遥测应用短板与完善路径研究

段文斌
江南机电设计研究所，贵州 贵阳 550009

DOI: 10.61369/TACS.2026070003

摘　　要： 遥测技术作为远距离参数感知、传输与分析的核心手段，已深度融入航空航天、工业监控、水利环保、气象灾害、智慧城市等关键领域，成为数字化、智能化监测体系的重要基石。但在技术迭代、场景适配、系统协同与安全保障等层面，仍存在精度稳定性不足、传输效率受限、标准化程度偏低、安全防护薄弱等突出短板。本文系统梳理遥测应用的核心瓶颈，从技术创新、体系构建、标准规范、安全赋能等维度提出完善路径，为遥测技术规模化、高质量应用提供理论参考与实践指引。

关 键 词： 遥测；应用短板；完善路径

Research on the Shortcomings and Improvement Paths of Telemetry Application

Duan Wenbin
Jiangnan Electromechanical Design and Research Institute, Guiyang, Guizhou 550009

Abstract: As a core means of long-distance parameter perception, transmission, and analysis, telemetry technology has been deeply integrated into key fields such as aerospace, industrial monitoring, water conservancy and environmental protection, meteorological disasters, and smart cities, becoming an important cornerstone of digital and intelligent monitoring systems. However, in terms of technological iteration, scenario adaptation, system collaboration, and safety guarantee, there are still prominent shortcomings such as insufficient precision stability, limited transmission efficiency, low standardization level, and weak safety protection. This paper systematically sorts out the core bottlenecks of telemetry application, and proposes improvement paths from the dimensions of technological innovation, system construction, standardization, and safety empowerment, aiming to provide theoretical reference and practical guidance for the large-scale and high-quality application of telemetry technology.

Keywords: telemetry; application shortcomings; improvement paths

一、遥测应用的短板分析

（一）精度稳定性不足

一方面，传感器是遥测前端的重要组成部分，在复杂的电磁环境下或者温度、湿度较高的环境中工作时易发生输出漂移、灵敏度下降等现象，造成原始信息失真。一些低功耗或者小型化的传感器为了节约电能或者缩小尺寸而牺牲了测量准确性和抗干扰性，在长时间内不能保证持续稳定地提供高精度的数据。信号由发射端传送到接受端的过程中会受到信道噪声、多径散射以及距离远近的影响，微弱有用的信号会被掩盖或者失真从而降低后续计算得到的结果可靠性[1]。

另一方面，地面接收站对接收到信号进行解调和恢复也会产生一定误差，在多源异构数据融合中由于各节点之间的时间不同步以及采样率的不同，使得最终解析出的数据具有不确定性。遥测系统一般置于长时间无人员看管地方，不能够随时对其校准，最初设定值会随着时间推移而发生变化，造成系统误差[2]。目前大部分自检及校正方法都是针对固定情况制定，在变化环境里面就无法起到良好效果，对于非线性漂移也无能为力。

（二）传输效率受限

随着数据量不断增加而信道资源有限问题日益严重，造成遥测信息从获取到汇总以及返回过程中存在较大时延，在如空间环境探测、航天器健康状况报告等工作对时效性要求较高的情况下，众多传感器同时获取的数据由于数量庞大无法及时传输，造成堆积以及处理困难[3]。

其次，目前大多数遥测链路基于传统的无线通信协议，带宽利用率较低，抗干扰性能较差，在复杂的电磁环境下或者远距离传输容易出现丢包以及重传的情况，从而影响整个系统的通信效率，另外一些地面站与卫星之间的通信方式还是点对点单向传输的方式，缺少灵活性，在不同任务需要传输的数据量不同的情况下不能及时地进行资源分配，导致重要信息延误。

另外，由于星地间的时间同步精度不高造成数据帧无法正确拼接以及解析而导致频繁发送请求并且进行校验从而浪费大量的通信资源。而且有些遥测系统缺少缓存管理和流量控制措施当大量数据涌入时往往会造成接收方来不及处理而使得整个系统反应迟钝甚至崩溃。这都使得遥测系统的传输率一直很低不能很好地服务于突发事件处理以及迅速作出判断等工作[4]。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

（三）标准化程度偏低

不同的设备制造商有不同的数据格式、通讯协议以及接口定义等，导致不同系统的互不兼容，不能很好地协作工作。在同样的场景中，由于缺乏统一的标准导致多个遥测单元之间不能共享彼此的数据，造成信息孤岛，降低整个系统的性能。此外，在行业内缺乏统一的数据编码方式，造成了时间戳、单位标识、采样率等一系列问题，给数据的对比与利用带来困难[5]。

标准缺失也表现在设备认证及测试方面，缺少具有公信力的性能评价机制，设备质量良莠不齐，一部分设备在使用过程中存在故障或者不可靠的情况。由于缺少统一元数据定义规则，遥测数据源、准确性以及刷新频率等信息不能被自动检测，在自动决策系统中应用受限。在不同地区之间、不同单位之间的合作工作中，由于标准不统一而产生的信息歧义经常出现，影响合作工作顺利进行以及最终结果可靠性[6]。

（四）安全防护薄弱

通信链路处于复杂的电磁环境中，容易遭受信号劫持、数据篡改以及重放攻击等安全问题，在星地链路远距离传输中由于缺少对链路实时监控以及异常检测手段而造成的问题无法得到及时处理。同时，大多数情况下认证方法使用固定的密钥或者简单的用户名密码进行身份验证，难以防范假冒节点以及中间人攻击，如果密钥被泄露，则整个系统就失去了信任基础[7]。

目前大部分防护手段是以边界防护为主，缺少对内网中异常行为的持续监控以及及时反应，对于高级持续性威胁（APT）反应迟缓。而在跨平台、跨系统之间进行遥测数据传输时，由于缺乏统一的安全标准，各子系统间安全等级高低不一，存在防护洼地。另外，第三方插件及服务的使用也会增加整个软件供应链的安全问题，组件中存在的漏洞可能会成为攻击者进入系统的入口点。同时，总体的安全规划通常是落后于业务的发展，在开发过程中很少考虑安全测试或者安全审计工作，造成很多安全隐患不能被发现。

二、遥测应用的完善路径

（一）技术创新：融合智能感知与自校准机制的遥测技术

首先，加入具有环境感知功能智能传感器节点之后，系统可以及时获取周围温度、磁场强度、振动幅度等外界因素变化情况并根据自身预置多种维度特征进行相应调整。智能感知单元基于边缘计算方式，在本地对信息进行简单分析以及异常判断后不上报无用信息，提高整个系统反应速度[8]。

其次，自校准基于内置参考源以及闭环反馈来完成，不再需要人为干预或者定期进行标定。设备具有一个非常稳定的基准信号发生器，充当内部的标准，在线监测到输出有偏差大于一定范围后，就会进行校准。同时使用数字孪生的方法，在仿真的环境中进行校准效果验证之后再对实际设备进行操作，防止错误的发生。

从实现上看，硬件方面采用异构集成方案，把传感器、处理器以及通信模块集中在一个小体积的模块里面，支持即插即用及热拔插。软件部分部署一个小型化的推理引擎，以满足对功耗要求严格的设备上部署模型的需求，让智能算法可以在资源有限的终端上运行。而且这个方案注重灵活性和可扩展性，在无人员监管的情况下也能保证测量精度，大幅度提高使用寿命。

（二）体系构建：覆盖星地协同、数智驱动、弹性可扩展的遥测体系

第一，星地协同注重空间段和地面段之间资源的有效配合以及任务上的协调，基于一个共同的任务管理及分配系统，完成卫星遥测数据的获取、中继传送和地面接收解调工作的一体化。利用边缘计算的能力，在星上节点部署一部分数据预处理以及压缩功能，减轻下行压力，提高重要信息的传输优先级[9]。

第二，数智驱动表现为数据流动以及智能化算法相结合。遥测数据不再是单纯的状态监视结果展示，而是成为训练模型、优化决策的重要输入源。利用机器学习的方法对过去遥测数据流进行拟合，发现设备退化趋势以及早期预警信号，使运维从被动应对到主动预防。基于数字孪生的思想建立航天器的数字化副本，在线反映其工作情况及其与外界接触的过程，用于故障模拟及修复方案测试。数据分析工具集成到遥测处理中，可将原始数据转化为有用的知识，提高数据使用效率以及做出决定的速度。

第三，弹性可扩展性是指系统能够处理各种各样的任务以及适应不同的外界环境变化的能力，在硬件接口和软件服务方面都是以模块化的方式进行组织，可以方便地连接不同类型的载荷以及平台；通信协议是开放式的，可以支持不同的通信体制及数据格式，满足在不同的带宽和时延下可靠的数据传输；资源管理具有弹性的特点，可以根据任务的重要性以及系统的负载来灵活地分配计算、存储和带宽等资源；当出现紧急任务或者部分故障时，可以通过重新配置数据流以及切换到备用服务器来保证整个系统正常工作。

（三）标准规范：支撑全生命周期管理、全要素可追溯的标准化框架

在研发之初确定元数据模型及信息交互标准，制定传感器种类编号、采样率标记、单位制式以及时间同步方式等，防止由于基本参数不同造成的信息歧义。在系统设计上采用模块化的标准化接口定义，使得各种品牌的设备可以方便地接入并且能够互换其功能，提高系统的可扩展性和兼容性[10]。

运行时，主要工作是数据处理过程以及业务逻辑固定化。有统一的数据预处理标准，比如异常值判断准则、填补办法和质量标识方式，使得来自不同渠道的数据具有可比性。操作日志保存采用一定格式并且按时间顺序排列，便于以后出现问题或者分析效率时可以查询。更新过程中进行版本管理，每次软件或硬件变动都要记录其涉及范围、审批途径及测试情况等，构成一条技术发展史。

面向全要素可追溯，标准化框架应建设基于唯一标识的对象管理机制。各类设备、每一项测量任务、每一条数据流都有一个唯一的身份 ID，在主数据管理系统中维护这些对象的相关属性以及它们之间的关联关系，同时利用区块链或者分布式账本来记录重要的事件，保证数据流动是可追溯的。

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

（四）安全赋能：嵌入密码增强、行为审计与动态响应的安全治理范式

第一，密码增强技术是保证遥测数据保密性和完整性的基石。使用国密或者高安全性加密算法对传输以及存储的数据进行端到端的加解密，避免遥测数据在星地之间被窃取、篡改等。利用基于身份加密（IBE）或者基于属性加密（ABE）的方法实现细粒度权限管理，只有合法用户可以获取相应的遥测信息。

第二，行为审计是遥测系统运行过程中始终如一的存在，在系统中部署行为审计机制并形成行为审计日志。对指令下发、参数变更、设备连接等重要事件进行记录以及对其行为进行分析得到一系列行为轨迹。然后使用时间线分析法及模式匹配方法发现可疑的行为轨迹，判断是否有非法入侵或者恶意控制发生。最后将审计的结果也加入到安全态势评估中去以供威胁告警使用。

第三、动态响应是对安全威胁进行及时感知并有效处理的过程，在地面站以及卫星上安装轻量级入侵检测插件，对网络流量以及系统调用情况进行监控，一旦有异常则启动相应的等级响应，响应过程中保留所有证据以便后续回溯以及责任划分，该安全管理方式具有很高的灵活性并且可以远程升级以满足不同任务中不同的安全要求。

三、结束语

综上所述，遥测技术作为现代信息获取与远程监控的核心手段，在航天、能源、气象、交通等多个关键领域发挥着不可替代的作用。随着系统复杂性提升和应用场景拓展，当前遥测应用在实际运行中暴露出一系列结构性与功能性短板，须从技术、架构、标准与安全四个维度协同推进完善路径。本研究通过对现有遥测应用瓶颈的系统梳理，明确了改进方向并提出具有可操作性的解决方案。未来，遥测系统的发展要更注重智能化、一体化与安全性之间的平衡，推动由被动采集向主动感知转变，由孤立运行向互联互通演进，由基础传输向可信保障跃升，形成高效、可靠、安全的下一代遥测生态。

参考文献

[1] 王莉 . 水文遥测终端技术在水文情报预报中的应用研究 [J]. 黑龙江环境通报 ,2025,38(01):140-142.

[2] 张鹏，赵朋朋 . 无缆遥测地震仪在工作面槽波透视中的应用 [J]. 内蒙古煤炭经济 ,2025,(03):181-183.

[3] 史玉峰，成亚勇，田之俊，等 . 深度学习在航天遥测信息传输中的应用综述 [J]. 电讯技术 ,2025,65(04):624-633.

[4] 啜晓亚，沈金松，陈名德，等 . 一种无缆实时遥测地震系统的改进和应用（英文）[J].Applied Geophysics,2025,22(02):291-304+555.

[5] 赵宏鑫，隋亚男，邓孟涛，等 . 无人机船舶尾气遥测在长江常熟段的应用 [J]. 内燃机与配件 ,2025,(12):84-86.

[6] 严焕宇 . 水温自动遥测系统在广西防城水文站的应用分析 [J/OL]. 中国防汛抗旱 ,1-6[2025-07-16].

[7] 兰颖达，魏超强，罗爱招 . 水文情报预报应用研究——以水文 AI 遥测终端技术为例 [J]. 信息与电脑 ,2025,37(18):144-146.

[8] 郭彬彬，黄彦淇，鄢盛杰，等 . 体域通信技术在心脏起搏器程控 / 遥测中的应用进展 [J]. 中国生物医学工程学报 ,2025,44(05):591-603.

[9] 马磊，丛强，郝佳宁，等 ." 环境减灾二号 "A/B 卫星可视化遥测设计与多元应用 [J]. 先进小卫星技术 (中英文),2025,2(05):40-48.

[10] 尹强 . 遥测遥控航标终端在鄱阳湖航道管养中的应用实践 [J]. 交通建设与管理 ,2025,(06):128-130.

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.