电子信息技术在货运车辆状态监测系统中的应用研究

安　冬

邯郸市交通运输综合行政执法支队　河北　邯郸　056000

摘　要：货运车辆状态监测是保障道路运输安全、提升物流效率与降低运维成本的关键技术环节。本文系统梳理了电子信息技术在货运车辆状态监测系统中的应用架构与核心路径，重点论述了多源传感采集、车载通信组网、全球定位与地理信息系统融合、边缘计算与云平台协同等关键技术模块，并分析了数据融合算法与异常预警机制在状态评估中的功能定位。在此基础上，探讨了系统在实时性、可靠性、安全性及标准化方面面临的技术挑战，提出了基于软件定义车载网络和轻量化加密协议的优化方向。研究表明，电子信息技术的有序集成能够显著提升货运车辆状态监测的智能化水平，为构建全链条运输安全管控体系提供技术支撑。

关键词：电子信息技术；货运车辆；状态监测；车载传感网络；数据融合

引言

随着公路货运规模持续扩大和运输时效要求不断提高，货运车辆运行过程中的安全性、经济性与环保性受到广泛关注。车辆状态监测系统通过对发动机参数、制动性能、轮胎压力、装载重量、行驶轨迹及驾驶员操作行为等多元信息进行实时采集与处理，能够为故障预警、维护决策和调度管理提供数据基础。传统监测手段多依赖离散式仪表和人工巡检，存在信息孤岛严重、响应滞后和误判率高等问题。近年来，电子信息技术在传感技术、通信协议、嵌入式处理及大数据分析等方向取得显著进步，为构建新一代货运车辆状态监测系统提供了可行路径。本文从系统架构出发，逐层剖析电子信息关键技术在该领域的应用形式与作用机理，并对当前面临的瓶颈和未来演进趋势进行深入讨论，以期为相关研发工作提供理论参考。

1 货运车辆状态监测系统的总体架构与信息流模型

1.1 系统功能分层

货运车辆状态监测系统可划分为感知层、传输层、处理层与应用层。感知层包含部署于车辆关键部位的各类传感器和信号调理电路，负责物理量到电信号的转换。传输层依托车载总线网络和无线通信模块，实现感知数据在车内节点之间以及车与外部平台之间的双向流通。处理层包括嵌入式处理器和云服务器端的数据清洗、特征提取与智能分析引擎。应用层面向车队管理者、驾驶员和维修人员提供可视化仪表盘、预警通知和维护建议等交互功能。该分层结构使得电子信息技术能够在每一层发挥独特作用，同时层间接口定义清晰，便于系统迭代升级。

1.2 信息流协同机制

系统内部信息流遵循“采集—汇聚—处理—反馈”的闭环路径。传感器以固定频率采样，经模数转换后通过控制器局域网（CAN）或车载以太网传输至中央网关；网关对数据进行初步校验和时间戳标记后，利用蜂窝网络或专用短程通信上传至云端；云端融合历史数据和同期车队数据，生成状态评估结果，并将预警指令回传至车载终端，触发声光报警或主动降速等执行动作[1]。该信息流模型对电子元器件的响应速度、通信协议的实时性和数据处理算法的吞吐量均提出明确要求，成为设计阶段的重要约束条件。

2 感知层中多元传感技术与信号处理

2.1 关键状态参数的传感选型

货运车辆状态监测的核心参数包括动力总成运行参数（转速、油温、冷却液温度、燃油压力）、底盘动态参数（车速、横向加速度、轮速差、制动气压）、载货状态参数（轴载质量、货物重心偏移）以及环境参数（坡度、路面附着系数）。针对不同参数，工程上选用压阻式压力传感器、热电偶、霍尔效应转速传感器、应变式称重传感器和微机电惯性测量单元等。电子信息技术的进步使得传感器向数字化、集成化方向发展，智能传感器内置信号放大、温度补偿和自诊断电路，输出经校准的标准化数字信号，有效降低了模拟传输引入的噪声累积，提高了系统在强振动和宽温范围下的测量可信度。

2.2 信号调理与抗干扰策略

车载电磁环境复杂，发动机点火系统、大功率驱

动电机和无线收发器均会产生传导和辐射干扰。为保证采集精度，信号调理电路需设计差分放大、低通滤波和隔离放大环节。当前普遍采用集成模拟前端芯片，其内部包含可编程增益放大器和 Δ-Σ 型模数转换器，配合数字滤波算法，能在干扰背景下提取有效信号。此外，基于自适应阈值的异常值剔除算法在嵌入式端实时运行，可避免单次跳变引发系统误动作。这些措施充分体现了电子信息技术在微弱信号检测与噪声抑制方面的综合优势。

3 传输层中车载网络与无线通信技术

3.1 车载有线骨干网络

车内传感节点数量多达数十个，传统点对点布线已无法满足重量和可靠性要求。基于 CAN 总线或 FlexRay 总线的分布式网络成为主流选择。CAN 协议具有优先级仲裁和差错重传机制，适合传输周期性状态帧；而车载以太网则凭借高带宽（100Mbps 以上）优势，承担视频流和雷达点云等大数据量传输任务。两者混合组网时，通过网关实现协议转换和流量整形，确保关键控制指令优先通过[2]。电子信息技术在此处的核心贡献在于网络调度算法的优化，例如采用时间触发机制来保证各传感器数据在固定时隙内发送，从而消除总线冲突导致的延时不确定性。

3.2 车外远程通信方案

车端与监控中心的数据交互主要依赖 4G/5G 蜂窝网络和卫星通信。5G 网络的高可靠低延时特性尤其适用于紧急预警场景，其端到端延时可压缩至 10ms 以内，大幅缩短了危险状态上报时间。同时，车路协同技术借助专用短程通信（DSRC）或蜂窝车联网（C-V2X），将车辆状态与路侧设施共享，扩展了监测系统的感知范围。在通信协议栈方面，消息队列遥测传输（MQTT）协议凭借其轻量级发布/订阅模式，被广泛用于车载终端与云平台之间的数据交换，其心跳保活机制和分级服务质量（QoS）设定能够适应网络波动条件，确保关键状态数据不丢失。

4 定位导航与地理信息集成技术

4.1 高精度定位的技术融合

车辆行驶轨迹和瞬时速度是状态评估的重要维度。全球导航卫星系统（GNSS）可提供米级绝对位置，但在隧道和高架桥遮挡区域易出现信号失锁。为弥补这一缺陷，采用差分定位（RTK）校正电离层误差，结合车载惯性测量单元（IMU）进行航位推算，形成紧耦合组合导航方案。电子信息技术使得卡尔曼滤波算法能够在嵌入式平台上高效运行，实时融合 GNSS 载波相位观测值和 IMU 陀螺加速度数据，输出厘米级定位结果，从而准确判别车辆是否偏离预定路线或进入危险区域。

4.2 地理信息系统在监测中的辅助作用

地理信息系统（GIS）为状态监测增加了空间分析维度。通过将车辆实时位置叠加到数字地图图层上，系统可自动匹配前方弯道曲率、长下坡坡度和桥梁限重等地理特征，并结合当前车速和制动片磨损程度，计算安全过弯速度上限。当检测到超速或制动性能下降时，GIS 模块可联动预警逻辑，提前向驾驶员发出减速建议。这种时空联合监测方式超越了单纯的时序数据分析，赋予了状态评估更丰富的上下文信息，是电子信息技术与地理信息科学交叉融合的典型实例。

5 数据处理层中的融合算法与边缘计算

5.1 多源异构数据融合策略

来自不同传感器和定位模块的数据在时间基准、采样频率和物理单位上存在差异，直接拼接会导致评估失真。多源数据融合通常采用分层融合架构：在数据级进行时间同步和坐标系对齐；在特征级提取各通道的时域均值、方差和频域谱特征；在决策级利用贝叶斯网络或 D-S 证据理论综合多个子评估结果，给出整车健康置信度[3]。近年来，基于卷积神经网络和长短期记忆网络的深度学习方法被引入，能够自动学习状态参数之间的非线性耦合关系，减少对人工特征工程的依赖。但需要注意的是，深度学习模型的计算量较大，需要合理分配车载端与云端任务。

5.2 边缘计算的实时性提升

将所有原始传感数据上传至云端处理会引发高延迟和带宽浪费。边缘计算将轻量化推理模型部署至车载网关或智能座舱域控制器，就近完成异常检测和阈值判断，仅有必要的高层特征和报警记录上传云端。这种“端-边-云”协同模式有效平衡了计算精度与响应速度。电子信息技术在此处的体现包括：异构计算芯片（如 ARM+NPU）的选型、模型量化压缩算法，以及动态任务迁移策略——当车载计算负载过高或温度超标时，自动将部分任务卸载至边缘基站服务器。实践证明，边缘计算可将关键预警延时从秒级压缩至百毫秒级别，满足高级别主动安全要求。

6 状态评估与预警机制的电子信息实现

6.1 基于健康指数模型的评估方法

状态评估需要将多维参数映射为直观的健康指数。常用的方法包括加权欧氏距离法，以出厂标定值为基准，设定各参数的正常波动区间，并根据敏感度赋予不同权重；此外，隐马尔可夫模型可对退化过程进行

概率刻画，利用观测序列估计当前处于何种磨损阶段。上述算法均依赖数字信号处理器（DSP）或微控制器的浮点运算能力，现代车规级芯片已支持单指令多数据流（SIMD）指令集，可加速矩阵运算，使得在线评估成为现实。

6.2 分级预警与联动控制

预警机制依据风险等级分为咨询级、警示级和干预级。咨询级通过车内显示屏通知驾驶员进行保养检查；警示级触发蜂鸣和振动座椅提醒；干预级则主动向发动机控制单元发送限扭指令或向制动系统施加辅助制动力[4]。电子信息技术保证了预警逻辑的数字化表达和快速执行，同时通过黑匣子记录预警前后各 5 秒的关键数据，为事后事故分析提供客观依据。这种闭环控制结构要求硬件具有高可靠性和故障容错能力，常采用双冗余 MCU 设计，当主芯片失效时无缝切换备用芯片，确保预警功能不中断。

7 系统面临的挑战与电子信息优化对策

7.1 实时性与可靠性的矛盾

随着传感节点增多，总线负载率上升，可能引发报文丢失和传输抖动。优化方向包括采用时间敏感网络（TSN）标准，在车载以太网中增加时间门控机制，为高优先级状态帧预留传输时隙；同时引入流量整形和帧抢占技术，确保紧急数据不受背景流量干扰。此外，可设计自适应采样策略，当检测到参数变化率超出阈值时动态提高采样频率，在稳态时降低采样频率，从而在保持监测精度的前提下减轻总线压力。

7.2 数据安全与隐私保护

货运车辆状态数据涉及位置、载重和驾驶员行为等敏感信息，一旦被篡改或泄露将造成严重安全隐患。现有加密方案如 AES-128 用于数据存储，ECC 椭圆曲线加密用于通信握手，但加解密操作对嵌入式处理器造成额外开销。轻量化密码算法（如 SPECK、ASCON）在保证同等安全等级的前提下，可减少约 40%的计算周期，更适合资源受限的车载终端。同时，基于区块链的车载数据分布式存储架构正在研究中，通过数字签名和共识机制防止恶意节点伪造状态信息，为数据完整性提供更强保障。

7.3 标准化与互操作性

目前不同厂商的传感器、通信模块和云平台多采用私有协议，导致系统集成成本高、维护困难。推动行业统一的监测数据接口标准（如基于 JSON 格式的通用数据字典）以及服务发现协议，能够促进不同品牌车辆的兼容接入。电子信息技术在协议转换网关中的应用，可通过软件定义方式动态加载协议解析插件，使同一车载设备适应多种上层平台，极大增强了系统的开放性和可扩展性。

8 发展趋势与展望

未来货运车辆状态监测系统将向智能化和预见性方向深度演进。一方面，人工智能芯片在车载端的普及使得更复杂的深度残差网络能够实时运行，实现故障的早期萌芽识别而非当前异常检测。另一方面，数字孪生技术通过构建车辆高保真虚拟模型，将物理传感器数据输入虚拟空间进行仿真推演，预测零部件剩余寿命，从而为精准维护提供决策依据。此外，车-车通信和车-基础设施通信的融合将形成更大范围的协同监测网络，单车的状态信息可与前方路况和天气数据联动，提升整个货运链的主动安全水平。电子信息技术在这些新场景中将继续扮演使能角色，其核心挑战在于如何平衡算力增长与功耗限制，以及如何在开放互联环境中维持系统的可靠性和韧性。

结束语

本文系统论述了电子信息技术在货运车辆状态监测系统感知、传输、定位、处理及预警全链路中的应用原理与实现路径。研究表明，高精度传感调理、混合车载网络、融合定位导航、边缘智能计算以及轻量级安全加密等技术的协同运用，有效解决了多源异构数据的实时采集与可靠分析问题，显著增强了系统对复杂道路和电磁环境的适应能力。尽管当前仍面临实时性、安全性和标准化方面的诸多挑战，但通过软件定义网络、动态资源调度和跨层协议优化等电子信息技术手段，这些瓶颈有望逐步克服。可以预见，随着电子信息技术的持续突破，货运车辆状态监测将朝着更高精度、更强实时和更全感知的方向发展，为现代公路运输的安全保障与效率提升奠定坚实的技术基础。

参考文献

[1] 刘建明, 王海燕. 基于 5G 车载通信的货运车辆远程监测系统设计 [J]. 电子技术应用,2022,48(7):102-106.

[2] 陈思远, 赵磊, 周明. 融合 IMU/GNSS 的车辆组合定位算法优化研究 [J]. 传感技术学报,2023,36(4):588-594.

[3] 张伟, 李华, 孙建国. 边缘计算在商用车状态监测中的应用综述 [J]. 计算机工程与科学,2021,43(11):1987-1995.

[4] 杨晓峰, 何琳. 基于 CAN-FD 与车载以太网的混合网络调度策略 [J]. 汽车工程,2024,46(2):315-322.