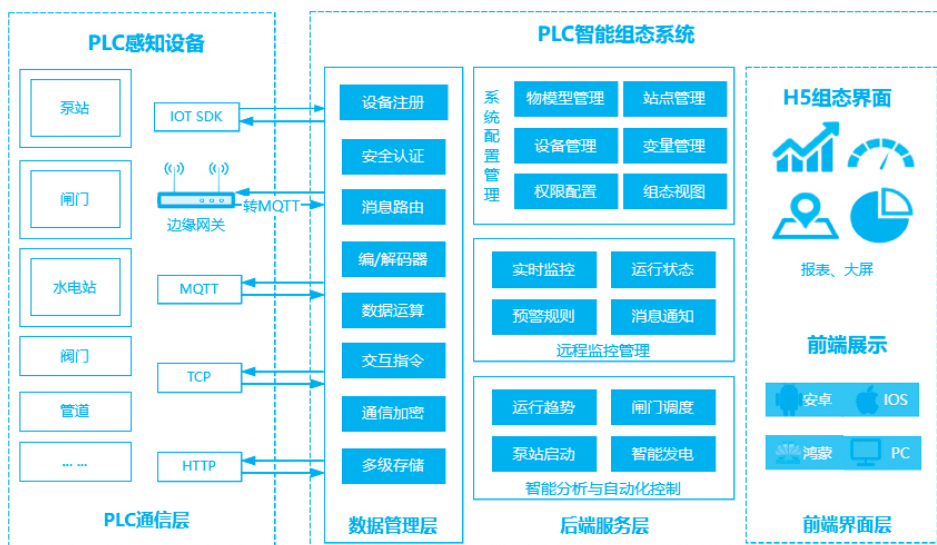


图1 系统架构

PostgreSQL等)或时序数据库(TDengine)进行数据存储。系统能够实时采集水利工程的各类数据,如水位、流量、设备运行状态等,并将这些数据存储到数据库中。数据管理层支持高并发数据写入,确保数据的实时性和完整性,通过优化数据存储结构和索引机制,系统能够快速查询历史数据,为数据分析和决策提供支持。

(3) 后端服务层

后端服务层通过调用数据分析算法,对历史数据进行挖掘和分析,为用户提供决策支持。根据预设的控制策略和实时数据,后端服务层能够自动实现对水利工程的自动化控制。例如,根据水位传感器的实时数据和降雨预报信息,自动调节水库闸门的开度;根据用水需求和水位情况,自动控制泵站水泵的启停和运行频率。

(4) 前端界面层

前端界面层是用户与系统交互的直接界面,采用HTML5、CSS3和JavaScript等Web技术进行开发,由于这些技术是万维网联盟(W3C)的开放标准,因此前端界面能够兼容多种终端设备,包括PC端浏览器、平板电脑和智能手机,实现跨平台访问。

3 系统功能模块

3.1 数据采集和通信管理

数据采集通信是系统实现自动化控制和决策支持的基础。水利工程设备通常在野外较为偏远的地方,只能使用GPRS网络(SIM卡)进行通信,大多数设备没有固定的公网IP地址,只能作为TCP客户端注册到后端服务层进行数据通信;少数安装了光纤宽带的工程设施,后端服务器可以使用SDK方式直连设备进行数据采集操作;除此之外,还有部分设备使用了网关盒子或者经过第三方平台中转,后端服务器则可以通过定时任务调用PLC通信层的数据采集接口,实时采集水利工程的各类数据,如水位、流量、设备运行状态等,并将采集到的数据存储到数据库中^[3]。

因不同通信方式与传输协议存在差异,后端服务层需为每个PLC设备配置“消息路由”“编解码器”等适配功能。从安全性角度出发,还需实现“设备注册”“安

全认证”等准入机制。同时,除采用HTTPS通信加密外,后端服务层对重要操作额外使用RSA算法加密,以防范数据抓包、指令篡改及盗用等非法行为。

数据管理层采用MySQL数据库或TDengine时序数据库进行数据存储,为了实现不同项目、不同设备的个性化展示需求,系统还做到了要素级的数据存储。系统使用元数据管进行数据配置管理,通过建立元数据视图和索引机制,提高数据的存储和查询效率。

3.2 系统配置与管理功能

系统配置与管理功能是实现个性化定制和安全运行的重要保障。前端界面提供系统配置与管理功能,用户可以通过图形化界面进行物模型管理、站点管理、设备管理、变量管理、用户权限管理、组态视图配置等操作。物模型管理对不同的PLC产品类型进行归类,定义了不同的设备各自拥有的事件功能、字段属性和视图等;站点管理、设备管理、变量管理支持对每个PLC设备的工程属性、通信参数、元数据等信息进行配置;权限管理通过设置不同的角色和权限,限制用户对系统的访问和操作权限,通过设置工程站点的授权,限制用户对PLC设备的操作管理权限;组态视图配置则对设备的界面展示内容进行管理配置。

后端服务层接收前端界面的配置请求,并将配置信息存储到数据库中。在系统运行过程中,后端服务层根据配置信息进行相应的操作,如设备通信、用户认证、报警监测、自动化控制等。通过系统配置与管理功能,用户可以根据水利工程的具体情况,灵活配置系统参数,实现系统的个性化定制和安全运行。

3.3 远程监控与管理功能

远程监控与管理功能是系统的核心功能之一,通过Web浏览器实现对水利工程的实时监控和远程控制。前端界面采用Vue.js框架开发,通过WebSocket技术实现与后端服务器的实时通信。用户在前端界面上可以通过图形化界面查看水利工程的实时运行状态,包括水位、流量、设备运行状态等信息,并通过控制按钮或滑块进行远程控制操作,如调节闸门开度、控制水泵启停等。

后端服务层通过Spring Boot微服务框架搭建Web服务器,接收前端界面的请求,并与PLC通信层进行交

互, 将控制指令发送给PLC设备, 同时将PLC设备的反馈数据以WebSocket协议实时传输给前端界面。PLC通信层根据不同的通信协议与PLC设备进行数据交互, 确保控制指令的准确执行和设备状态的实时反馈。通过这种前后端分离的开发模式, 实现了系统的高并发访问和实时数据交互, 提高了系统的响应速度和稳定性。

同时, 系统还具备故障诊断功能, 能够自动监测设备的实时运行状态, 及时发现设备故障并发出报警信息, 提醒维护人员进行处理。除了通用的在离线状态和异常报警, 用户还可以针对某个PLC设备或变量配置预警规则, 包括报警阈值和报警方式。当预警规则触发时, 系统会通过配置的通知方式发送消息通知给设定的人员。

3.4 可视化展示功能实现

可视化展示功能是系统提高用户决策效率的重要手段, 系统能够将复杂的数据信息以直观的方式呈现给用户, 帮助用户快速做出决策。前端界面通过Vue.js框架和ECharts图表库实现数据的可视化展示。ECharts是一个基于JavaScript的开源可视化图表库, 提供了丰富的图表类型, 如折线图、柱状图、饼图、地图等, 能够满足系统对数据可视化的各种需求。开发者利用这些图标元素或者自定义的矢量图封装成预制的工业组件库, 用户只需要使用“拖拉拽”的方式, 配置这些工业组件库和待显示的数据变量, 即可满足不同项目、不同展示界面的定制化功能, 实现组态界面编辑器的效果。

用户可以通过组态界面编辑器配置的可视化界面, 直观地查看水利工程的实时数据、报表和分析结果。例如, 通过折线图展示水位的变化趋势, 通过柱状图展示设备的运行状态统计信息, 通过地图形式展示水利工程的地理位置和分布情况。可视化界面还支持交互操作, 用户可以通过缩放、拖拽、筛选等功能, 对数据进行详细查看和分析。如图2所示。

3.5 智能分析与自动化控制

自动化控制功能是系统提高水利工程运行效率和管理水平的关键。在分析阶段, 后端服务层利用Python的数据分析库(如Pandas、NumPy等)或者SpringAI等工具对实时数据和历史数据进行智能分析, 生成各种报

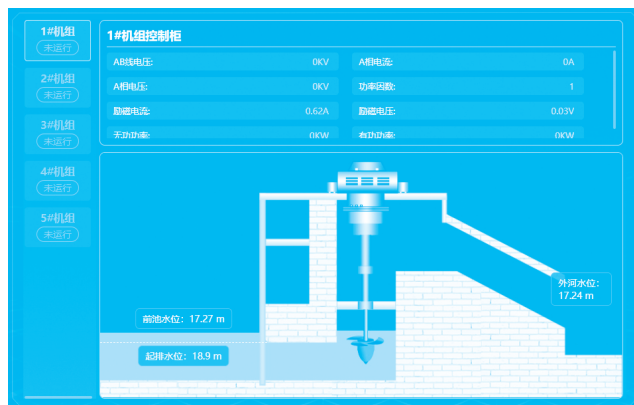


图2 组态展示界面实现示意图

表或图表, 如水位变化趋势图、设备运行状态统计图等。用户通过分析数据图表, 能够直观地了解水利工程的运行趋势和设备的运行状况, 为系统的优化和决策提供依据, 并且在前端界面配置控制策略, 包括控制逻辑、阈值设置等, 后端服务层会根据用户配置生成预设的调度指令, 并通过PLC通信层发送给PLC设备, 实现对设备的自动化调度控制。

例如, 根据水位传感器的实时数据和降雨预报信息, 后端服务层自动调节水库闸门的开度, 实现对水位的精确控制; 根据用水需求和水位情况, 自动控制泵站水泵的启停和运行频率, 实现高效供水。通过自动化控制功能, 系统能够实现水利工程的智能化运行, 提高运行效率和管理水平。

4 结束语

本文通过对基于Web技术的跨平台PLC智能组态系统的研究与应用, 提出了一种适用于水利行业的智能化、信息化解决方案。通过理论分析和实验验证, 系统在功能和性能上均满足水利行业的实际需求, 具有以下主要优势:

(1) 跨平台性: 系统采用HTML5 Web技术开发, 支持多种终端设备(如桌面浏览器、平板电脑、智能手机), 实现了不同平台之间的无缝连接, 方便用户随时随地进行远程监控和管理。

(2) 实时性: 系统具备高实时性, 能够实时采集和处理水利工程的各类数据, 并及时将数据反馈给用户, 确保用户能够获取最新的数据信息, 实现对水利工程的

实时监控和控制。

(3) 可靠性: 系统具有高可靠性, 能够在恶劣的工业环境下稳定运行。硬件设备具备良好的抗干扰能力和防尘防水性能, 软件系统具备完善的错误处理机制和容错能力, 能够自动恢复运行, 确保系统的稳定性和数据的完整性。

(4) 扩展性: 系统采用分层架构设计, 具有良好的可扩展性和可维护性。底层数据和可视化采用元数据管理的方式, 支持灵活地动态修改配置。各功能模块之间相互独立, 便于功能扩展和系统升级, 能够满足水利行业不断发展的需求。

(5) 智能化: 系统具备自动化控制和数据分析功能, 能够根据预设的控制策略和实时数据自动实现对水利工程的精确控制, 并通过数据分析为决策提供支持, 提高了水利工程的运行效率和管理水平。

(6) 安全性: 系统具备完善的安全防护机制, 通过用户认证、加密算法与权限管理, 防止未授权访问和操

作, 确保系统的安全稳定运行。

通过在水利工程中的应用, 该系统在远程监控、数据采集与分析、自动化控制、可视化展示等方面表现出色, 显著提高了水利工程的自动化程度和管理水平, 降低了人工成本, 增强了水利工程的抗灾能力和应急响应能力。该系统不仅在水利行业具有广阔的应用前景, 还可推广到其他工业领域, 为工业自动化的发展提供借鉴和参考。

参考文献

- [1] 张李荪. 基于WebGIS的山洪灾害预警信息系统设计[J]. 人民长江, 2009, 40(17): 84-85.
- [2] 李阳, 岳英洁, 单长贺. 多源数据融合的山东省智慧海域平台系统设计与应用[J]. 海洋信息技术与应用, 2023(3): 178-186.
- [3] 张李荪, 徐俊. 峡江水库移民信息系统设计与实现[J]. 人民长江, 2011(21): 92-95.

(上接第31页)

农田服务平台开发与应用[J]. 中国农业信息, 2024, 36(5): 81-98.

[4] 蓝土庆. 基于北斗定位的智能农机系统的研究与实现[J]. 自动化应用, 2023, 64(21): 66-69.

[5] 姜民旭, 王玉鑫. 基于大数据技术的智慧农业建设及应用研究[J]. 现代化农业, 2022(4): 73-74.

[6] 孔庆霞, 杨洪文, 李爱胜. 人工智能在农业机械领域的应用调查[J]. 山东农机化, 2024(5): 52-54.

[7] 潘佩珠, 郜燕芳, 曲鹏程. 北斗卫星定位技术和遥

感技术在农业生产社会化服务中的应用[J]. 农业技术与装备, 2025(1): 1-4.

[8] 王小瑞, 丁晓芬. 多源数据融合技术在公安大数据质量检测中的应用研究[J]. 软件, 2025, 46(5): 130-132.

[9] 周祖宝. 农业物联网技术与农业机械化发展研究[J]. 新农民, 2025(16): 105-107.

[10] 王冬青. 人工智能技术在农业机械中的应用与发展前景[J]. 农业机械, 2025(5): 115-117.

优
秀
论
文
评
选

启
事

为了提升《江西通信科技》办刊质量, 助力广大科技工作者技术创新、产品创新、市场创新, 挖掘信息通信领域广大科技工作者的最新研究成果以及信息通信企业实用性稿件, 提升后期投稿质量, 江西省通信学会启动2025年信息通信技术论文评选活动。论文评选范围: ①2025年新撰写的, 涉及通信技术、核心网与网络技术、信息技术与应用、业务与运营、网络信息安全方面且未曾录用的学术论文。②2024年《江西通信科技》所有录用稿件以及截至2025年9月30日已录用的2025年稿件(2024年论文评选获奖刊登的稿件除外)。论文系作者原创, 且未在国内外公开发表过或在会议上选用过, 论文不涉密、无抄袭, 文责自负, 查重率不超过30%。投稿截止日期2025年9月30日, 请大家积极投稿。投稿邮箱jxtxkj@jxtxxh.cn, 投稿联系电话0791-83721872。

智慧校园信息化建设赋能教育新生态

——内涵解构与实践路径

刘余平 中国联合网络通信有限公司江西省分公司 江西省南昌市 330000

摘要：智慧校园是教育信息化发展的新阶段，不仅是数字化校园的拓展，更是功能的全面升级。它融合云计算、大数据、物联网等前沿技术，搭建高速泛在的互联网络与开放共享的公用平台，借助智能终端将校园物理空间、数字空间、人际空间紧密联结，实现对校园环境、师生行为等要素的全面感知。这不仅推动人、物间的智能交互，还能通过信息系统数据分析，为教育行政部门提供智能化决策支持，同时为师生教学、科研及日常生活带来便捷与高效。

关键词：智慧校园 物联网 大数据 人工智能

0 引言

本文系统阐述智慧校园的核心内涵、技术架构、典型应用场景及其面临的挑战与对策，并结合实践案例，论证其在提升教育质量、优化资源配置及促进个性化发展中的关键价值，为教育数字化转型提供理论参考与实践路径。

1 智慧校园的内涵与技术架构

智慧校园以“数据驱动、智能互联、以人为本”为核心理念，通过构建统一数字底座，实现校园全要素的感知、互联与协同。以实现高速、稳定、安全的全光网络为目标，全面覆盖学院的教学、科研与管理需求。校园网络基础设施采用分层设计思路，分为核心层、汇聚层和接入层，通过全光网络技术构建高带宽、低时延的传输环境。核心层选用高性能路由交换设备，支持100Gbit/s以上的传输速率，并具备冗余备份功能，确保网络稳定性。汇聚层部署多台千兆交换机，实现对教学楼、宿舍楼及行政楼等区域的高效连接，同时支持VLAN划分和QoS策略，满足不同业务场景的需求。

智慧校园技术架构自下而上分为四层，如图1所示。

(1) 感知层：主要由各类传感器、智能手持终端与校园物联网设备构成，用于采集校园运行过程中产生的

各种数据，包括人员流动、环境数据（温度、湿度、空气质量等）、门禁考勤、能源消耗等。

(2) 网络层：融合5G、Wi-Fi 6、光纤网络，保障高速泛在连接。

校园有线网络与无线网络（5G/Wi-Fi 6）：为师生、访客与各类物联网设备提供稳定的网络接入。

VPN/专用网关：保护校园内部数据传输安全，实现远程访问和多校区互联。

网络安全设备：部署防火墙、入侵检测系统等，防范外部攻击与内部滥用。

(3) 平台层：搭建云计算中心与大数据平台，实现数据融合分析与AI能力输出。平台层是整个智慧校园的“数字引擎”，它负责对感知层的数据进行接收、清洗、存储与处理，并为上层应用提供统一的数据接口与算法支持。

(4) 应用层：支撑教学、管理、服务等多场景智能化应用。

应用层直接面向师生、管理者与家长，提供与教学、管理、安全、生活等相关的业务功能，其中智慧教学涵盖四大功能：

◎ 课程与排课管理：支持课程信息维护（包括课程名称、教师、时间等基础信息录入与查询）、智能排

课（解决大走班、分层走班等复杂场景，自动生成“一人一课表”），以及选课与调课处理（万人级并发选课、自动化调课审批流程）。

◎ 学籍与成绩管理：可进行学生学籍信息维护，包括个人档案更新、选课记录管理等；支持成绩录入与统计分析，能自动汇总学生考试成绩及作业表现，并生成个性化成长档案。

◎ 教务协同与评价：提供教师排课安排、考勤管理（记录教师出勤情况），以及教学评价功能（收集学员对课程的反馈）。部分系统支持在线选课、补修报名等学生自助服务。

◎ 资源分配：教室预约、设备借用等资源调度，整合教材管理与教学素材库功能。

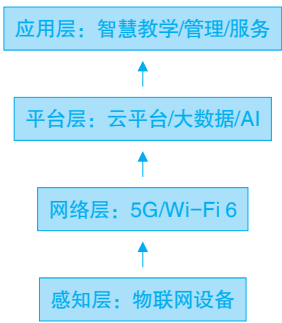


图1 智慧校园技术架构示意图

2 网络安全保障

2.1 校园网络边界防护部署

在校园网络出口部署高性能防火墙设备，该设备支持国家密码管理局认证的国密算法，可有效过滤非法访问与恶意攻击；具备IP/MAC绑定功能，能建立前端设备准入机制，防范未授权设备接入；同时支持DDoS防护及入侵检测与防御（IDS/IPS）功能，为校园网络构建全面安全防护体系。

在校园网络边界部署专业上网行为管理设备，对进出流量实施精细化管理。该设备支持基于用户、时间、应用等多维度访问控制策略，能有效限制高风险应用使用，降低网络安全风险；同时内置实时更新的威胁情报库，可精准识别并阻断隐私数据明文传输行为，保障敏

感信息安全。

为增强边界防护能力，部署专业的下一代入侵防御系统（NGIPS）。通过深度包检测技术，能够主动发现并拦截潜在的网络攻击行为。NGIPS支持与防火墙联动，形成动态防御体系，进一步提升校园网络的整体安全性。

在边界防护部署过程中，应考虑校园网络的实际运行环境，合理规划安全设备的部署位置和策略配置。核心交换机与互联网出口之间部署防火墙和上网行为管理设备，确保所有进出流量均经过安全检查；在数据中心区域部署入侵防御系统，保护关键业务系统的安全运行。定期对边界防护设备进行升级维护，确保其始终处于最佳工作状态。

2.2 核心数据加密传输设置

制定核心数据加密传输设置方案，为确保校园网络数据的安全性及可靠性，采用国家密码管理局认证的国密算法对核心数据进行加密传输，同时结合多种技术手段实现全方位防护。

在数据传输过程中，涉及隐私的数据均通过SSL/TLS协议进行加密处理，确保网络环境中的数据安全。具体实施时，在关键节点部署硬件加密设备，配合软件加密机制，形成多层次防护体系。硬件加密设备支持SM1、SM2、SM3、SM4等国密算法，可有效防止数据被非法截取或篡改。同时，通过IPSec VPN技术构建专用安全通道，进一步强化数据传输的安全性。

通过基于角色的访问控制（RBAC）机制，限定不同用户群体对核心数据的访问权限，避免越权操作引发的安全隐患。系统会实时监控数据传输过程中的异常行为，一旦发现可疑活动立即触发报警并记录日志，便于后续追踪与分析。

2.3 安全日志监控与审计措施

采用符合国家密码管理局认证的国密算法进行数据加密，同时结合统一安全管理平台实现对全网设备日志的集中采集、分析和存储。系统支持对所有接入设备的日志进行实时监控，包括但不限于防火墙、交换机、路由器、服务器以及终端设备等，确保任何异常行为均可被快速捕捉。通过对日志数据的深度挖掘，能够有效识

别非法入侵、恶意攻击及违规操作，并生成详细的审计报告。

在具体实施过程中，部署专业的日志管理软件，该软件具备强大的日志解析能力，可支持多种协议和格式，如Syslog、SNMP Trap等，确保兼容性。同时，软件内置智能告警功能，当检测到可疑活动时，立即触发警报并将相关信息推送至管理员。系统还提供灵活的查询和统计功能，方便用户按需检索历史记录，支持多维度筛选条件，如时间范围、事件类型、IP地址等。

2.4 入侵检测与防御系统安装

采用先进的硬件设备与软件平台相结合的方式，部署一套全方位入侵检测与防御系统（IDS/IPS）。该系统能够实时监控网络流量，识别并阻断潜在威胁，同时提供详细的日志记录和报警功能，便于后续分析和追踪。

实际部署时，选用符合国际标准且支持 ONVIF、GB/T 28181 协议的高性能入侵检测与防御设备。该设备具备不低于 1000M 码流的接入、转发及存储能力，可有效应对大规模数据流量处理需求；通过 TCP/IP 接口实现远程管理，方便管理人员随时掌握网络安全状态。同时，所有设备均经严格测试，满足国家密码管理局认证的国密算法要求，保障数据传输加密安全，杜绝隐私数据明文泄露风险。

为实现更精准的防护，需对校园内各关键节点开展深度扫描与安全评估，明确潜在安全隐患，并据此优化入侵检测规则库。系统内置最新攻击特征库，可实时更新以应对新型威胁，同时支持自定义规则配置，满足校园特殊场景的安全需求。针对检测到的异常行为，系统将自动触发告警机制，并依据预设策略执行阻断或隔离操作，最大程度降低潜在安全损失。

3 核心应用场景与价值赋能

在功能模块方面，智慧校园软件涵盖教学管理、学生事务、行政办公等多个维度。其中，教学管理模块可实现课程安排、成绩查询、在线考试等功能；学生事务模块支持学籍管理、活动报名、宿舍申请等服务；行政办公模块则提供公文流转、会议安排、考勤统计等工

具，全面提升学校管理水平。

3.1 智慧教学：重构课堂生态

◎ 智能教学环境：教室配备智能黑板、环境感知系统，自动调节光线温度；

◎ 个性化学习平台：基于学情分析推送自适应资源（如图2）。学生首先登录系统，系统随即开展学情诊断，结合诊断结果分析知识点薄弱项，再依据分析结论推荐学习路径，最后根据学生实际学习情况动态调整资源，以精准适配个性化学习需求；

◎ VR实验与VR教学：突破时空限制，高危实验安全模拟，实操效率提升40%。



图2 个性化学习平台逻辑图

3.2 智慧管理：提升运营效能

◎ 校园安全防控：AI摄像头实现异常行为识别、危险区域预警，校园安全事故率下降35%；

◎ 能耗智能管控：物联网监测水电使用，自动优化设备运行，年节能达20%；

◎ 数字孪生校园：3D可视化平台集成楼宇、管网、安防数据，运维响应时间缩短50%。

3.3 智慧服务：优化师生体验

◎ 一站式服务大厅：集成课表查询、报修、缴费等功能，流程办理时间减少70%；

◎ 智能后勤系统：食堂根据人流预测备餐，有效减少食材与粮食浪费；图书馆则通过座位预约系统，让师生按需预约使用，提升座位资源的利用率。

◎ 健康监测平台：可穿戴设备实时跟踪学生体能数据，生成个性化运动建议。

4 未来趋势与展望

智慧校园未来将向三大方向深化演进：其一为“教育大脑”，通过整合多维度校园数据，构建具备分析、决策能力的智能中枢，为教学优化、资源调配等提供精准支撑；其二是“无边界学习”，打破物理空间与时间限制，借助线上线下融合的学习场景，让师生随时随地获取教育资源，实现泛在化学习；其三是“人机协同”，推动人工智能等技术与教学、管理深度融合，辅助教师高效授课、助力管理者精准施策，形成人机互补

的校园运行新模式。

4.1 教育大脑

以AI为核心驱动教学决策,构建“数智融合”的教育治理模式。作为智慧校园的核心系统,教育大脑通过融合人工智能、大数据、物联网等技术,推动教育生态向数据驱动、个性化、泛在化转型。

全维度学生画像与学习行为分析:依托教育大脑平台,实时采集学习过程、互动行为、能力发展等数据,生成动态学生画像,精准识别学情弱项并推送自适应资源。

管理决策科学化:通过数据驾驶舱实现资源调度、学科评估、风险预警的智能化,例如学科对标分析辅助“双一流”建设,就业推荐算法提升求职匹配度。

4.2 无边界学习

依托AR/VR技术打造沉浸式跨时空学习空间,打破传统教育的时空、学科和资源边界,推动教育生态向“人人皆学、处处能学、时时可学”的终身学习体系演进。无边界学习的核心在于以学习者为中心重构教育生态,其发展需依托技术、制度与人文的三重协同:技术是桥梁,5G、AI、云边协同打通物理与虚拟边界;制度是保障,开放资源生态、动态课程体系、多元评价标准缺一不可;人文是灵魂,最终指向“人的全面发展”,让技术赋能每个学习者成为自主探究的终身成长者。

4.3 人机协同

通过教育机器人辅助个性化辅导,释放教师创造力。智慧校园信息化建设中的人机协同,正从技术辅助

工具升级为教育生态重构的核心驱动力。结合政策导向、技术突破与实践案例,其未来趋势与展望可系统归纳为以下五大方向:教学范式重构从AI辅助到人机共教、管理服务升级从经验决策到智能治理、技术底座演进从功能模块到认知伙伴、伦理治理挑战平衡效率与人文价值、未来展望人机协同的终极形态。当机器擅长“计算”,人类更需深耕“算计”——对价值的判断、对情感的共鸣、对未知的探索。智慧校园的人机协同,终将回归教育“见天地、见众生、见自己”的本真。

5 结束语

智慧校园不仅是技术升级,更是教育生态的系统性变革。需以教育本质需求为锚点,通过技术赋能、机制创新与人文关怀的深度融合,构建“精准化教学、科学化决策、人性化服务”的未来教育新图景,最终指向人的全面发展。教育机构应制定长期规划,重视伦理安全,让技术真正成为推动教育公平与质量跃升的引擎。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部.教育信息化20行动计划[R].北京:中华人民共和国教育部,2018.
- [2] 谢丰,孟金,丁炜,等.基于重大活动保障的网络架构改造与网络安全建设综述[J].电脑与电信,2020(6):57-62.
- [3] SIEMENS G. Learning Analytics: The Emergence of a Discipline[J].American Behavioral Scientist, 2013,57(10):1380-1400.
- [4] 沈娟娟.基于5G移动通信技术网络切片应用研究[J].物联网技术,2025,15(2):68-71.
- [5] 黄琳,黄劼,蒋平.支持IPv4/IPv6双栈的5G通信网络可靠性组网部署研究[J].现代电子技术,2025,48(1):102-106.
- [6] 洪鹰群.信息化驱动下的5G无线网络切片管理方法[J].信息与电脑(理论版),2024,36(20):156-158.
- [7] 邓宏阳.浅谈降低5G网络端到端时延的方法[J].数字通信世界,2024(9):99-101.
- [8] 王卫华.5G网络切片安全防护技术研究[J].警察技术,2024(5):50-54.

(上接第03页)

考,对推动5G技术创新发展具有积极意义。后续研究团队将深入研究智能化调度算法,进一步优化系统性能。

参考文献

基于STM32的智能卧室系统设计与实现

何昌鸿 江西现代职业技术学院 江西省南昌市 330095

摘要: 针对传统卧室环境参数调控效率低、安全隐患难以及时发现的问题,本系统以STM32F103C8T6芯片为主控制器,构建智能卧室系统。系统集成温度、湿度、烟雾、光照及火焰传感器,通过整合各采集模块数据实现环境智能监测;以风扇、除湿机、LED灯、舵机、水泵为执行机构,依据采集的实际环境参数驱动执行机构工作,实现环境参数自动调节,同时支持手机APP远程控制。测试表明,系统温湿度测量误差 $\leq 2^{\circ}\text{C}$,烟雾与光照检测相对误差 $< 10\%$,火焰响应距离达14cm,运行稳定可靠,有效提升居住安全性与舒适度。

关键词: STM32 环境监测 传感器 远程控制 智能卧室

0 引言

随着智能家居技术的发展,卧室作为私密空间,其智能化需求日益凸显^[1]。传统卧室依赖人工调控,存在响应滞后、安全隐患难预警等问题。目前,国内智能家居研究呈现“技术融合加速+场景深化拓展”的双轨趋势^[2]。在高校科研领域,基于嵌入式系统的环境调控方案日趋成熟,东北大学团队开发的模块化智能寝室系统,通过压力传感器组实时监测床位状态,结合 Zig - bee通信实现灯光、窗帘的自动联动^[3],显著提升了狭小空间的功能集成度;欧美国家在脑机接口与无感交互领域取得突破性进展。2025年,强脑科技与喜临门联合推出的“宝裸”床垫,首次将医疗级脑电监测技术民用化^[4],该产品通过无感采集脑波信号实时分析睡眠阶段,动态调整床垫支撑参数,使深睡眠时长提升25%。

该系统基于STM32主控制芯片,设计了一套集成环境感知、智能调控与安全防护的卧室系统,通过传感器网络实时监测环境参数,并驱动执行机构,实现远程控制的自动化管理,为智能家居提供低成本、高可靠解决方案。

1 系统总体设计

1.1 系统框架

系统的总体设计架构可以分为四个模块,包括:感知模块、控制模块、执行模块、交互模块,各模块之间

相互关联,相互控制,从而保证整体系统的稳定运行,灵活联动。系统总体架构如图1所示。

控制模块选用STM32F103C8T6芯片作为主控制器,是整个系统的“大脑”,将感知模块采集的信息转化为具体的控制动作,实现数据的处理并决策;感知模块由温湿度传感器、烟雾传感器、光照传感器、火焰传感器共同组成,作为整个系统实现环境监测的“神经末梢”,为控制模块提供全面的环境输入数据;执行模块由风

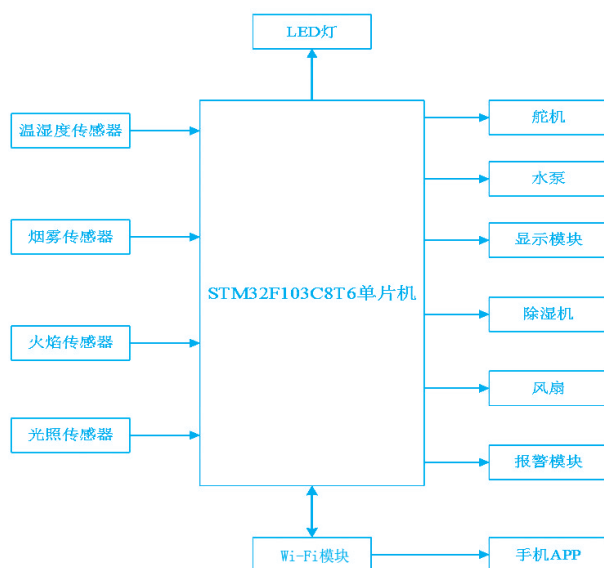


图1 系统总体架构

扇、继电器、舵机、LED灯组成，风扇接收指令启动降温，继电器控制外接设备完成除湿与洒水操作，舵机通过机械操作实现开窗，LED灯在光照不足时提供补光操作，协同执行主控制器的决策；交互模块由 OLED 显示屏与 ESP8266 Wi-Fi 模块共同构成，其中 OLED 显示屏实现系统关键参数的显示，包括温湿度、光照强度等环境参数，ESP8266 Wi-Fi 模块负责网络连接的建立，实现手机 APP 远程通信。

1.2 关键模块选型依据

主控芯片采用 STM32F103C8T6，其具有 72MHz 主频与丰富外设资源^[5]，包括 3 个 USART、2 个 SPI、2 个 I²C，满足多传感器并行处理需求，硬件浮点运算单元显著提升数据融合效率，为复杂控制算法提供算力支撑^[6]。环境感知模块包括温湿度检测、烟雾检测、光照检测、火焰检测。温湿度检测选用 DHT11 传感器，集成数字输出与单总线通信协议，显著降低布线复杂度，其温度精度为±2℃、湿度精度为±5%RH，能满足卧室环境调控的精度需求；烟雾检测选用 MQ-2 广谱气敏元件，对烟雾颗粒灵敏度达 0.1~10mg/m³，响应时间<10s，优于 MQ-5 的液化气专项检测特性^[7]；光照检测选用 GL5506 光敏电阻，线性度误差<3% (0~1000lux)，内置温度补偿电路消除季节性偏差，分压电路输出可直接接入 ADC；火焰检测选用红外式传感器，对 980nm 火焰光谱响应时间≤0.5s，检测距离达 5m，成本仅为紫外传感器的 1/3^[8]；通信模块选用 ESP8266 Wi-Fi 模块，支持 802.11b/g/n 协议，内置 TCP/IP 协议栈实现“传感器→云平台→手机 APP”数据贯通，实测传输时延<150ms (局域网)，功耗峰值仅 80mA，兼顾实时性与能效比。各模块选型如表 1 所示。

表 1 关键模块选型依据

模 块	器件型号	特 点
主控制器	STM32F103C8T6	外设丰富
温湿度传感器	DHT11	集成温湿度检测
烟雾传感器	MQ-2	灵敏度高
光照传感器	GL5506 光敏电阻	温度补偿稳定
火焰传感器	红外模式	响应快
通信模块	ESP8266	支持联网

2 系统硬件设计

2.1 主控电路设计

STM32F103C8T6 最小系统包含晶振 72MHz、内部含复位电路及电源模块^[9]，复位电路可以在系统异常时触发复位，让芯片恢复初始状态，电源电路将外部电压转换为芯片所需的 3.3V 电压，为主控芯片提供电源，通过 GPIO 扩展 ADC 实现模拟信号与数字信号的转换、USART 等功能接口，从而实现数据的可靠传输，让主控制器与各类传感器实现高效的数据交互。主控电路如图 2 所示。

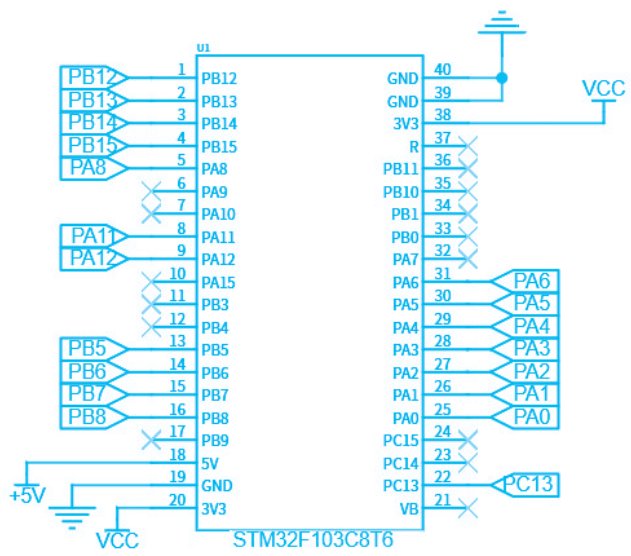


图 2 主控制器最小系统

2.2 感知模块电路

感知模块电路包括：温湿度检测电路、烟雾检测电路、光照检测电路、火焰检测电路。温湿度检测电路采用 DHT11 传感器，数据引脚接主控器的 PA5 引脚，内置上拉电阻确保信号稳定，能有效避免信号传输过程中的波动，确保传感器与主控制器之间的数据可靠传输。烟雾检测部分采用 MQ-2 传感器，其输出模拟量接入芯片的至 PA0 引脚，该模拟信号经芯片内部 ADC 模块完成模数转换后，将与预设阈值进行比对，从而判断环境中烟雾浓度；光照检测电路中，GL5506 光敏电阻与 10kΩ 电阻组成分压电路，当环境中光照强度发生变化时，光敏电阻值发生改变，输出电压信号也随之改变，同时电压信号传输至 PA4 引脚。

火焰检测采用红外传感器，其输出模拟量传输至PA6引脚，当输出信号的电压达到或低于触发电压阈值1.5V时，触发响应。各传感器电路如图3所示。

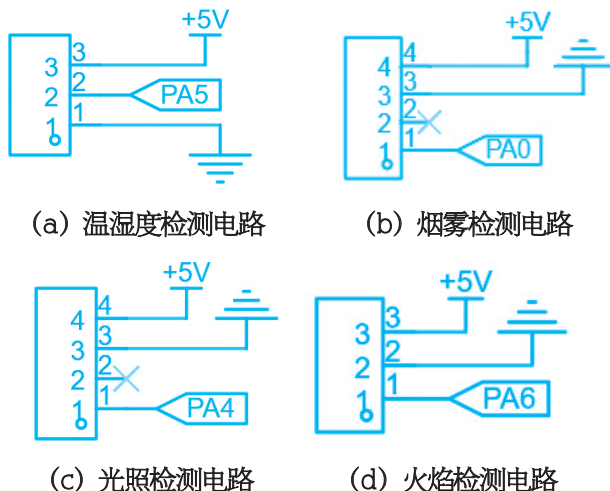


图3 感知模块电路

2.3 执行模块电路

执行模块电路包括：舵机电路、继电器电路、照明电路、报警电路。采用舵机SG90模拟通风控制，接入芯片PB15引脚，接收主控制器传来的控制信号，通过预设旋转角度模拟窗户的开/关操作，以此实现调节室内空气的流畅；继电器电路负责降温与除湿功能的实现，当检测到需要降温时，继电器驱动PB13引脚的风扇启动，当需要除湿时，继电器驱动PB12引脚的除湿机运行；报警电路中水泵与芯片的PA8引脚相连接并对其驱动，当系统检测到火焰并触发报警时，将立即启动水泵进行灭火操作；照明电路由LED接芯片PC13引脚实现，当光照传感器检测到室内环境光照不足时，主控制器通过PC13引脚传输信号，控制LED灯自动点亮，达到补充室内环境光线的作用。各模块电路如图4所示。

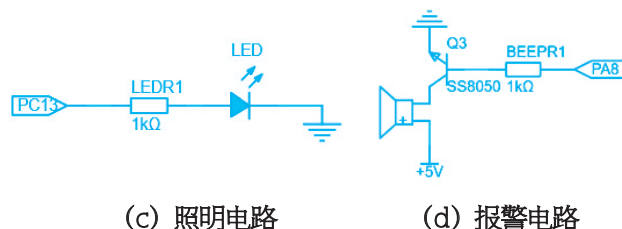
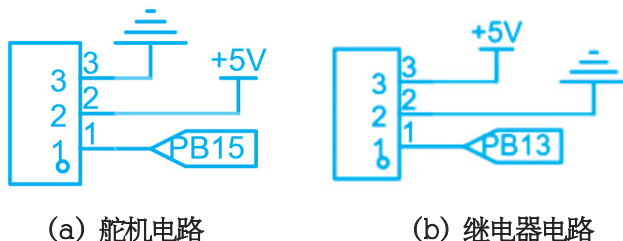


图4 执行模块电路

2.4 交互模块电路

Wi-Fi通信功能由ESP8266模块实现，该模块通过USART1接口与主控制器建立连接并进行数据交互。主控制器处理后的各类信息会经此链路传输给ESP8266，再由其通过Wi-Fi网络发送至手机APP，实现数据的远程同步。本地显示部分采用0.96英寸OLED屏幕，通过I2C接口与系统连接。它能实时接收并展示温湿度、光照强度等各类环境参数，让用户在设备本地即可直观了解当前环境状态。各模块电路如图5所示。

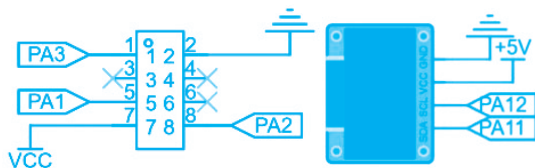


图5 交互模块电路

3 系统程序设计

系统以环境参数阈值判定为核心逻辑，实现卧室环境的闭环调控，其主程序流程如图6所示。

主流程图可以概括为四个阶段：初始化阶段、多传感器循环检测阶段、执行逻辑阶段、状态同步与循环阶段。①初始化阶段：STM32启动后，依次完成时钟配置、外设初始化、传感器校准及预设阈值载入，OLED同步显示启动界面，ESP8266则接入Wi-Fi网络；②多传感器循环检测阶段：温湿度检测、烟雾检测、光照检测、火焰检测四个检测循环进行；③执行逻辑阶段：当温湿度超限时，触发风扇或除湿器，持续运行直至参数恢复正常，烟雾预警时，MQ-2输出>2V电压，舵机转动90°模拟开窗，蜂鸣器以85dB鸣响，光照不足时，GL5506分压值>3V时，LED灯组自动补光，火焰应急

时,红外传感器输出<1.5V持续2s,水泵启动喷水;④状态同步与循环阶段:所有环境数据包括:温度、湿度、烟雾、光照实时刷新至OLED显示屏,报警事件通过ESP8266推送至手机APP,同时系统以500ms间隔循环检测,确保响应实时性。

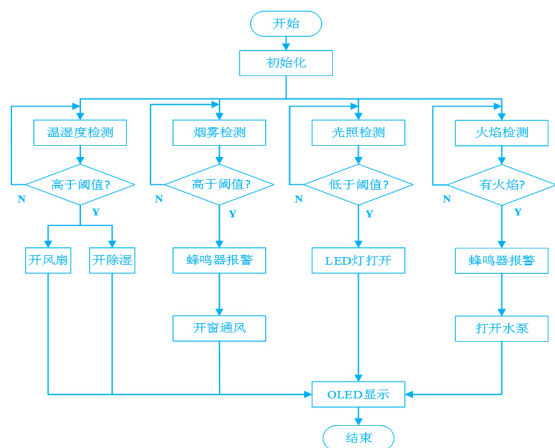


图6 系统程序主流程

4 系统测试与分析

完成系统的硬件焊接与软件烧录后,进入系统调试与精度测试阶段,调试时先检查硬件连接是否稳固、电路有无短路或虚焊,同时通过调试工具监测软件程序运行逻辑,排除代码漏洞。功能性测试则模拟实际场景,验证各模块是否按预期工作。

4.1 功能测试

功能测试使用实物板进行测试,如图7所示,测试包括四个性能测试:

(1) 温湿度调控性能

模拟夏季高湿环境触发条件,参数设定为:温度>32℃且湿度>79%。此时系统启动响应,风扇开启以即时降温,除湿机同步运行;5分钟内温度可降至28℃以下,湿度降至65%以下;执行机构(风扇+除湿机)总功耗<35W,符合家用设备能效标准。

(2) 烟雾报警响应

模拟烟雾浓度>50%触发条件,此时MQ-2输出模拟量>2.0V,系统及时启动响应,有源蜂鸣器以2kHz频率鸣响,声音分贝>85dB,此时舵机以90°旋转模拟开窗通风;从传感器检测到执行动作完成耗时<1s,开窗

后3分钟烟雾浓度下降至安全阈值(<30%)。

(3) 光照补偿效果

模拟光照强度<10%,约50lux触发条件,此时GL5506分压值>3.0V,系统及时响应,LED灯组自动点亮,输出流明值>800lm,工作区照度提升至30%(约150lux),满足阅读照明需求;光敏电阻线性响应误差<3%。

(4) 火焰应急处理

模拟火焰距离<14cm触发条件,此时红外火焰传感器输出<1.5V,系统及时响应,伴随蜂鸣器持续报警,水泵启动喷水,明火在10s内扑灭(实验重复30次成功率100%),水流覆盖半径达0.8m,有效保护面积>2m²。

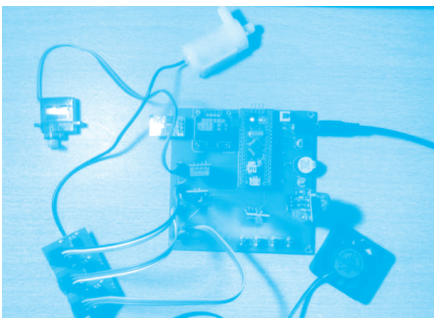


图7 实物测试板

4.2 性能测试分析

(1) 温湿度模块测试

系统通过DHT11温湿度传感器采集卧室当前温湿度:温度超设定阈值时,自动启动风扇降温;湿度超设定阈值时,开启除湿机除湿。调试该模块期间,分别采集正常环境、呼气(模拟温湿度骤升)及湿纸巾包裹传感器(模拟高湿环境)下的温湿度数据进行对比,测试数据如表2所示。

表2 温湿度模块测试数据

条件	温度	湿度	风扇状态	除湿机状态
正常环境	29℃	52%	关闭	关闭
呼气时	32℃	79%	开启	开启
湿纸巾包裹	29℃	87%	关闭	开启

(2) 烟雾模块测试

系统采用MQ-2烟雾传感器检测卧室烟雾浓度:正常状态下,烟雾浓度为33%,蜂鸣器不报警,窗户保持关闭;将烟雾阈值设定为50%后,通过打火机放气模拟

烟雾异常,此时烟雾浓度升至99%,远超设定阈值。系统检测到异常后,立即驱动舵机转动以模拟开窗通风,同时触发蜂鸣器启动报警,测试数据如表3所示。

表3 烟雾模块测试数据

条件	烟雾浓度	窗户状态	蜂鸣器状态
正常环境	33%	关闭	关闭
打火机放气	99%	开启	开启

(3) 光照模块测试

光照传感器负责检测卧室光照强度:正常状态下,光照强度为20%,LED灯保持熄灭;将光照阈值设定为10%后,通过手指遮挡GL5506光敏电阻模拟低光环境,此时光照强度降至1%,低于设定阈值。系统检测后,自动开启LED灯为卧室补光,测试数据如表4所示。

表4 光照模块测试数据

条件	光照强度	LED灯状态
光照足够	26%	关闭
光照不够	1%	开启

(4) 火焰检测模块测试

火焰传感器用于检测卧室环境中的火焰情况:当火焰状态显示正常时,水泵与蜂鸣器均处于关闭状态;使用打火机点火并靠近传感器模拟火情后,火焰状态转为异常,系统检测到数据变化后,立即同步开启水泵(模拟灭火)与蜂鸣器(触发报警),测试数据如表5所示。

表5 火焰检测模块测试数据

条件	火焰状态	水泵状态	蜂鸣器状态
无火	正常	关闭	关闭
有火	异常	开启	开启

5 结束语

本设计实现了卧室环境的智能化闭环管理,核心成果集中体现在环境调控效能、系统核心性能、工程落地价值三个维度:在环境调控效能上,基于多传感器协同机制实现环境参数动态平衡,温度波动可控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 范围内,光照强度能自动维持在舒适区间,当烟雾浓度超阈值时,0.8s内即可启动通风与灭火双响应;在系统核心性能上,STM32通过硬件浮点加速算法,使指令响应时延 $\leq 0.42\text{s}$,ESP8266建立TCP长连接通道后,经72小时连续压力测试误报率仅0.5%,且系统待机功耗低至

0.5W;在工程落地价值上,采用模块化设计有效降低设计成本,同时预留CO₂传感器等扩展接口,为智能家居普惠化发展提供了可复用的技术范式。

后续技术将向深度化方向拓展,计划引入MH-Z19BCO₂传感器与SGP40VOC检测模块,构建卧室空气质量指数(AQI)模型。通过STM32的FFT频谱分析技术,识别甲醛、苯系物等污染物的特征浓度曲线,联动新风系统实现污染源靶向清除,将室内TVOC浓度控制在安全线以下。最终推动系统从“阈值响应”向“认知预测”跃迁,通过睡眠质量提升率、能源自给率、污染净化效率等核心指标,重新定义智能卧室的技术边界。

参考文献

- [1] 贾东霖,陈可立,阿西古丽·阿迪力.基于STM32的家居环境检测系统设计[J].电脑知识与技术,2025,21(7):99-103.
- [2] 陆永鸿,董玉华.基于STM32的智能家居门禁系统设计[J].智能计算机与应用,2025,15(02):65-69.
- [3] ELHADIDY H,BADRAN H,ATEF E,et al.A systematic literature review of smart power monitoring and controlling systems for smart homes[J].Journal of Engineering Research and Reports, 2025, 27 (4): 438-445.
- [4] 何晶.基于物联网技术的智能硬件远程监控与维护系统[J].电脑编程技巧与维护,2025(02):149-151.
- [5] 张宇,左爱斌,彭月祥.高温振动校准中温度试验箱的多传感器控温方法研究[J].计量科学与技术,2025,69(2):22-28.
- [6] 卢科宇,黄天翔,李惜源.等.基于物联网技术的新型智能宠物屋设计与研究[J].物联网技术,2025,15(7):62-65.
- [7] 苗益博,尹章轩,陈子昂.等.宠物生活智能监测系统[J].福建电脑,2025,41(4):95-98.
- [8] 任鹏鲲,祁红艳,任便歌.基于Wi-Fi的智能教室环境监控系统设计[J].家电维修,2025(4):55-57.
- [9] 朱岚钧,罗智文,胡裕民.等.基于STM32单片机的基站智能监控系统的设计[J].工业控制计算机,2024,37(11):131-133.

数据要素驱动下电子信息制造企业 生产线技术创新的实践探索

王 剑¹ 李 龙² 桂贤梁¹ 李 跃¹

1 联通（江西）产业互联网有限公司 江西省南昌市 330096

2 中国联合网络通信有限公司江西省分公司 江西省南昌市 330000

摘 要：印制电路板（PCB）制造企业普遍存在数据流通不畅的问题，IT与OT系统间的数据孤岛现象严重，导致高质量数据要素资源匮乏，而依赖传统调控及生产方式效率低下，造成生产资源浪费。江西联通聚焦数据要素的深度应用与价值挖掘，通过数据集成与处理手段，对产线工艺参数进行智能优化，推动PCB制造企业的智能化转型与升级，为电子信息行业开辟了一条数据赋能、创新驱动的发展新路径。

关键词：数据要素 数据集成处理 电子信息制造

0 前言

江西省电子信息产业蓬勃发展，2022年营收超万亿元，2024年预计破1.16万亿元。作为产业链关键的PCB制造企业，虽有提升成品品质的迫切需求，却因对数据要素认知不足，面临数据流通不畅、IT与OT系统数据孤岛严重、高质量数据匮乏的问题；同时DES（显影、蚀刻、退膜）产线30余个维度的工艺参数，依赖经验手册调控效率低，造成生产资源浪费。

为解决PCB制造企业痛点，打破数据壁垒，推动数据要素的深度应用与价值挖掘，江西联通通过系统性解决方案，以先进数据集成与处理技术实现IT与OT系统无缝对接、数据融合，构建统一高效的数据处理平台；同时用大数据分析AI算法优化DES产线工艺参数，替代传统经验调节，实现参数精准控制与持续优化。此举既解决数据流通堵点，又降低次品率，显著提升生产效率与产品品质，为PCB企业打造智能制造新模式。

1 解决方案

1.1 架构设计及方案

针对PCB制造中数据集成难与数据源多样的问题，方案采取双管齐下策略：

◎ 数据清洗工作方面，通过数据清洗与时间段关联，优化DES生产参数的集成关联，对DES生产过程中的海量数据进行精细化处理，剔除噪声与异常值，确保数据的准确性与一致性。同时按照时间轴进行数据的关联分析，揭示生产参数随时间变化的规律，为工艺优化提供时间维度的洞察。

◎ 人工智能算法方面，运用人工智能算法对复杂数据进行建模分析，构建自适应的工艺参数优化模型，精准剖析工艺参数与产品合格率的内在联系，对收集到的大数据进行深度建模分析，通过构建高度自适应的DES生产线工艺参数优化模型，能够智能识别并分析不同工艺参数对产品合格率的影响，实现工艺参数的动态调整与优化，从而有效提升生产效率与产品质量。架构设计如图1所示。

1.2 关键技术

构建统一数据平台，实现数据采集协同。统一定义的数据平台，用于整合和管理DES线工艺参数、产品品质数据等各类生产数据。该平台采用标准化的数据格式，确保了不同来源、不同格式的数据能够顺利接入，打破了IT和OT系统数据孤岛局面，实现了数据在企业内部各部门之间顺畅的协同和共享。



图1 架构设计

(1) 数据清洗与整合，提升数据质量

在数据采集协同的基础上，进行了数据清洗和整合工作。通过对原始数据进行预处理，去除重复、错误、不完整数据及异常离群值（outliers），以保证数据质量。同时，利用SQL数据库和Python数据分析技术，对多源数据进行融合和整合，形成了多维度、标准化、高质量的数据湖系统，从而获得具有商业价值挖掘意义的数据要素资源库，为后续的建模和分析提供了坚实的基础。

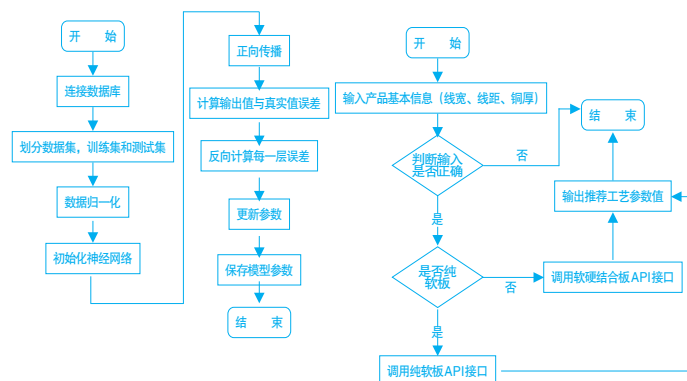
(2) 人工智能故障预测，节约人工成本

提出了一种基于数据湖的多层BP神经网络故障预测机器学习方法，可有效替代效费比低的人工检测方式，主要预测影响PCB产品质量的蚀刻因子和阻抗指标。通过建立数据湖系统，采用有监督学习方式，使用神经网络技术自适应学习产品的基本信息以及各项工艺参数与检测的质量结果的关系，得到能够自动分析产品基本信息以及各项工艺参数和检测质量结果的智能故障预测系统。该系统实现了企业在生产过程中对产品品质状况异常波动的有效监测，再通过采取措施进行调整优化，提升产品的首件质量且大幅降低了人工成本。

(3) 人工智能算法，优化工艺参数

DES线工艺对PCB质量至关重要，传统依赖人工经验的参数调整方法存在品质低、成本高的问题。本文通过基于数据湖的多层BP神经网络工艺参数优化方法，实现高质量数据要素资源库动态实时更新，持续迭代训练

神经网络，实现工艺参数的精准动态优化。该系统可针对不同型号产品推荐优化后的工艺参数，显著提升PCB性能与生产效率，具体流程如图2所示。



(a) 工艺参数训练流程

(b) 工艺参数优化流程

图2 工艺参数训练、优化流程

持续数据模型优化与性能提升。为了确保模型的有效性和准确性，持续进行模型优化工作，通过不断输入数据湖的实际生产过程中的新数据，对模型进行动态修正调整和完善，确保模型能够自适应生产环境的不断变化。

1.3 数据要素利用方案

构建统一数据处理平台与深化数据治理。针对数据多源异构及集成难题，自主研发数据湖与集成技术，实现结构化与非结构化数据的高效采集、清洗与融合。利用精细化的数据清洗流程，对原始数据进行深入预处

理,有效去除了重复、错误、不完整以及异常的outliers数据,确保了数据质量的显著提升。在数据处理的核心环节,充分利用SQL数据库的高效性与Python数据分析技术的灵活性,对多源数据进行深度融合与整合。通过无缝对接IT与OT系统,打破数据孤岛,促进数据流通与共享,同时基于数据分析,提前识别生产风险,助力企业精准决策,降低成本。

深度挖掘数据价值,赋能技术创新。聚焦DES产线品控,通过大数据建模预测成品首件品质,提前识别品质风险,助力企业精准决策,降低成本超10%。同时,利用机器学习算法持续优化工艺参数模型,针对柔性生产线特性,实现参数在线优化,提升产品良品率5%以上,有效提高生产效率和产品质量,展现数据要素作为新质生产力在降本提质方面的显著成效。

2 项目创新点

相比于传统自动化类技术,基于实时采集的生产设备和物联传感数据、物理实验室和化学实验室抽样数据,实现动态建模分析,为DES工艺产线提供施工工艺参数精准推荐和批次产品品质实时预测,以数据要素赋能为工业企业在生产技术上实现创新从而实现降本提质。

2.1 优化生产工艺参数

引入深度学习算法,通过BP神经网络算法模型,基于采集的产品信息、生产数据进行建模训练,根据产品信息自适应输出生产工艺参数精准值。相比传统的生产计划的指标区间值,工艺参数优化模型可以提供更精准的工艺值,从而降低生产能耗、原材料成本,提高生产效益。

2.2 改变品质预测方式

基于反向传播神经网络(DE-BP)算法模型,利用采集的产品信息、生产信息、检测结果等数据要素,构建工艺参数与品质指标关系模型,可根据采集的动态数据实时预测批次产品的合格情况。相比传统“事后抽样检测”模式,此品质指标预测模型能很好地提升产品首件检查效率,同时提高生产设备的稼动率(设备实际运行时间与理论可运行时间的占比),从“被动检验”转

向“主动预判”,减少无效生产环节的资源浪费。

3 应用成效

3.1 经济效益

数据建模深入分析生产过程中的各种数据要素,实时预测首检产品品质,提高产品质量,降低生产报废率19.6%;对工艺流程和工艺参数的动态配置,全面降低质量管理成本,品质直通率提升8.5%;对工艺参数精准控制,减少物料浪费、优化资源配置和降低能耗,降低生产成本10.2%。

3.2 社会效益

数据要素赋能PCB制造企业,在促进产业升级与技术创新、带动就业与人才培养、节能减排等方面均产生了显著的社会效益。

促进产业升级与技术创新。随着数据要素在PCB制造企业的深度应用,推动生产过程智能化、自动化升级,激发了企业的技术创新活力,推动行业的技术进步。

带动就业与人才培养。培养一批电子信息、数字化领域的业务、技术、管理人才,输出综合素质高、创新能力强、跨学科专业背景的复合型人才,打造人才高地。

节能减排提高环保效益。通过优化DES线工艺参数,降低能源和原材料的使用量,减少废弃物的产生,从而降低环境污染和碳排放,为环境保护和可持续发展作出贡献。

4 结束语

数据要素作为新质生产要素,正深刻重塑工业企业的竞争力版图,其赋能企业转型升级的成效显著且普适性强。依托成熟的大数据建模与人工智能学习算法,将数据要素有效赋能于企业技术创新,对突破数据流通堵点,带动行业企业技术发展,打造PCB产业数字化转型典型案例,具有重要的引领示范作用。

量子安全 OTN 专线技术研究与應用

刘俊通 肖赣州 徐煜祥 李 龙 中国联合网络通信有限公司江西省分公司 江西省南昌市 330000

摘 要: 量子计算技术的快速发展,使传统光传送网(OTN)面临严峻安全挑战。本研究基于后量子密码学,构建融合量子密钥分发(QKD)与国密算法的量子安全 OTN 架构,建立三维协同架构,整合 SM4 实现逐包加密,研制区块链分布式密码服务体系。本文系统论证量子安全光层的技术机理、设备形态迭代路径、现网部署方案及标准化演进路线,并在场景中验证其抗量子攻击性能,为构建天地一体化量子安全网络提供理论支撑与实践范式^[1]。

关键词: 量子安全 光传送网 OPuk 加密 抗量子攻击 密钥即服务

0 引言

全球网络安全形势日趋严峻,据 Cybersecurity Ventures 统计,2023 年全球网络攻击造成的经济损失达 8 万亿美元,较 2021 年增幅达 67%,针对关键基础设施的勒索软件攻击频率同比激增 214%。传统加密技术面临双重挑战:一方面,量子计算带来显著威胁,IBM 量子处理器已突破 433 量子比特,其量子体积达到 2^{15} 量级。MIT 实验室验证显示,Shor 算法对 RSA-2048 的破解时间理论值缩短至分钟级(Nature, 2023);另一方面,架构存在脆弱性,Gartner 报告指出,75% 的 OTN 专线存在密钥泄露风险(CVE-2024-32896),其中 34% 的漏洞源自硬件安全模块(HSM)的固件缺陷。ISO/IEC 27001:2024 认证数据显示,传统公钥基础设施(PKI)中 63% 的认证节点缺乏动态密钥轮换机制,且 89% 的工业控制系统仍采用静态预共享密钥方案。在此背景下,相关研究具有多重价值。

(1) 战略价值。满足《中华人民共和国网络安全法》《中华人民共和国密码法》对关键信息基础设施的合规要求,特别是在国家关基保护条例框架下,实现传输网络抗量子攻击能力的原生构建。该技术可有效应对量子计算对 RSA、ECC 等传统加密体系的威胁,保障金融、政务、能源等核心领域数据传输的长期安全性。

(2) 技术价值。通过融合量子密钥分发(QKD)和后量子密码(PQC)算法,构建“盾+矛”协同防御体系。实验数据显示,量子安全 OTN 可使光纤传输的密钥

分发速率提升至 800 kbit/s@80 km,误码率控制在 0.75% 以下,较传统方案提升 3 个数量级。

(3) 经济价值。据 IDC 预测,2025 年全球量子安全市场将达 86 亿美元,年复合增长率 37%。其中中国市场增速预计达 45%,金融领域(银行间清算系统)和政务领域(电子政务外网)将率先形成百亿级应用场景。

(4) 社会价值。每年全球因网络攻击造成的经济损失超 6 万亿美元(IBM 安全年度报告),量子安全 OTN 通过构建“可验证、可度量、可持续”的安全传输通道,预计可使关键基础设施的数据泄露风险降低 72% (NIST SP 800-208 标准测算)。

1 量子安全 OTN 架构设计

1.1 系统及网络架构设计

本文采用构建“管控—转发—密码”三级融合架构的方式实现量子安全 OTN 专线的搭建。管控层依托 SDN 控制器实现全网资源智能调度,采用区块链技术构建可信认证机制;转发层基于 OTN 硬管道承载量子密钥分发信号,通过 OSU 弹性管道实现业务流量的灵活适配;密码资源层部署量子密钥生成与分发设备,采用后量子密码算法实现传输数据加密。如图 1 所示。

量子安全 OTN 专线是基于量子密码技术的光传输安全产品,面向客户提供“超大带宽 DC 联”“政企 OTN 量子安全专线”场景解决方案,总体架构分为三层,如图 2 所示。

(1) 管控层

管控层架构由O/B域管理系统与多厂商网管平台构成，主要承担量子OTN业务的客户受理、服务开通及业务策略下发等核心管理职能。

量子安全OTN运营平台通过北向接口实现开放互通，具备量子OTN网元全生命周期管理及网络资源可视化查询等关键运维能力。

私域部署模式下无需集成电信运营支撑系统，其OTN网管组件与量子安全OTN运营平台均采用独立私有化部署架构实现。

(2) 转发层

量子加密转发层由端到端量子OTN节点构成。现阶段OTN设备主要通过集成定制化支路板卡的方式实现量子安全功能。

系统支持同厂商量子OTN设备实现协议透明的端到端加密传输，业务层无感知。

(3) 密码资源层

实现分布式密钥管理系统（KMS）的协同控制与统一管理，有效支撑OTN专线在本地业务、跨区域业务及跨省际业务场景下的量子密码服务能力。

通过北向接口与量子安全OTN运营平台实现协议对接，提供密码资源状态监控与配置查询功能。

1.2 网络方案及核心组件

(1) 量子OTN设备：采用OTN板卡内嵌量子加密芯片，采用28nm制程工艺实现抗侧信道攻击设计，支持SM4/SM9算法硬件加速，量子密钥分发速率达800kbit/s。

(2) 运营平台：集成AI驱动的威胁感知模块，通过量子纠缠态异常检测算法实时扫描中继链路，具备<100ms的量子中继攻击响应能力。

(3) 密钥云服务：提供API级密钥供给服务，采用分层确定性密钥派生架构，支持TEE可信执行环境下的密钥分片计算。

2 关键技术的研究

2.1 量子密码服务模型

(1) 服务内容

基于量子OTN设备所属服务域的拓扑特性，结合网



图1 量子OTN的系统设计架构

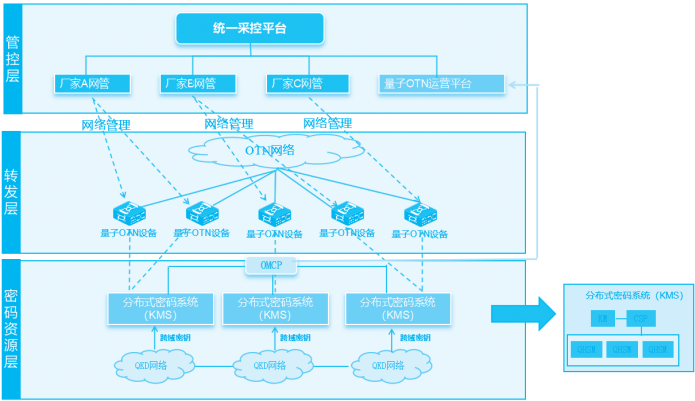


图2 量子OTN的网络设计架构

络层级架构与业务承载特征，通过智能分析引擎动态解析其适配服务模式。核心服务体系包含域内服务、跨域服务及QKD服务三类：

- ◎ 域内服务适用于同源域设备通信场景；
- ◎ 跨域服务面向多域协同业务环境；
- ◎ QKD服务则为传统量子密钥分发模式提供兼容性技术支撑。

(2) 服务方式

◎ 域内服务：针对同一服务域内的量子OTN设备，量子密码服务系统启动域内服务机制。该模式依托服务域量子密钥资源池，通过双活架构的量子随机数发生器（QRNG）集群实现每秒TB量级随机数生成能力，结合三级缓存体系（内存缓存—固态缓存—磁盘阵列）完成

密钥资源的智能预置与动态调配,确保单域内设备间通信的量子密钥供给时延低于 $50\mu\text{s}$ [2]。

◎ 跨域服务:对于分属不同服务域的量子OTN设备,由核心节点部署的分布式量子密码服务系统执行跨域服务机制。系统通过量子密钥中继网关与底层QKD网络互联,采用分段式密钥协商协议生成跨域对称密钥池,每日可维持超过 10^{15} 比特的密钥更新容量,并基于区块链技术实现多域密钥资源的可信计量与审计追踪。

◎ QKD服务:为满足特定用户差异化需求,系统保留传统QKD直连组网密钥获取通道。支持BB84、E91等协议,兼容光纤与自由空间传输,提供全场景QKD服务,最高实现 $10\text{Mbit/s}/25\text{dB}$ 密钥成码率。

2.2 OPUk层量子加密

本文采用创新设计光层-电层联合加密方案来实现OTN传输过程中在OPUk层的量子加密。

(1) 净荷预处理 (GFP映射)

采用ITU-T G.7041通用成帧规程,该国际标准定义了面向字节的同步映射机制,支持多种业务信号的灵活封装。

帧结构由四个核心字段构成:PLI (Payload Length Indicator, 2字节)用于明确指示后续Payload数据域的长度,确保接收端能精准划分数据边界;cHEC (Header Error Check, 2字节)采用CRC-16算法对帧头部进行校验,实时检测传输过程中的比特翻转或头部篡改;Payload为可变长数据域(1-1500字节),支持灵活适配不同业务的数据承载需求;tHEC (Tail Error Check, 4字节)使用CRC-32强化校验,对完整数据帧进行二次验证。通过头部(cHEC)与尾部(tHEC)双重校验机制,可同步实现比特级错误检测与数据完整性验证,误码检出率高达99.9999%。帧结构如图3所示。



图3 量子OTN净荷预处理的帧结构

(2) 量子加密引擎

◎ 加密算法:采用国密SM4-GCM模式(符合GM/T 0002-2012标准),128bit分组长度,硬件加速优化字节置换算法实现30%性能提升,支持动态随机化IV (Initialization Vector)生成机制。

◎ 密钥管理:通过量子密钥分发(BB84协议)获取256bit密钥,采用后量子NTRU加密体系。每帧独立密钥经QRNG强化,支持GHASH算法生成256bit MAC认证标签。密钥生命周期含12小时自动轮换策略,废弃密钥量子擦除销毁。

(3) 密钥分发系统

QRNG基于单光子偏振态测量,熵值 ≥ 0.999 。QKD网络采用相位编码BB84协议,误码率 $< 0.5\%$,通过SM4/SM9国密算法实现抗量子攻击的端到端加密。

3 实验网数据验证

3.1 网络拓扑

江西联通构建实验网,如图4所示,拓扑包括:

◎ 3个核心节点(采用核心光传送网的核心OTN设备搭建实验网,分别部署于三个核心数据中心,形成三角形骨干架构)

◎ 6个接入节点(部署光终端设备OTN-CPE,分别通过单模光纤与核心OTN建立连接,覆盖区域业务汇聚点)

◎ 量子密钥分发网络设备(构建连接核心OTN网络的闭环系统,采用波分复用技术实现量子信道与业务信道同纤传输)

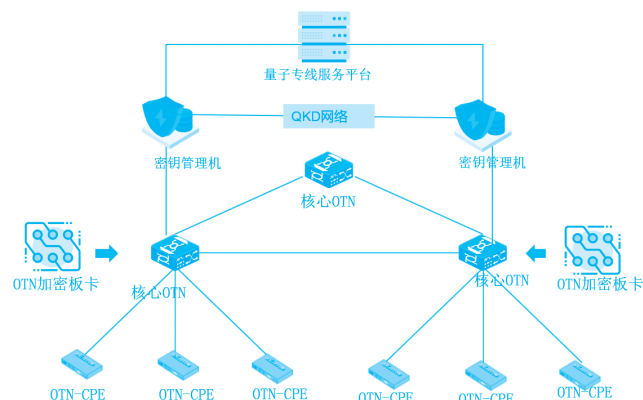


图4 江西联通量子OTN实验网

3.2 实验效果及指标

量子安全OTN技术作为创新性光通信安全解决方案,通过QKD与OTN协议栈的深度耦合 [3],实现了传输安全性与网络性能的帕累托优化。本文基于江西联通试验网的实测数据与ITU-T G.709、YD/T 2484等行业标

准的对比分析,技术优势如下:

(1) 超低时延传输特性

基于OPUK净荷层加密架构,结合国产ASIC量子安全芯片的硬件加速机制,加密时延从传统VPN方案的52 μ s显著降至0.7 μ s(降幅86.54%)。通过通用成帧规程(GFP)与SM4-GCM(Galois/Counter Mode)算法的联合优化,系统实现400Gbit/s线速加密性能,且时延抖动被控制在 $\pm 0.3\mu$ s范围内(3 σ 置信区间)。

(2) 动态安全增强机制

在江西试验网连续72小时压力测试中,量子密钥误码率维持在0.48% $\pm$ 0.05%(均值 $\pm$ 标准差),可有效防御光子数分离(PNS)攻击、时移攻击等量子窃听手段,密钥供给系统可用性达到99.999%(年中断时间 $\leq$ 5.26分钟)。

(3) 高可靠组网架构

通过ODUK子网连接保护(SNCP)与量子密钥双源热备机制的协同控制,实现 ≤ 50 ms的故障恢复时间,光层保护倒换成功率经G.8031标准验证达到100%。

表1 江西联通量子OTN实验效果

指标	本方案	传统VPN方案	提升幅度
加密时延	0.7 μ s	5.2 μ s	86.54%
密钥更新效率	1600次/秒	400次/秒	300%
故障恢复时间	<50 ms	>200 ms	75%
功耗(100G端口)	18W	25W	28%

4 经济效益分析

4.1 直接效益评估

(1) 运维成本降低

◎ 加密时延优化(0.7 μ s vs 5.2 μ s)减少业务重传率65%,带宽使用效率提升18%,以100G专线为例,年节省带宽租赁费用约120万元。

◎ 量子密钥自动化管理减少90%人工干预,运维人力成本下降40%,省级网络年节约人力支出超300万元。

◎ 单端口功耗降低28%(100G端口年节电61度),万级规模网络年减少电费支出超500万元。

(2) 安全投入缩减

◎ 动态密钥技术(1600次/秒更新)提升防护有效性,安全事件响应成本下降75%,年节省漏洞修复、应急响应等费用约1500万元。

◎ 通过等保2.0三级认证,减少传统安全设备叠加投入,合规改造成本降低30%以上。

4.2 业务增值收益评估

(1) 高价值场景拓展

◎ 可以扩展金融、证券、政府集团等领域,单条专线溢价提升20%,预计为省级运营商年增收超1000万元。

(2) 市场份额提升

◎ 量子安全资质成为政企招标核心指标,助力运营商中标率提升25%,在政务、能源等领域年新增客户超200家。

◎ 差异化服务溢价:量子加密专线定价较传统方案高15%~20%,拉动ARPU值增长12%。

5 结论与展望

量子安全OTN技术通过“量子密钥注入+光层内生安全”的融合创新模式,已在江西联通试验网中完成技术可行性验证与商业落地价值评估。从实测数据来看,该系统在加密时延(仅0.7 μ s)、密钥更新效率(达1600次/秒)等核心性能指标上实现数量级突破,成功构建起“加密即服务”的新型光网络基础设施。经济效益方面,省级网络全生命周期投资回报率达233.33%,年均可节约运营成本1100万元;社会效益层面,既保障了政务、金融等关键领域的信息主权,又通过量子密钥中继技术创新推动“东数西算”工程安全落地。

参考文献

- [1] 济南量子技术研究院.基于光学频率梳的射频与光频参考复用的TF-QKD实施方法:CN202311753709.4[P]2024-04-30.
- [2] 英特尔公司.具有侧信道安全性的低时延数字签名处理:CN202210814708.5[P]2023-03-28.
- [3] 徐启建,金鑫,徐晓帆.量子通信技术发展现状及应用前景分析[J].中国电子科学研究院学报,2009,4(5):491-497.

浅谈物联网卡安全威胁治理

胡清文 江西省通信与互联网安全技术支撑中心 江西省南昌市 330038

摘要：物联网卡作为智能终端互联互通的关键媒介，其伴随的安全风险已逐渐成为制约数字经济发展的主要瓶颈。本文结合江西省物联网卡安全监管的实践，深入剖析现存监管体制的短板，系统探究技术监督效果不佳、实名认证执行不到位及跨区域追踪困难等核心问题的成因。在此基础上，围绕提升智能监督体系完备度、改善全过程监督机制两方面提出具体优化建议。实践表明，“技术防控+法规约束+行业配合”的综合防范模式，是应对物联网卡安全问题的有效路径，同时也为构建万物互联场景下的网络安全生态系统，提供了重要的理论支撑和实践参照。

关键词：物联网卡 安全威胁 态势感知 全生命周期管理 跨部门协同

0 引言

截至2024年底，我国物联网卡连接规模突破30亿大关^[1]，展现出蓬勃的发展态势。步入2025年，行业预测这一数字将升至120亿，彰显出物联网卡广阔的发展前景。据不完全统计，在车联网、智能制造、智慧城市等18个关乎国计民生的关键行业中，物联网卡已与行业应用深度融合，逐渐成长为推动产业数字化转型和智能化升级的关键要素之一，为各行业发展注入源源不断的活力与创新力。

物联网卡的安全风险，与其应用场景属性密切相关。终端设备分散部署于多场景，且采用MQTT、XMPP、CoAP等复杂通信协议，缺乏统一安全防护手段，难以形成完整防御体系，易成为攻击目标。多数物联网卡嵌入无人看管的智能装置，开放运行环境难管控，导致漏洞检测与修补低效。同时，传统通信领域的“虚假主叫号码”问题，在物联网环境中演变为“跨境流量追踪失效”“设备身份伪造”等新威胁，严重影响系统安全，亟需结合行业特点制定安全保障策略，确保技术创新符合安全规范。

1 物联网卡安全威胁治理现状

随着物联网技术的飞速发展，物联网卡已深度融入多行业数字化进程。然而，其安全威胁也日益凸显，引发各界对治理工作的高度关注。目前，全国已在技术监

测与管理协同等维度展开积极实践，下面从技术和管理两方面梳理现状。

1.1 技术监测体系的多维构建

近年来，多省份陆续搭建物联网卡安全监测平台，其架构核心包含数据采集、数据分析、风险预警三部分。平台整合基础电信企业的物联网卡日志、订单、物联网平台信息及恶意程序流量事件等多源数据，经综合分析构建“异常用卡-跨区域使用”“异常用卡-机卡分离”“异常用卡-物卡人用”“异常用卡-手机终端使用”等大数据监测模型；通过实时研判，生成Web攻击、恶意程序、可疑行为、高级威胁、网络探测、系统攻击等类型安全事件，供监管层面分类分级预警处置。物联网卡安全监测平台架构如图1所示。

1.2 管理协同机制的初步探索

物联网卡的实名制管理体系与全生命周期监管机制正逐步成型。依据工业和信息化部“一卡一终端”的政策要求，各地制定了细化落实准则：开户阶段严格核验企业工商注册资料、终端IMEI码及应用合法性；运行期间持续比对通信行为与备案数据的一致性；停机环节核查设备回收凭证真实性。此前因实名制执行不力，已有不少企业被暂停服务，这一举措显著提升了市场准入审查的严格性与全程动态监管的实际成效。

1.3 跨部门协同治理模式初见成效

通信管理局、运营商与公安机关构建起“三级联

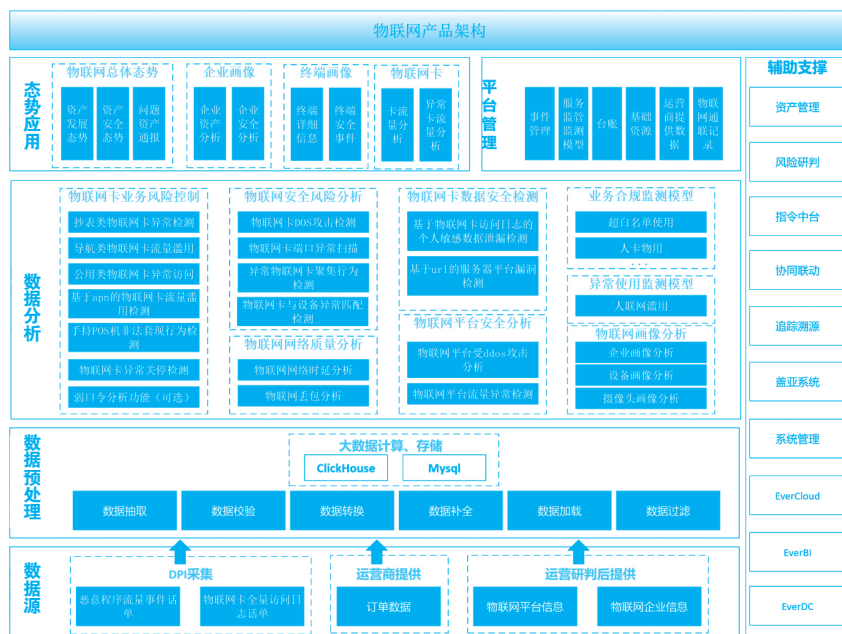


图1 物联网卡安全监测平台架构

动”工作机制：一级预警环节，依托平台技术自动识别疑似诈骗流量，通过系统向企业推送风险警示；二级管控环节，对长期异常卡片实施临时限制，督促用户完成身份验证；三级协作环节，将相关证据移交公安反诈中心，实现闭环处理。该机制有效遏制了物联网卡诈骗案件高发态势^[2]。

2 物联网卡安全威胁治理难点

2.1 技术层面的结构性短板

当前物联网卡协议解析能力存在明显短板：一方面，支持的协议种类日益丰富，像MQTT这类主流协议虽通信效率高，但缺乏身份双向校验，导致31%的数据通信未采用TLS加解密技术，面临中间人攻击风险；另一方面，部分行业自定义私有协议（如车联网相关标准）在平台的解析覆盖率不足60%，且误报率高达38%^[3]。此外，新型GOIP设备采用AES-256技术加密数据，传统DPI方法无法获取载荷信息，导致部分诈骗流量因技术拦截存在时延而未能被及时阻断，给犯罪分子留下可乘之机。

2.2 管理与监管体系的漏洞

物联网卡实名制经营机制存在明显漏洞：部分公司为扩大规模，大量申请实体卡却未有效管控实际使用情况，导致不少闲置卡流入非法交易市场，突破监管边界；另有公司伪造身份证明文件违法开设多账户，造成登记信息与实际应用场景严重偏差，“物卡分离”问题长期难以根除。

针对“一机多卡”这类违规行为的法律界定还很不完备，使得惩罚举措很难起到遏制诈骗黑灰产业链蔓延的效果，而且各个行业内缺少统一的“异常流量”辨识准则，各平台检测灵敏度有高有低，很难做到有效的跨域联合。公众对物联网卡安全认知不足，缺乏主动防范意识，增加了社会管理难度和风险控制复杂度。

3 物联网卡安全威胁的系统性治理对策

3.1 技术防御体系的全面升级

智能监测平台功能改进可从多维度推进：一是依托深度学习技术，构建“用户画像—行为轨迹—异常检测”综合模型^[4]，同时运用社交网络分析识别“扇形拓扑”诈骗形式；二是基于迁移学习理论，将物联网卡领

域的“恶意号码分类器”迁移至骚扰电话治理场景，并借助联邦学习框架整合不同区域运营商数据开展联合训练，在保障数据隐私的同时提升跨域协同识别效果；三是开发MQTT/XMPP/COAP协议专属解析模块，实现报文全字段解析，同时督促企业公开通信标准，对未公示协议的流量采取严格管控措施。

推进边缘计算资源分布式布局，在工业园区、智慧社区等场景部署边缘计算基础设施，让常规数据实现本地处理，仅异常数据回传云端，减轻云端压力的同时提升响应效率。为边缘节点配置轻量级人工智能算法模型，打造“实时异常检测+本地快速响应”闭环，将安全反应时延压缩至秒级。在数据存储层面，采用多层架构分类管理，核心业务日志留存1年，其他数据按需压缩后短期存储（如1个月），在保障数据可用的前提下，削减超半数存储成本，实现安全与成本的平衡管控。

3.2 监管机制的系统化重构

全生命周期实名制改革需持续深化。开户阶段采用区块链存证，企业需将终端IMEI号、应用场景、责任人等信息上链存证；使用期间搭建动态监督体系，每月随机抽取10%物联网卡核查，同时要求运营商提交设备运行视频以确保合规；停机环节执行物理拆解检查，通过GPS定位与设备图像对比验真。对违规企业，将其纳入信用黑名单^[5]。

4 结束语

物联网卡安全管控已突破传统技术边界，成为数字经济治理体系的关键一环。其治理模式正从过去依赖“技术拦截”与“实名制”的骚扰电话治理，升级为如今以“智能监测”“全生命周期管理”及跨部门协同为核心的物联网卡监管体系，治理逻辑也从被动应对转向主动预防。展望未来，需整合人工智能、区块链等新兴技术，构建政府引领、企业主导、民众参与的多元协同治理体系，为万物互联时代筑牢安全屏障。相关技术规范逐步完善，我国有望在全球物联网安全治理领域形成具有特色的“中国经验”。

参考文献

- [1] 世界物联网大会.世界万物智联数字经济白皮书[R].北京:2024世界物联网大会,2024.
- [2] 韩宇龙,肖青,柳耀勇,等.基于区块链的物联网卡安全流转方法研究[J].电子技术应用,2021,47(12):110-115.
- [3] 姚志鹏.一种物联网卡融合业务管理平台的建设[J].现代信息科技,2024,8(3):31-36.
- [4] 刘利军,赵蓓,张双.物联网卡安全监测模型及实践[J].电信工程技术与标准化,2020,33(5):48-52.
- [5] 刘治军.物联网感知数据分析与网络安全威胁评估[J].网络安全和信息化,2024(6):37-39.

(上接第24页)

参考文献

- [1] 曹艳琴.基于HTML5的Web App的购物网站设计分析[J].数字技术与应用,2021,39(4):170-172.
- [2] 齐东健,解凯,何翊卿,等.基于WebGL的3D购物平台的设计与实现[J].北京印刷学院学报,2016,24(4):42-45.

- [3] 李倩.基于WebGL的3D技术在网页中的运用[J].电子测试,2020(12):125-126.
- [4] 童晶,黄思钰,许建波.基于虚拟现实技术的WebGL虚拟试衣系统和方法:CN109523345A[P].2019-03-26.



中国移动
China Mobile



全球通

全球通 5G-A 尊享套餐



全球通身份



休息室礼遇

至高8次机场/高铁休息室



商旅礼遇

大额优惠券、订房85折



全球通礼遇价值
至高**2000元/年**

权益任选



视频

腾讯、爱奇艺、优酷



音乐

QQ音乐、喜马拉雅



生活

美团、饿了么红包

AI应用



移动云盘

超大空间
上传下载不限速



咪咕视频

高清画质
畅看热门体育赛事

专属优惠



5G-A手机



FTTR



云电脑



三选一至高优惠
5400元

通信无忧



5G-A网络服务

下行最高3GB
上行最高200Mbps



卫星通信服务

北斗短信

广告



超**600**分钟国内语音 | 超**100**GB国内流量 | **1000**M宽带 | 国际及港澳台流量语音

备注：全球通礼遇价值以活动规则说明为准



江西移动“为民服务”大型主题活动正式开始啦~

您有所呼 我有所应



我们百分努力 为您10分满意

网龄成长计划 特色号随心选



“码”上反馈意见
100%有礼

广告

投稿联系方式

地址：江西省南昌市红谷滩区红角洲赣江南大道2698号《江西通信科技》编辑部

邮编：330038

联系电话：0791-83721872

电子信箱：jxtxkj@jxtxxh.cn



(更多信息请关注公众号)