

输电线路无人机巡检实时通信

潘 杰 张得科 杨福英

甘肃送变电工程有限公司 甘肃 兰州 730050

摘 要：本文聚焦输电线路无人机巡检实时通信。首先阐述其核心需求，包括实时性、稳定性、可靠性和带宽适配。接着介绍系统构成，涵盖无人机端、地面端通信模块及通信链路。随后分析关键技术，如通信调制解调、链路切换和抗干扰技术。最后提出系统优化策略，从无人机端、地面端通信模块及通信链路三方面进行优化，以提升通信性能，保障输电线路无人机巡检作业顺利开展，提高巡检效率与质量。

关键词：输电线路；无人机巡检；实时通信；数据传输

引言

输电线路作为电力系统的重要组成部分，其安全稳定运行至关重要。传统人工巡检方式存在效率低、风险大等问题，无人机巡检凭借灵活高效等优势成为重要手段。而实时通信是保障无人机巡检精准、安全、高效开展的关键，它贯穿于无人机巡检作业的全过程。从无人机端的数据采集与指令执行，到地面端的指令生成与数据处理，再到连接二者的通信链路，每个环节都依赖实时通信。深入探讨输电线路无人机巡检实时通信的核心需求、系统构成、关键技术及优化策略，有助于提升巡检质量与效率，保障电力系统的安全稳定运行，为电力行业智能化发展提供有力支撑。

1 输电线路无人机巡检实时通信核心需求

输电线路无人机巡检实时通信的需求围绕巡检作业的精准性、安全性和高效性展开，结合无人机巡检的作业场景与技术特点，其核心需求主要体现在实时性、稳定性、可靠性和带宽适配四个方面，各需求相互关联、相互支撑，共同保障巡检作业的顺利开展。（1）实时性需求核心是保障数据传输与指令交互的低时延，无人机巡检过程中，高清视频、红外数据等实时回传的时延需控制在合理范围，确保地面操作人员能够及时观察巡检场景，发现线路缺陷；同时，地面指令下发至无人机的时延需足够短，避免因指令滞后导致飞行偏差或安全隐患。（2）稳定性需求源于输电线路巡检的复杂场景，无人机常需在山区、丘陵等信号薄弱区域作业，通信链路易受地形遮挡、电磁干扰等因素影响，需确保通信链路在复杂环境下能够持续稳定，避免出现信号中断、数据丢失等问题，保障巡检作业的连续性。（3）可靠性需求主要针对数据传输与指令执行的准确性，巡检数据的误传、漏传会导致缺陷误判，影响巡检质量；指令传输的错误会导致无人机飞行姿态异常，甚至引发安全事

故，因此需通过技术手段提升数据传输与指令交互的可靠性，确保信息传递的准确性。（4）带宽适配需求则与巡检传感器的类型相关，不同巡检任务需搭载不同的传感器，高清摄像头、红外热像仪等设备产生的数据量差异较大，实时通信链路需能够根据数据量的变化自适应调整带宽，既满足大数据量传输的需求，又避免带宽浪费，确保通信资源的合理利用^[1]。

2 输电线路无人机巡检实时通信系统构成

2.1 无人机端通信模块

无人机端通信模块是实时通信系统的数据源与指令执行终端，集成于无人机机身内部，主要由数据采集单元、通信传输单元和指令接收单元三部分组成。（1）数据采集单元与无人机搭载的巡检传感器相连，负责采集高清视频、红外数据、飞行状态参数等信息，并对采集到的原始数据进行初步预处理，去除冗余信息，压缩数据体积，为后续实时传输奠定基础。（2）通信传输单元是无人机端的核心通信部件，负责将预处理后的巡检数据和飞行状态参数实时发送至地面端，其性能直接影响通信的实时性与稳定性。通信传输单元通常采用模块化设计，可根据巡检场景的需求，适配不同的通信技术，确保在复杂环境下能够实现高效数据传输。（3）指令接收单元负责接收地面端下发的飞行指令，包括飞行姿态调整、航线变更、巡检任务切换等，并将指令转化为无人机的执行信号，控制无人机完成相应动作。同时，指令接收单元会对接收到的指令进行校验，避免因指令错误导致无人机误操作，保障飞行安全。

2.2 地面端通信模块

地面端通信模块是实时通信系统的控制核心与数据处理终端，主要由指令生成单元、数据接收单元和数据处理单元三部分组成。指令生成单元由地面操作人员通过控制终端操作生成，根据巡检作业需求，向无人机下

发飞行、巡检相关指令，并对指令进行编码处理，确保指令传输的准确性与安全性。（1）数据接收单元负责接收无人机端发送的巡检数据和飞行状态参数，采用与无人机端通信传输单元匹配的解码方式，对接收的数据进行解码处理，还原原始巡检数据和飞行参数，为后续数据处理和飞行监控提供支撑。数据接收单元需具备较强的抗干扰能力，能够在复杂电磁环境下准确接收数据，避免数据丢失或误判。（2）数据处理单元负责对解码后的巡检数据进行实时处理与分析，快速识别输电线路的缺陷信息，并将处理结果反馈给地面操作人员；同时，对无人机的飞行状态参数进行实时监测，若发现飞行参数异常，及时发出预警信号，提醒操作人员调整飞行指令，保障巡检作业安全^[2]。

2.3 通信链路

通信链路作为连接无人机端与地面端的核心通道，在输电线路无人机巡检实时通信系统中占据着关键地位，其性能优劣直接关系到通信的实时性、稳定性以及可靠性。依据所采用的通信技术差异，输电线路无人机巡检实时通信链路主要可划分为无线通信链路与卫星通信链路这两大类别，且二者各具独特的技术特性，适用于不同的巡检场景。（1）无线通信链路主要借助微波、蓝牙、WiFi等无线通信技术搭建而成，它具备传输速率快、时延低以及成本低廉等显著优势，尤其适用于短距离且信号环境良好的巡检场景。在此类场景中，它能够轻松满足高清视频、红外数据等大数据量的实时传输需求。（2）而卫星通信链路则是基于卫星通信技术构建，其突出优势在于覆盖范围极为广泛，且不受地形遮挡的限制，因此更适用于长距离、偏远山区等信号薄弱区域的巡检场景，可有力确保通信链路持续稳定运行。

3 输电线路无人机巡检实时通信关键技术

3.1 通信调制解调技术

通信调制解调技术是实现数据高效传输的核心技术，主要用于将无人机端采集的数字信号转换为可通过通信链路传输的模拟信号，同时将地面端接收的模拟信号转换为数字信号，实现信息的准确传递。调制技术的核心是将数字信号加载到载波信号上，改变载波的幅度、频率或相位，形成调制信号，便于在通信链路中传输；解调技术则是反向操作，将调制信号中的数字信号提取出来，还原原始信息。针对输电线路无人机巡检的需求，通信调制解调技术需具备较高的调制解调效率和抗干扰能力，常用的调制解调技术包括正交频分复用调制解调技术、码分多址调制解调技术等。正交频分复用调制解调技术具有频谱利用率高、抗多径干扰能力强的

优势，能够在有限的带宽内实现大数据量的实时传输，适用于高清视频等大数据量巡检数据的传输；码分多址调制解调技术具有抗干扰能力强、通信容量大的优势，能够在复杂电磁环境下确保数据传输的准确性，适用于信号干扰较强的巡检场景^[3]。

3.2 链路切换技术

链路切换技术主要用于解决复杂巡检场景下通信链路不稳定的问题，当无人机在巡检过程中遇到地形遮挡、信号干扰等情况，导致当前通信链路的信号强度下降、时延增大，无法满足实时通信需求时，通过链路切换技术，自动切换至备用通信链路，确保通信链路的持续稳定，保障巡检作业的连续性。链路切换技术的核心是链路状态监测与切换决策，通过在无人机端和地面端设置链路状态监测单元，实时采集通信链路的信号强度、丢包率、时延等参数，对链路状态进行评估。当监测到当前链路的参数超出预设阈值，无法满足通信需求时，切换决策单元会快速判断备用链路的状态，选择最优的备用链路，并完成链路切换操作。链路切换过程需快速、平稳，避免因切换延迟导致数据丢失或指令滞后，影响巡检作业。

3.3 抗干扰技术

输电线路巡检场景中，无人机实时通信链路易受各类干扰因素影响，主要包括电磁干扰、地形遮挡干扰和多径干扰等，这些干扰会导致信号衰减、数据丢失、指令误传等问题，影响通信系统的性能。抗干扰技术的核心是通过各类技术手段，抑制或消除干扰因素的影响，确保通信链路的稳定性和数据传输的准确性。针对电磁干扰，主要采用频谱优化、屏蔽防护等技术，通过合理规划通信频谱，避开干扰频率，减少电磁干扰对通信链路的影响；同时，对通信模块进行屏蔽处理，增强通信模块的抗电磁干扰能力。针对地形遮挡干扰，除了采用卫星通信链路弥补无线通信链路的不足外，还可通过中继通信技术，搭建中继节点，延伸通信链路的覆盖范围，解决地形遮挡导致的信号薄弱问题。针对多径干扰，主要采用均衡技术、分集接收技术等，通过对接收的信号进行均衡处理，消除多径传播带来的信号失真，提升数据传输的准确性。

4 输电线路无人机巡检实时通信系统优化

4.1 无人机端通信模块优化

无人机端通信模块的优化主要聚焦于数据预处理和通信传输效率两个方面，通过优化数据预处理算法，减少数据体积，降低传输带宽压力，提升数据传输的实时性^[4]。（1）采用高效的数据压缩算法，对采集到的高清

视频、红外数据等进行压缩处理,在保证数据质量的前提下,最大限度地减少数据量,缩短数据传输时间;同时,对数据进行分层处理,优先传输关键缺陷数据和飞行状态参数,非关键数据可延迟传输,确保核心信息的实时传递。(2)优化通信传输单元的硬件配置,采用高性能的通信芯片和天线,增强通信传输单元的信号发射和接收能力,提升通信链路的信号强度和稳定性;同时,采用模块化设计,实现通信传输单元的灵活适配,可根据巡检场景的需求,快速切换通信技术,提升通信模块的通用性和适用性。

4.2 地面端通信模块优化

地面端通信模块的优化主要围绕数据接收效率和指令下发准确性两个方面,通过优化数据接收算法,提升数据接收的速率和准确性,减少数据丢失和误判。(1)采用多通道接收技术,同时接收无人机端发送的不同类型数据,提升数据接收效率;同时,引入差错控制算法,对接收的数据进行校验和纠错处理,及时发现并纠正数据传输过程中出现的错误,确保数据传输的准确性。(2)在指令下发方面,优化指令编码算法,缩短指令编码时间,提升指令下发的速率;同时,建立指令校验机制,对下发的指令进行双重校验,避免指令错误导致无人机误操作;此外,优化数据处理单元的处理效率,采用高性能的处理器和高效的数据处理算法,快速完成巡检数据的分析和处理,及时反馈处理结果,为操作人员下发指令提供支撑。

4.3 通信链路优化

通信链路的优化是提升实时通信系统性能的关键,主要从链路选择、带宽分配和链路维护三个方面入手,实现通信链路的高效、稳定运行。(1)采用自适应链路选择技术,根据巡检场景的信号环境、数据传输需求等,自动选择最优的通信链路,当无线通信链路信号良好时,优先采用无线通信链路,确保大数据量的快速传输;当无线通信链路信号薄弱时,自动切换至卫星通信链路,确保通信链路的持续稳定。(2)在带宽分配

方面,采用动态带宽分配技术,根据无人机端传输的数据量变化,自适应调整通信链路的带宽,当传输大数据量时,增加带宽分配,满足数据传输需求;当传输小数据量时,减少带宽分配,避免带宽浪费,提升带宽利用率。同时,加强通信链路的实时维护,通过链路状态监测单元,实时掌握链路运行状态,及时发现链路运行过程中出现的问题,并采取相应的修复措施,确保通信链路的稳定性和可靠性^[5]。

结束语

输电线路无人机巡检实时通信对于保障电力系统安全稳定运行意义重大。通过明确核心需求,构建完善的系统,掌握关键技术并进行针对性优化,可有效提升通信的实时性、稳定性、可靠性和带宽适配性。这不仅解决了传统巡检方式面临的诸多难题,还大幅提高了巡检效率与质量,降低了人工巡检的风险与成本。随着技术的不断发展,未来输电线路无人机巡检实时通信有望在智能化、自动化方面取得更大突破,实现更精准的缺陷识别、更高效的作业调度以及更可靠的通信保障,为电力行业的持续发展注入强大动力,推动其向更加安全、高效、智能的方向迈进。

参考文献

- [1]邢华军.输电线路无人机巡检智能管理系统设计及应用探究[J].电气技术与经济,2024(2):134-136,139.
- [2]田世坤,唐胜达.衰减信道下具有严格时延的P2P实时通信传输策略[J].广西师范大学学报(自然科学版),2022(6):122-130.
- [3]李云松,崔健,李煜稼,等.高压输电线路无人机巡检技术运维管理分析[J].农电管理,2024(1):49-50.
- [4]陈绍南,陈千懿,肖静,等.无公网覆盖区域配网无人机自动驾驶巡检技术研究[J].电子设计工程,2022,30(14):91-94,99.
- [5]成亮,杨沛,贾燕舫,等.配网线路无人机自主巡检的路径规划方法[J].无线电工程,2022,52(7):1213-1221.