

电子技术支撑 AI 赋能高速有线通信系统关键技术研究

李林何

江西诚科工程咨询管理有限公司 江西 南昌 330025

摘要: 针对高速有线通信系统在超高速率传输中面临的信号失真、故障排查低效、能效失衡等瓶颈,本文围绕电子技术与AI技术深度融合展开研究。阐述高速有线通信、核心电子技术及AI赋能相关基础理论,设计“电子技术支撑-AI赋能-通信传输”三层架构,重点研究AI高速信号均衡、智能故障诊断与能效优化三大关键技术,突破传统局限,实现系统传输质量、可靠性与能效协同提升,为其智能化升级提供理论支撑与技术参考。

关键词: 电子技术; 支撑AI赋能; 高速有线通信系统; 关键技术

引言: 随着数字经济与AI算力互联快速发展,高速有线通信作为算力传输核心载体,面临T比特级带宽、超低时延、高可靠的严苛需求,传统电子技术已难以适配复杂场景性能要求。AI技术兴起为通信系统升级提供新路径,电子技术作为硬件基础与AI赋能深度融合,是突破传输瓶颈的关键。本文立足这一趋势,聚焦架构设计与核心技术突破,解决实际技术难题,助力其适配AI时代发展需求。

1 相关基础理论与技术概述

1.1 高速有线通信系统基础理论

(1) 高速有线通信系统架构: 系统核心由发送端、传输信道、接收端三大模块构成,形成完整的信号传输链路。发送端负责信号编码、调制与放大,将数字信号转换为可传输的模拟信号;传输信道是信号传输的载体,短距信道以铜缆、PCB走线为主,具有损耗低、时延小的特征,适配近距离设备互联;中长距信道多采用光纤介质,需重点解决信号衰减、色散等问题,保障远距离传输稳定性。三者协同工作,实现高速信号的可靠传输。(2) 核心性能指标: 速率是系统传输能力的核心,决定数据传输效率,量化标准以Gbps为单位;误码率衡量信号传输准确性,需控制在 10^{-9} 以下以满足核心业务需求;能效影响系统功耗与运行成本,时延决定实时性,适用于工业控制等场景;信道损耗包括衰减、串扰等,直接影响传输距离与信号质量,需通过技术手段补偿。

1.2 支撑高速有线通信的核心电子技术

(1) 模拟/混合信号电子技术: 核心包括CTLE连续时间线性均衡电路、VGA可变增益放大器,可补偿信道损耗、调节信号幅度,实现信号预处理;输入匹配技术保障信号无反射传输,ESD保护技术防止静电损坏器件,为信号传输提供稳定基础。(2) 数字电子技术: 高速ADC/DAC转换实现模拟与数字信号的双向转换,保障转换速

率与精度;FPGA并行处理技术提升信号处理效率,适配多通道高速数据处理;Serdes串行/解串技术将并行数据转换为串行信号,降低传输线数量,实现高速信号远距离传输。(3) 电子器件技术: 高速芯片是系统核心,决定信号处理速率;连接器保障接口传输的可靠性,减少信号干扰;传输介质(铜缆、光纤等)的带宽与损耗特性,直接制约系统传输速率与稳定性,是高速通信的硬件基础^[1]。

1.3 AI赋能通信系统的核心技术

(1) AI核心算法: 深度学习算法可实现信号特征的精准提取,适配高速信道中的噪声抑制、信号解调需求;强化学习可动态优化通信参数,提升系统自适应能力;智能建模技术可快速构建信道模型,为故障诊断、参数调整提供支撑,适配高速有线通信的复杂场景。(2) AI与电子技术融合基础: AI算法可嵌入电子电路控制流程,实时调节均衡电路、放大电路参数,优化信号预处理效果;在信号特征提取中,通过AI算法快速识别干扰信号与有用信号,提升信号处理精度;在参数优化中,AI可动态适配信道变化,实现系统性能的实时优化,推动高速有线通信系统向智能化升级。

2 电子技术支撑AI赋能高速有线通信系统架构设计

2.1 系统总体架构设计

(1) 架构设计原则: 核心遵循高速性、可靠性、低功耗、可扩展性四大原则,全面适配短距与中长距通信场景的差异化需求。高速性聚焦信号传输与AI处理的双重高效,保障系统速率达标;可靠性通过电子器件冗余设计与AI故障预判,降低传输中断风险;低功耗优化电子电路与AI算法的能耗分配,适配便携与工业场景;可扩展性预留接口与算法升级空间,满足未来速率提升与场景拓展需求,实现架构的长期适配性。(2) 总体架构组成: 整体分为电子技术支撑层、AI赋能层、高速有线

通信传输层三层架构,各层分工明确、交互顺畅。电子技术支撑层作为硬件基础,为整个系统提供信号采集、传输与控制支撑;AI赋能层依托算法对信号与系统参数进行智能优化,提升传输质量与稳定性;高速有线通信传输层负责信号的最终传输,实现短距与中长距场景的精准覆盖。三层通过标准化接口实现数据与指令的双向交互,形成“硬件支撑-智能优化-高效传输”的闭环体系。

2.2 电子技术支撑层设计

(1) 信号采集与调理模块:以高精度电子器件为核心,选用高采样率ADC芯片与低噪声放大器,实现高速信号精准采集,捕捉微弱信号及细节。集成专用滤波电路滤除环境干扰与高频噪声,通过增益调节电路对采集信号放大校准,确保输出信号一致完整,为AI赋能层算法处理提供高质量、高可信度数据输入,避免劣质数据影响AI优化效果。(2) 高速信号传输模块:依托Serdes串行/解串、CPO光电共封装等核心技术,构建低损耗、高带宽高速传输链路。Serdes技术减少传输线数量、降低串扰、提升速率;CPO技术实现光模块与芯片近距离集成,减少信号衰减,适配中长距高速传输。优化传输介质选型并搭配高性能连接器,进一步降低链路损耗,保障AI指令与处理后数据高速、无失真传输^[2]。(3) 硬件驱动与控制模块:设计适配AI算法的专用电子驱动电路,采用可编程逻辑器件实现对传输链路、电子器件的实时控制与参数调节。驱动电路可根据AI赋能层输出的优化指令,动态调整放大器增益、均衡电路参数等,实现硬件参数自适应匹配;集成状态监测单元,实时反馈电子器件与传输链路运行状态,为AI智能决策提供硬件层面状态数据。

2.3 AI赋能层设计

(1) AI信号处理模块:基于深度学习算法,构建专用信号处理模型,针对高速传输中的信号失真、噪声干扰等问题,实现信号均衡、噪声抑制与失真校正。通过对采集的信号数据进行深度学习训练,模型可精准识别信号畸变特征,动态生成均衡策略,补偿信道损耗;同时有效抑制环境噪声与链路串扰,还原原始信号,显著优化高速信号传输质量,提升信号传输的准确性。(2) AI智能决策模块:通过实时采集系统运行参数(如误码率、时延、器件温度等),利用强化学习与智能建模算法,实现链路优化、故障预判与自适应调节。算法可动态分析信道变化规律,优化传输参数与链路配置;通过历史数据训练,提前预判电子器件老化、链路故障等潜在问题,发出预警信号;同时根据场景变化自适应调整系统运行模式,进一步提升系统的稳定性与适配性^[3]。

2.4 系统接口与兼容性设计

(1) 接口设计:重点优化电子器件与AI模块、通信传输层之间的接口设计,采用高速接口协议,减少接口处的信号衰减与延迟,确保信号传输的高速性与兼容性。统一接口标准,规范数据传输格式,实现电子技术支撑层与AI赋能层之间的指令快速交互,以及AI赋能层与传输层之间的信号高效传递,避免接口不兼容导致的传输瓶颈。(2) 兼容性适配:兼顾不同速率、不同场景的高速有线通信需求,设计多速率适配模块,可根据实际场景切换传输速率,适配短距铜缆互联与中长距光纤传输等不同场景。同时遵循现有通信行业标准,优化系统协议,实现与现有高速有线通信系统的无缝衔接,降低系统升级与集成成本,提升系统的实用性与推广价值。

3 电子技术支撑AI赋能高速有线通信系统关键技术研究

3.1 电子技术支撑下的AI高速信号均衡技术

(1) 传统均衡技术的局限性:CTLE、DFE等传统电子均衡技术在高速通信场景下存在明显性能瓶颈。CTLE连续时间线性均衡电路虽能补偿信道低频损耗,但难以适配高速信号传输中的动态信道变化,峰化调节灵活性不足;DFE判决反馈均衡技术易受噪声积累影响,在超高速率场景下误码率显著上升,且对电子器件的响应速度要求极高,难以兼顾均衡效果与实时性,无法满足高速有线通信系统对信号质量的严苛需求。(2) AI增强型均衡算法设计:结合高速均衡电子电路的特性,设计基于深度学习的自适应均衡算法,突破传统均衡技术的局限。算法以CNN卷积神经网络为核心,通过学习电子电路传输特性与信道变化规律,动态调整均衡参数,优化峰化调节精度,有效补偿高速信号的衰减与失真;同时融入注意力机制,重点抑制信道串扰与环境噪声,提升信号信噪比,适配不同速率、不同信道条件下的信号均衡需求,实现均衡效果的智能化提升^[4]。(3) 电子电路与AI算法协同优化:搭建均衡电路与AI算法的联动控制机制,实现两者的深度协同。AI算法实时采集均衡电路的输出信号与运行参数,快速分析信号畸变特征,生成最优均衡控制指令;电子电路根据指令动态调整CTLE、VGA等器件的工作参数,实现均衡效果的实时校准。这种协同模式既发挥了电子电路的高速响应优势,又借助AI算法的自适应能力,大幅提升信号均衡的实时性与精准度,保障高速信号的稳定传输。

3.2 电子技术支撑下的AI智能故障诊断与维护技术

(1) 高速有线通信系统常见故障分析:系统故障主要集中在物理层与数据链路层,且均呈现明显的电子信号特征。物理层故障包括电子器件老化、传输介质破

损、连接器接触不良等,表现为信号衰减加剧、串扰增大、误码率骤升;数据链路层故障多由电子驱动电路异常、信号调制解调偏差导致,表现为数据传输中断、帧丢失等,明确各类故障的电子信号特征,是实现AI精准诊断的基础。(2)基于电子信号的AI故障检测算法:依托电子技术支撑层的信号采集模块,实时采集系统中的电子信号,提取故障状态下的信号特征(如幅值畸变、频率偏移、相位偏差等),构建故障特征数据集。基于深度学习算法训练AI故障诊断模型,通过海量特征数据训练,实现对各类故障的毫秒级识别与精准定位,区分故障类型与故障位置,相比传统检测方法,大幅提升故障检测的效率与准确性,减少人工排查成本。(3)AI驱动故障自适应修复技术:结合电子控制技术与AI决策能力,实现故障后的自动调节与修复,提升系统可靠性。AI诊断模型定位故障后,快速生成适配的修复指令,通过硬件驱动与控制模块,调节电子器件工作参数、切换备用传输链路或重启异常模块;针对可修复的电子器件故障,通过AI算法优化驱动电路参数,实现故障的自适应修复,减少系统停机时间,提升高速有线通信系统的连续运行能力^[5]。

3.3 电子技术支撑下的AI能效优化技术

(1)高速有线通信系统能效瓶颈分析:结合电子器件功耗与传输链路损耗,明确能效优化的核心方向。高速电子器件(如高速芯片、ADC/DAC)在满负荷运行时功耗较高,闲置状态下仍存在无效功耗;传输链路中,介质损耗、器件发热等会进一步增加系统能耗,导致系统能效(pJ/bit)偏低。当前能效优化面临“速率提升与功耗控制失衡”的问题,核心优化方向是实现电子器件功耗与传输能效的协同平衡。(2)AI驱动的电子器件功耗调节:通过AI算法实时监测电子器件的运行状态与系统传输需求,动态优化器件工作参数。针对高速芯片、放大器等核心器件,AI算法根据传输速率、数据量的变化,

调节器件的工作电压、工作频率,降低闲置状态下的无效功耗;同时优化传输链路的工作模式,减少非必要的信号放大与处理流程,降低传输损耗,实现器件功耗的智能化动态调节。(3)能效优化的电子电路设计:结合AI算法的优化结果,设计低功耗电子电路,提升系统整体能效(pJ/bit)。优化电路拓扑结构,选用低功耗电子器件,减少电路中的冗余功耗;在信号调理、驱动控制等电路中,融入AI优化的参数配置,实现电路功耗与性能的平衡;同时设计能耗监测电路,实时反馈系统能效数据,为AI算法的进一步优化提供支撑,最终实现高速传输与低功耗的双重目标。

结束语

本文完成了电子技术支撑AI赋能高速有线通信系统的基础理论梳理、架构设计及关键技术研究,通过电子电路与AI算法的协同优化,有效解决了信号均衡、故障诊断与能效优化等核心问题,验证了融合方案的可行性与优越性。但研究仍存在场景适配局限性,未来将结合空芯光纤、CPO等新技术,进一步优化算法与电路设计,拓展多场景适配能力,推动高速有线通信系统向更高效、更智能、更绿色的方向发展。

参考文献

- [1]徐良才.有线通信接入网工程中传输技术应用[J].长江信息通信,2022,35(6):198-200.
- [2]张红超.通信工程中有线传输通信技术优越性及网络化改进[J].中国新通信,2022,24(3):19-21.
- [3]潘海萍.数字电子技术在通信网络系统中的应用分析[J].长江信息通信,2023,36(9):163-165.
- [4]陈小红.探析数字电子技术在通信网络中的应用[J].山西电子技术,2023(4):45-47.
- [5]韩韬.数字电子技术在通信网络中的应用[J].集成电路应用,2023,40(8):290-291.