

铁路机车信号分析系统中的信号处理分析

顾 伟

上海铁路通信有限公司 上海 200071

摘 要: 随着铁路运输事业的飞速发展,列车运行速度不断提升、行车密度日益增大,对铁路信号系统的准确性与可靠性提出了更为严苛的要求。本文聚焦铁路机车信号分析系统中的信号处理分析。先阐述铁路机车信号系统的构成、信号分类及作用,接着介绍信号处理技术,包括FSK信号调制解调、降噪滤波、特征提取识别、同步及数据融合技术等。随后探讨这些技术在信号检测识别、故障诊断预警、列车运行控制等方面的应用。最后展望未来发展趋势,如智能化、与其他技术融合、提高抗干扰能力以及追求高精度与高可靠性,旨在为铁路机车信号处理领域提供全面的参考与指引。

关键词: 铁路机车; 信号分析; 系统; 信号处理

引言: 在铁路运输领域,机车信号系统是保障列车安全、高效运行的关键组成部分。随着铁路运输的快速发展,对机车信号的准确性和可靠性要求日益提高。信号处理分析作为铁路机车信号分析系统的核心环节,直接影响着信号的解读与应用。通过对信号进行科学有效的处理,能够实现对信号的精准检测、识别,及时发现潜在故障并预警,为列车运行控制提供可靠依据。深入研究铁路机车信号分析系统中的信号处理分析,对提升铁路运输安全性和效率具有重要意义。

1 铁路机车信号系统概述

1.1 系统构成

铁路机车信号系统是一个复杂且精密的整体,主要由地面设备和车载设备两大部分构成。地面设备涵盖信号机、轨道电路、应答器等,它们负责生成和传输信号信息,为列车提供运行指引。车载设备则包括接收线圈、主机、显示器等,接收线圈用于接收地面传来的信号,主机对信号进行处理分析,显示器则将处理后的信息直观呈现给司机。各部分相互协作,地面设备准确发送信号,车载设备精准接收与处理,共同保障列车在运行过程中能及时获取准确信号,确保行车安全与有序。

1.2 信号分类

铁路机车信号种类丰富,依据不同标准有多种分类方式。按传输方式可分为轨道电路信号和应答器信号,轨道电路信号通过钢轨传输,连续不断;应答器信号在列车经过特定地点时触发传输。按显示方式可分为视觉信号和听觉信号,视觉信号如机车信号机显示的不同灯光颜色,直观传达行车信息;听觉信号则通过特定音调提示司机。按信号意义可分为行车信号和调车信号,行车信号用于指挥列车正常运行,调车信号则用于车站内

的车辆编组、解体等调车作业,保障不同场景下铁路运输的安全与高效。

1.3 系统作用

铁路机车信号系统在铁路运输中发挥着不可替代的关键作用。它为列车司机提供实时、准确的运行指令,使司机能清晰了解前方线路状况,如是否允许通行、限速要求等,从而合理操控列车,保障行车安全。同时,该系统是列车自动控制系统的重要组成部分,与列车运行监控装置等设备协同工作,实现列车的自动防护和速度控制,防止列车超速运行和冒进信号等事故发生。此外,机车信号系统还能提高铁路运输效率,通过优化信号显示和传输,减少列车等待时间,使列车能够按照既定时刻表有序运行,提升铁路线路的通过能力^[1]。

2 铁路机车信号分析系统中的信号处理技术

2.1 FSK 信号调制解调技术

FSK(频移键控)信号调制解调技术是铁路机车信号通信的核心手段。在调制环节,通过将数字信息转换为不同频率的载波信号实现信息编码,例如以低频代表逻辑“0”、高频代表逻辑“1”,通过频率切换传递数据。其优势在于抗干扰能力强,能适应铁路复杂电磁环境。解调时,需精准识别载波频率变化。常用非相干解调法,如鉴频器解调,通过检测信号瞬时频率变化还原原始信息;还有过零检测法,统计单位时间内信号过零点次数确定频率。随着技术发展,数字解调技术逐渐普及,利用数字信号处理算法,如快速傅里叶变换(FFT)分析信号频谱,准确提取频率信息,提高解调精度和可靠性,保障机车信号准确接收与解读。

2.2 信号降噪与滤波技术

铁路机车信号传输过程中,不可避免会受到各类噪

声干扰,影响信号质量,因此信号降噪与滤波技术至关重要。降噪方面,采用自适应噪声抵消技术,通过构建参考噪声通道,利用自适应滤波器动态调整参数,从含噪信号中消除噪声成分。滤波技术则有多种类型,低通滤波器可滤除高频噪声,保留信号有用低频部分;高通滤波器用于去除低频干扰,提取高频特征信号;带通滤波器能选择特定频段信号通过,抑制其他频段干扰。此外,小波变换滤波技术也广泛应用,它能在时频域对信号进行分析,通过选择合适小波基和分解层数,有效分离信号与噪声,提升信号信噪比,确保机车信号清晰准确传输。

2.3 信号特征提取与识别技术

信号特征提取与识别技术是铁路机车信号分析系统的关键环节。特征提取旨在从复杂信号中挖掘出能代表信号本质的特征参数,时域特征提取可分析信号的幅度、周期、占空比等;频域特征提取借助傅里叶变换将信号转换到频域,获取频谱分布、主频等特征;时频域特征提取则结合两者优势,如短时傅里叶变换、小波变换等,分析信号频率随时间变化情况。信号识别基于提取的特征参数,运用模式识别方法判断信号类型。传统方法有模板匹配法,将待识别信号特征与预设模板对比;现代方法包括神经网络、支持向量机等,通过大量样本训练模型,实现对机车信号的智能识别,提高识别准确率和效率。

2.4 信号同步技术

信号同步技术在铁路机车信号分析系统中不可或缺,它确保发送端和接收端信号在时间和频率上保持一致。时间同步方面,采用全球定位系统(GPS)同步技术,通过接收GPS卫星信号获取精确时间信息,为系统各节点提供统一时间基准;也可利用网络时间协议(NTP)实现局域网内设备时间同步。频率同步则通过锁相环(PLL)技术实现,锁相环能自动跟踪输入信号频率,使本地振荡器输出频率与输入信号频率保持一致,保证信号频率稳定性。此外,还有基于数据辅助的同步算法,在信号中插入特定同步序列,接收端通过检测该序列实现同步。精准的信号同步技术,保障了机车信号可靠传输与准确处理,避免因时间或频率偏差导致信号错误解读。

2.5 数据融合技术

数据融合技术在铁路机车信号分析系统中发挥着综合利用多源数据、提升系统性能的重要作用。它通过整合来自不同传感器、不同系统的数据,获取更全面准确的信息。数据融合层次可分为数据层、特征层和决策层。数据层融合直接对原始数据进行融合处理,保留更

多细节信息,但对数据传输和处理要求高;特征层融合先提取各数据源特征,再进行综合分析,降低数据量同时保留关键特征;决策层融合则先对各数据源独立决策,再将决策结果融合,具有较高容错性。融合方法包括加权平均法、卡尔曼滤波法、神经网络法等。通过数据融合技术,可提高机车信号检测准确性、故障诊断可靠性,为列车运行控制提供更科学合理的决策依据。

3 信号处理技术在铁路机车信号分析系统中的应用

3.1 信号检测与识别

信号处理技术在铁路机车信号检测与识别中起着核心作用。在检测环节,通过高精度的信号采集设备,结合先进的滤波算法,能够有效去除环境噪声干扰,提取出微弱的机车信号。利用时频分析方法,可同时获取信号在时域和频域的特征,精准定位信号的起始和结束时刻。在识别方面,采用模式识别技术,将采集到的信号特征与预先存储的标准信号模板进行比对。借助机器学习算法,如神经网络,对大量已知信号样本进行训练,使系统能够自动学习和适应不同工况下的信号特征,提高识别的准确性和鲁棒性。无论是固定信息还是可变信息,都能通过信号处理技术实现快速、准确的检测与识别,为列车运行提供可靠的指令依据。

3.2 故障诊断与预警

信号处理技术为铁路机车信号系统的故障诊断与预警提供了有力支持。通过对系统运行过程中采集的信号进行实时分析,运用频谱分析、小波变换等方法,能够检测到信号中的异常特征,如频率偏移、幅度突变等,这些异常往往是设备故障的早期表现。结合专家系统和知识库,将检测到的异常特征与已知故障模式进行匹配,快速准确地诊断出故障类型和位置。同时,利用数据挖掘技术对历史故障数据进行分析,建立故障预测模型,根据实时信号数据预测潜在故障的发生概率和时间。一旦检测到故障或预测到故障风险,系统立即发出预警信息,以便及时采取维修措施,避免故障扩大影响列车运行安全。

3.3 列车运行控制

在列车运行控制中,信号处理技术确保了控制指令的准确传达和执行。机车信号作为列车运行的重要依据,经过信号处理技术的处理后,能够清晰地反映出前方线路的状态信息,如道岔位置、信号机显示等。控制中心根据处理后的信号信息,结合列车当前的运行速度、位置等参数,运用先进的控制算法生成精确的控制指令,如加速、减速、停车等。通过无线通信技术将控制指令实时传输给列车上的控制系统,实现对列车运行

的精确控制。同时,信号处理技术还能对控制指令的传输过程进行监测和校验,确保指令的完整性和准确性,保障列车按照预定的运行计划安全、高效地行驶^[2]。

3.4 信号质量评估与优化

信号处理技术是铁路机车信号质量评估与优化的关键手段。通过对信号的信噪比、失真度、误码率等关键指标进行实时监测和分析,能够全面评估信号的传输质量。采用先进的信号分析算法,如眼图分析,可以直观地观察信号的质量状况,发现信号中存在的码间干扰、噪声等问题。根据评估结果,运用自适应均衡技术、智能滤波算法等对信号进行处理,补偿信号在传输过程中的失真,抑制噪声干扰,提高信号的清晰度和可靠性。同时,通过对信号传输设备和线路的定期检测和优化,调整设备参数,改善传输环境,进一步提升机车信号的整体质量,确保列车能够准确接收和理解信号指令。

3.5 多源信号融合处理

铁路机车信号分析系统涉及多种来源的信号,如轨道电路信号、应答器信号、车载传感器信号等,多源信号融合处理能够充分发挥各信号源的优势。数据层融合将不同传感器采集的原始信号进行关联和整合,通过时间同步和空间对齐,消除信号间的时间差和空间偏差,形成统一的数据集。特征层融合提取各信号源的特征参数,运用特征选择和降维技术,去除冗余信息,保留关键特征,提高信号处理的效率。决策层融合则基于各信号源的独立决策结果,采用融合算法进行综合决策,提高决策的准确性和可靠性。多源信号融合处理能够增强系统对复杂环境的适应能力,提供更全面、准确的信息支持,为列车运行的安全和高效提供有力保障。

4 铁路机车信号分析系统中信号处理技术的未来发展趋势

4.1 智能化发展

未来铁路机车信号分析系统将深度融合人工智能技术,实现智能化升级。通过机器学习算法,系统可自动学习不同工况下的信号特征,优化信号检测与识别模型,提高复杂环境下的适应性。深度学习技术将应用于故障诊断,通过分析历史数据预测设备故障趋势,实现预防性维护。

4.2 与其他技术融合

信号处理技术将与物联网、大数据、云计算等技术深度融合,构建综合信息处理平台。物联网技术可实现信号设备与列车、轨道的实时互联,提供更全面的数据支持;大数据技术可挖掘海量信号数据中的潜在规律,优化信号控制算法;云计算技术可提供强大的计算能力,支持复杂信号处理任务的实时执行。

4.3 提高抗干扰能力

随着铁路运行环境日益复杂,提高信号处理技术的抗干扰能力成为关键。未来将采用更先进的屏蔽技术和滤波算法,有效抑制电磁干扰、工业噪声等外部干扰。自适应噪声抑制技术将根据干扰特征动态调整滤波参数,提升信号信噪比。分集接收技术通过多天线或多路径接收信号,降低信号衰落的影响。

4.4 高精度与高可靠性

高精度与高可靠性是铁路机车信号分析系统的核心要求。未来将采用更高精度的传感器和采样设备,提升信号采集的分辨率和准确性。小波变换、傅里叶分析等先进信号处理算法将进一步优化,提高信号特征提取的精度。同时,冗余设计和故障容错技术将被广泛应用,确保系统在部分组件故障时仍能正常运行^[3]。

结束语

铁路机车信号分析系统中的信号处理分析,是保障铁路运输安全与高效的核心环节。通过对复杂信号的精准检测、智能识别、深度诊断与优化控制,信号处理技术为列车运行提供了可靠的信息支撑。未来,随着智能化、多技术融合、抗干扰能力提升以及高精度与高可靠性发展的持续推进,信号处理分析将更加适应复杂多变的铁路运行环境,实现更高效的故障预警、更精准的运行控制与更优质的服务保障。

参考文献

- [1]白海威,吴跃臣。机车信号及地面信息记录分析系统[J].中国铁路。2022,(02):67-69
- [2]苏子江。铁路主体化机车信号系统的合理应用[J].中国集体经济。2021,(24):178
- [3]张小林,吴芳美。铁路机车信号分析系统中的信号处理算法研究[J].铁路学报2022,23(Z1):42-45