

# 基于物联网的铁路信号施工过程控制技术研究

胡鹏

(中国铁建电气化局集团有限公司 北京 100043)

**摘要** 为了提高铁路信号施工过程的智能化和精细化管理水平,文中采用物联网技术构建施工过程控制系统,研究了系统架构、数据采集与传输、实时监控及协同施工技术。通过实验设计与结果分析,验证了物联网技术在提升施工效率,优化资源配置和加强实时监控中的显著作用,为现代化铁路建设提供了技术支持。

**关键词:** 物联网技术;铁路信号;控制技术

**中图分类号** TP393

## Research on the Control Technology of Railway Signal Construction Process Based on the Internet of Things

HU Peng

(China Railway Construction Electrification Bureau Group Co.,Ltd., Beijing 100043, China)

**Abstract** In order to improve the intelligent and refined management level of railway signal construction process, this paper adopts Internet of Things technology to construct a construction process control system, and studies the system architecture, data acquisition and transmission, real-time monitoring, and collaborative construction technology. Through experimental design and result analysis, the significant role of IoT technology in improving construction efficiency, optimizing resource allocation, and strengthening real-time monitoring has been verified, providing technical support for modern railway construction.

**Key words** Internet of Things technology, Railway signal, Control technology

## 0 引言

传统施工模式存在实时监控不足、信息流转滞后和协同效率低下等问题,无法满足现代化铁路建设需求。物联网技术的兴起为提升施工过程的智能化和高效性提供了技术支持和应用空间。本文通过研究基于物联网的铁路信号施工过程控制技术,为提高施工效率和质量提供了科学依据。

## 1 物联网技术概述

物联网技术(Internet of Things, IoT)是一种将物理世界与信息世界相融合的新兴技术,其特点在于利用多元传感器技术全面监控环境、设备和系统,结合高速通信网络实现实时数据传输,并通过智能分析平台对数据进行高效处理和反馈,最终实现对复杂系统的优化管理和决策支持<sup>[1]</sup>。在铁路信号施工领域,物联网技术的应用为施工过程的精细化、实时化和智能化提供了可能,流程如图1所示。

具体而言,传感器网络的部署能实时采集关键施工节点的物理量,包括环境温度、湿度、机械位移和施工设备运行状态等。通过无线通信网络,如5G技术,保障数据高效

传输,实现多层次、多系统间的信息互联互通。借助大数据平台和边缘计算技术,即时处理和施工过程中产生的大量数据,形成精准反馈,提升施工决策的科学性。此外,物联网技术还具备较强的扩展性和适应性,能通过模块化设计与多场景融合实现技术的动态部署与调整,特别是在复杂、动态的施工环境中。

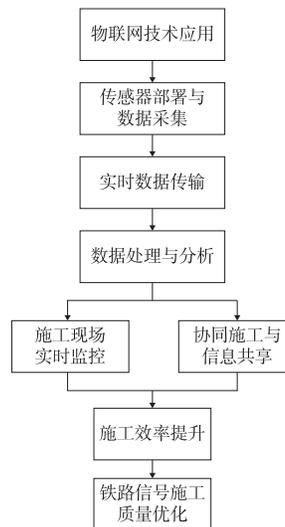


图1 基于物联网技术在铁路信号施工过程控制中的流程图

作者简介:胡鹏(1980—),本科,研究方向为市场经营开发、项目管理。

## 2 基于物联网的铁路信号施工过程控制技术

### 2.1 系统总体架构

基于物联网的铁路信号施工过程控制系统总体架构由感知层、传输层、平台层和应用层4个功能模块组成,各模块相互协作,构成了一个集数据采集、传输、分析与决策于一体的智能化管理系统。感知层作为系统的基础,通过部署多种传感器实时感知施工现场的环境参数和设备运行状态,采集的数据包括温湿度、振动、设备工作状态等关键信息。感知层强调高灵敏度、多维度和广覆盖,确保现场数据的完整性与可靠性。传输层依托高效、低延迟的无线网络(如5G、LoRa、NB-IoT),实现感知层与平台层之间的无缝数据传输<sup>[2]</sup>。该层注重抗干扰性和传输稳定性,能满足施工现场复杂环境下的大规模数据实时传递需求。平台层通过云计算与边缘计算相结合,搭建高效的数据处理平台,对采集数据进行清洗、分析与建模,提供智能化决策支持。平台层还集成了可视化技术,将分析结果转化为直观的施工建议与实时反馈。应用层以终端设备为载体,为施工管理人员提供实时监控、预警与决策支持功能。施工人员可通过移动设备访问系统数据,实时调整施工计划,提高协同作业效率。该系统架构注重模块化设计与高扩展性,能适应铁路施工环境的复杂性和多变性,为施工过程的智能化和精细化管理提供坚实的技术支撑。

### 2.2 数据采集与传感器部署层

数据采集是基于物联网的铁路信号施工过程控制系统的核心环节,其准确性和实时性直接决定系统的整体性能。传感器部署需围绕施工环境特点,结合铁路信号施工的关键需求进行科学规划和布置。常用传感器包括环境传感器(如温湿度传感器)、机械状态传感器(如加速度计和位移传感器)及设备状态传感器(如电流、电压检测器)。传感器布置重点覆盖信号设备、关键施工节点以及环境敏感区域,以全面监测施工状态。传感器采集数据如式(1)所示:

$$D_i = \sum_{i=1}^n S_i W_i \quad (1)$$

其中, $D_i$ 为表示某时刻的综合数据指标, $S_i$ 为第*i*个传感器采集的物理量, $W_i$ 表示该物理量的重要性权重。

通过对不同传感器数据赋予权重,能提升采集数据的适用性。需要严格控制传感器的精度和布设密度,以降低采集误差。传感器误差的修正如式(2)所示:

$$A'_i = A_i - \Delta A_i \quad (2)$$

其中, $A'_i$ 为修正后的物理量, $\Delta A_i$ 为系统测量偏差。为保障数据传输的稳定性,部署的传感器需支持低功耗无线通信协议(如LoRa或NB-IoT)。此外,应配备边缘网关设备,初步滤波与压缩采集数据,降低通信压力。通过合理的传感器布局与实时数据校正,精准捕捉施工现场的环境参数和

设备状态,为后续数据分析与施工决策提供可靠依据<sup>[3]</sup>。

### 2.3 数据传输与网络构建层

数据传输与网络构建是实现基于物联网的铁路信号施工过程控制的关键环节,直接影响着系统的实时性和可靠性。施工现场的数据传输需要同时满足低延迟、高带宽和强抗干扰能力的要求。为此,需构建高效的通信网络架构,其核心包括无线通信协议选择、网络拓扑设计及传输性能优化。传输速率的描述如式(3)所示:

$$R = B \log_2(1 + SNR) \quad (3)$$

其中, $R$ 表示传输速率(bps), $B$ 为信道带宽(Hz), $SNR$ 为信噪比。通过选择高频宽带通信(如5G、LoRa或Wi-Fi 6),可以提高传输速率和稳定性。在网络构建中,采用混合拓扑结构,以集中式和分布式网络相结合的方式实现数据传输的灵活性和可靠性。网关设备通过边缘计算技术完成初步数据处理,并将数据上传至云端平台。节点间传输性能如式(4)所示:

$$P_d = \frac{P_t G_t G_r}{(4\pi df/c)^2} \quad (4)$$

其中, $P_d$ 为接收功率, $P_t$ 为发射功率, $G_t$ 和 $G_r$ 分别为发射和接收天线增益, $d$ 为节点间距离, $f$ 为信号频率, $c$ 为光速。

此外,通过采用多路复用技术(如MIMO)和动态频谱分配,进一步提升传输效率,降低数据丢失率。为了保障传输过程的安全性,需引入加密算法(如AES或ECC)对数据进行动态加密。合理规划传输协议和网络资源分配,有助于构建高效、稳定的物联网通信网络,满足铁路信号施工复杂环境下的数据传输需求<sup>[4]</sup>。

### 2.4 实时监控与反馈机制层

实时监控与反馈机制层是基于物联网铁路信号施工控制系统的核心功能,旨在通过动态数据的监控与快速反馈,提高施工现场的智能化管理水平。该层主要包括监控数据采集、实时状态分析和多维反馈机制。实时监控通过数据流动态模型实现,施工关键变量的监控状态如式(5)所示:

$$M_t = \sum_{i=1}^n w_i x_i(t) \quad (5)$$

其中, $M_t$ 为时刻*t*的综合监控指标, $x_i(t)$ 表示第*i*类施工数据的实时采集值, $w_i$ 为权重系数,表示该数据的重要性。该式用于整合多源数据,能动态反映施工整体状态。

在边缘计算和云计算架构下,监控平台能实时监控与分析施工数据。异常数据的报警阈值可通过动态调整式实现,如式(6)所示:

$$T(t) = \mu + k\sigma \quad (6)$$

其中, $T(t)$ 为时刻*t*的报警阈值, $\mu$ 为当前监控数据的均值, $\sigma$ 为数据的标准差,用于衡量波动性, $k$ 为灵敏度系数,根据现场风险等级动态设置。该式通过实时计算数据的均值和标准差,动态生成阈值,适应施工现场的变化。灵敏度系数

$k$ 的设置直接影响报警机制的触发频率。当 $k$ 取值较大时,报警机制对波动的容忍度更高,适合低风险场景;当 $k$ 取值较小时,系统更敏感,适合高风险场景。

## 2.5 协同施工与信息共享层

协同施工与信息共享层是基于物联网技术提升铁路信号施工效率与质量的关键环节。通过构建高效的信息共享平台和协同机制,可实现多部门、多工种间的无缝协作,优化资源配置并减少施工延误。协同施工的效率取决于参与方的信息共享与任务分配的协调性,具体如式(7)所示:

$$E_c = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{j=1}^m D_j} \quad (7)$$

其中, $E_c$ 为协作效率, $T_i$ 为第 $i$ 个任务的完成时间, $D_j$ 为第 $j$ 施工单元的分配资源量。该模型强调通过合理分配资源和明确任务目标,能提高整体协作效率。信息共享通过中央数据库实现,依托物联网技术实时汇总施工现场的多源数据。信息共享速率的量化如式(8)所示:

$$R_s = \frac{D}{\Delta t} \quad (8)$$

其中, $R_s$ 为信息共享速率(单位:数据量/时间), $D$ 为共享数据量, $\Delta t$ 为传输时间。该式用于评估信息共享平台的响应速度,确保了关键数据在不同部门间的及时传递。

信息共享层通过移动终端、云平台和边缘计算节点,为施工参与方提供实时数据访问权限。具体包括施工进度、设备状态、环境参数等多维数据。为了保障信息的准确性与安全性,可引入基于区块链的分布式存储机制,防止数据篡改,同时采用权限分级管理,确保数据共享的规范性<sup>[5]</sup>。

## 3 实验设计与结果分析

### 3.1 实验环境设置

为验证基于物联网的铁路信号施工过程控制技术的有效性,本文设计了一个综合性实验环境,包括硬件配置、软件平台及施工模拟区域。实验硬件主要由物联网传感器模块、通信设备、数据处理终端及执行设备组成,核心设备如下。(1)多功能传感器:环境传感器(如温湿度传感器)、机械状态传感器(如加速度计、位移传感器)。(2)通信设备:支持5G、LoRa的无线传输模块,确保数据实时稳定传输。(3)边缘计算终端:具备高性能数据处理和异常监测能力。(4)监控与执行设备:包括可视化监控屏和远程执行模块,用于反馈及调整。实验采用自研物联网管理平台,支持数据采集、传输、分析及反馈。平台具有实时监控、智能预警和施工进度管理功能,结合大数据分析工具实现动态优化。实验在一个封闭式模拟施工场地进行,模拟铁路信号系统施工的典型场景,包括设备安装、调试及环境测试,具体场景参数如表1所列。

表1 场景参数设置

参数类别	设置范围	备注
环境温度	-10 °C~40 °C	模拟极端环境变化
数据采集频率	1次/秒	确保实时性
通信距离	最远500 m	符合实际施工需求
网络延迟	小于50 ms	确保低延迟传输

### 3.2 实验结果及分析

实验通过对施工模拟场景的监控和数据采集,得到了多组关键性能指标,分别评估了系统在数据采集、传输稳定性、实时监控和反馈响应等方面的表现,如表2所列。实验结果表明,系统在各项指标上均表现优异,充分验证了基于物联网技术的铁路信号施工控制系统的高效性。数据采集准确率达到98.7%,体现了多传感器协同工作的精度优势;传输稳定性良好,丢包率低于0.5%,展现出通信网络在高干扰环境中的可靠性;实时监控延迟平均为45 ms,反馈响应时间为3 s,满足施工现场对快速响应的需求;系统可用率高达99.3%,表明通过冗余设计和动态调整算法,系统在复杂施工场景中具有极高的稳定性。这些结果验证了物联网技术在提升施工效率和精细化管理方面的重要价值。

表2 实验结果

性能指标	测试值	标准值	结果评估
数据采集准确率	98.70%	大于等于95%	符合要求
数据传输稳定性	丢包率小于0.5%	小于等于1%	优于标准
监控实时性	延迟平均值45 ms	小于等于50 ms	达到预期
反馈响应时间	3 s(异常触发到执行)	小于等于5 s	快速高效
系统可用率	99.30%	大于等于98%	表现优异

## 4 结语

基于物联网的铁路信号施工过程控制技术提升了施工的智能化、精细化水平,有效解决了传统模式中的滞后与低效问题。未来,可进一步聚焦多源数据融合与智能化算法优化,拓展技术在复杂施工场景中的应用深度,为现代铁路建设提供技术支撑。

### 参考文献

- [1] 陈天华. 智能化时代铁路信号工程施工关键技术及创新应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2024(9): 72-75
- [2] 刘海宁, 张泽华. 基于物联网技术的填埋场挖掘过程有害气体智能化监测与控制方法[J]. 建筑技术, 2024, 55(20): 2510-2514.
- [3] 刘海宁, 张泽华. 基于物联网技术的填埋场挖掘过程有害气体智能化监测与控制方法[J]. 建筑技术, 2024, 55(20): 2510-2514.
- [4] 曹叶. 基于物联网技术的电力工程施工设备管理研究[J]. 科学与信息化, 2024(21): 74-76.
- [5] 苏永辉. 物联网技术在自动控制系统中的应用研究[J]. 信息与电脑, 2024, 36(2): 32-34.