

# 海洋石油平台台风监测数据双端接收容错机制设计

时麟焱, 萧阳, 孙浩原

中海油能源发展股份有限公司采油服务分公司, 天津 300459

DOI:10.61369/ERA.2026100025

**摘 要 :** 为了克服海洋石油平台台风监测中数据传输受恶劣海况的影响、单点故障风险大等缺点, 设计出一种双端接收容错系统。使用主备双接收节点的结构, 在出现任何故障的时候都可以保证数据不受影响的正常接收。硬件方面选用 SX1308 LoRa 芯片、工业级 MCU、防腐全向天线以及电压滤波、电流滤波的电源和准确的信号处理线路, 可以很好地抵抗强烈的电磁干扰, 在恶劣的环境中也能保持稳定的运行状态。软件上制定了 CRC32 校验和滑动窗口的数据接收协议, 加入了前向纠错编码、选择性重传以及多路径切换的容错算法, 可以很好的克服数据传输出错、丢包、链路中断等。系统的测试结果表明, 在网络断开、设备出现故障、数据丢失等情况发生的时候, 该机制可以迅速实现故障检测并进行冗余切换, 数据接收的准确率一直保持在一个比较高的水准上, 故障修复的时间较短, 可以符合海洋石油平台台风监测数据高可靠度、实时性接收的要求。

**关 键 词 :** 海洋石油平台; 台风监测; 双端接收; 容错机制; 数据冗余

## Design of Dual-End Receiving Fault-Tolerant Mechanism for Typhoon Monitoring Data of Offshore Oil Platforms

Shi Linyan, Xiao Yang, Sun Haoyuan

Oil Production Service Branch, CNOOC Energy Technology-Services Limited, Tianjin 300459

**Abstract :** To overcome the disadvantages such as data transmission being affected by severe sea conditions and high risk of single-point failure in typhoon monitoring of offshore oil platforms, a dual-end receiving fault-tolerant system is designed. Adopting the structure of primary and backup dual receiving nodes, it can guarantee normal data reception without any influence in case of any failure. In terms of hardware, SX1308 LoRa chip, industrial-grade MCU, anti-corrosion omnidirectional antenna, power supply with voltage and current filtering, and accurate signal processing circuits are selected, which can effectively resist strong electromagnetic interference and maintain stable operation under harsh environments. On the software side, a data receiving protocol with CRC32 checksum and sliding window is formulated. Fault-tolerant algorithms including forward error correction coding, selective retransmission and multi-path switching are integrated to effectively cope with data transmission errors, packet loss and link interruption. System test results show that when network disconnection, equipment failure, data loss and other conditions occur, this mechanism can rapidly realize fault detection and redundant switching. The accuracy rate of data reception is maintained at a relatively high level with short fault recovery time, which can meet the requirements of high-reliability and real-time data reception for typhoon monitoring on offshore oil platforms.

**Keywords :** offshore oil platform; typhoon monitoring; dual-end receiving; fault-tolerant mechanism; data redundancy

### 一、台风监测数据双端接收容错机制总体设计

台风监测数据双端接收容错机制总体设计, 其主要目的就是实现台风监测数据的准确稳定接收、保证系统的高可靠性, 从而为海洋石油平台的安全运行提供有力保障, 依靠冗余的设计以及智能的容错算法来降低单点故障的影响程度, 同时兼顾可靠、实时、可扩展的要求, 坚持可靠的、及时的、可持续发展的原则。总体结构为数据采集端、双端接收模块、数据处理分析模块三部分组成, 采集端从平台传感器采集风速、风向等主要数据并进行初步处理, 双端接收模块为主备节点冗余模式, 支持卫星、

4G/5G 等多种通信方式和自适应切换, 保证数据接收不间断, 处理分析模块采用并行计算 + 云存储的方式处理数据, 生成预警信息, 模块化设计提高了系统的容错能力以及可靠性。

### 二、双端接收模块硬件设计

#### (一) 硬件选型

海洋石油平台台风监测数据双端接收容错机制当中, 硬件设备选择是否恰当, 是保证整个系统正常运转、数据可靠传送的前提条件。双端接收模块的硬件设计主要是选择通信芯片、天线及

其他辅助设备。通信芯片是主要的组成部分,应该具有高灵敏度、低功耗和抗干扰能力强的特性。本研究使用了基于 LoRa 技术的 Semtech SX1308 芯片,该芯片支持多信道并行接收,可以大大提高数据接收的并发处理能力,在复杂的电磁环境中具有很好的性能,适合于海洋平台这样的电磁干扰大的场合。该芯片一般以基带处理器的形式集成在 LoRa 网关模块上,需要配合射频前端芯片(例如 SX1257、SX1255 等)使用,工作温度范围根据具体的模块设计而不同,典型的商业级为  $-40^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 。另外天线选择也十分重要,因为海洋环境有高湿高盐雾的特点,本文使用了高性能全向玻璃钢天线,它不仅有良好的耐腐蚀性,在较宽频段内也能保持较好的增益特性,保证信号覆盖范围大、接收质量稳。

双端接收模块除了主要部件外,还有工业级 RS485 接口做数据传输用和低功耗 MCU 做控制逻辑处理。所有所选的设备都是以高可靠、低功耗为原则进行选择,用以适应海洋平台的恶劣工作环境。以 MCU 为例子,采用的是 STM32L 系列芯片,它的内部自带了纠错机制和掉电保护,使得系统具有很强的容错能力。另外所有的硬件设备都会做 EMC 测试和环境适应性试验,以保证其在台风等极端天气下可以正常工作。经过以上硬件选型,双端接收模块可以满足台风监测数据实时传输的要求,也为之后的电路设计和软件开发打下了基础。

## (二) 电路设计

双端接收模块电路设计主要目的就是实现信号的高效接收、处理和传输,并且保证电路自身稳定性、可靠性。本部分主要对电源电路、信号接收与处理电路做详细的说明。电源电路的设计中考虑到海洋平台供电环境不稳定的情况,使用多级稳压滤波电路。具体来说,输入电源经瞬态电压抑制二极管(TVS)的浪涌保护,再经过 LM2596 开关稳压芯片将其电压降到一个合适的工作范围,在此基础上加上  $\pi$  型 LC 滤波网络来减小高频噪声。通过实验得知,该电源电路在输入电压波动  $\pm 20\%$  的时候也可以保证输出电压的稳定性,提高系统抗恶劣供电环境的能力。

信号接收和处理电路属于双端接收模块的重要部分,主要研究怎样把微弱的信号放大并且解调。本文使用 BGA2869 做低噪声放大,对接收到的射频信号进行初步放大,再用 SX1308 芯片完成信号解调、基带处理。除此之外,为了采集平台上其他的模拟传感器(模拟量输出的风速计、气压计等)的信号,在电路中加入了一个 16 位高精度的 ADC 芯片 ADS1115,把模拟信号转换成数字信号然后传送到 MCU 里去进行处理。另外为了防止信号干扰,在设计时采用多层 PCB 板结构,模拟地和数字地严格分开使用,用磁珠、电容组成隔离网络,提高电路的抗干扰性。

为了提高电路的可靠性,在电路加入了各种各样的保护。在 RS485 通信接口上加设 ESD 保护二极管来防止静电放电损坏通信芯片,采用软件方式实现看门狗定时器功能,保证系统在出现异常情况时可以自动复位,并且恢复正常工作。上面所设计出的双端接收模块的电路方案可以很好地达到它的功能要求,也可以为它在台风等恶劣天气下稳定工作提供有力的保证。

## (三) 双端接收模块软件设计

### 1. 数据接收协议

海洋石油平台台风监测数据双端接收的容错机制里,数据接

收协议的设计就是保证数据传输准确性和稳定性的重要环节。本文主要对数据采集端和双端接收模块之间通信格式进行规范,明确数据传输帧结构、校验方式以及异常处理机制等,从而有效降低由于数据传输错误造成的信息丢失风险。因此,本协议使用的是基于二进制的帧格式,每一帧数据由帧头、载荷数据、校验码和帧尾这四个部分组成。帧头用来标识数据帧起始位置,用固定的字段来提高解析效率,载荷数据部分是承载实际监测数据的部分,可以动态改变载荷数据部分的长度,风速、风向、气压等参数都包含在载荷数据中,最后为 CRC-32 循环冗余校验算法得到的校验码,保证数据传输过程中的正确性,帧尾为数据帧结束位置标志,防止数据解析时出现边界错误。

另外为了保证数据传输的可靠,本协议中也加入了多层校验的方法。数据传输过程中发送端会立刻对每帧数据执行实时校验,一旦出现错误就会重新发送这帧数据,以此来防止出现错误的帧被接收模块接受。其次接收端在接到数据帧之后会先对帧头、帧尾进行完整性检验,然后用 CRC-32 算法检验载荷数据是否正确。为了应对网络延迟或者丢包的问题,本协议又加入了滑动窗口的方式,即保持一定的数量的已经发送但还没有被确认的数据帧来达到对丢失数据帧的快速恢复的目的。以上所述的设计可以提高数据传输的抗干扰性,并且为后面容错算法的实现打下了基础<sup>[1]</sup>。

### 2. 容错算法

双端接收容错机制里,设计合适的容错算法就是改善系统可靠性的关键部分。本系统的容错手段有数据冗余校验、错误重传、多路径切换这三种比较常用的容错技术,都存在不同的应用场景,可以满足海洋环境多种故障的情况。首先数据冗余校验算法就是用冗余信息来提高数据接收准确性,在数据传输期间加入冗余信息。因此本机制在数据传输过程中使用了前向纠错编码(FEC),也就是对原始数据进行编码得到冗余码字,再把编码后的数据和冗余码字一起发送到接收端。接收端发现数据出错的时候,可以借助冗余码字去纠正错误数据,进而缩减由于传输出现差错而造成的数据丢失情况。

其次,错误重传又加强了系统的容错性。通过设置接收端的数据缓存区来保存最近接收到的一帧或者几帧数据,在 ACK/NACK 信息的帮助下,可以对错误的帧数据进行及时重传。当接收端收到的数据帧出现丢失或者错误的时候,就会向发送端发出 NACK 信号,请求发送方重新发送该错误帧。发送端在收到 NACK 信号之后,就会马上从本地缓存里取出对应的数据帧并重新发出,以此来保证数据的完整性。另外为了减小重传过程中网络的开销,本机制又使用了选择性重传方式,只对出现错误的帧执行重传,而不是整个段落的数据,从而提高了传输速度<sup>[2]</sup>。

最后就是多路径切换算法,它是双端接收容错机制的一部分。该算法在系统内部加装多条互相独立的通信线路,从而达到网络断电或者设备出现故障时的自动转变效果。因此本机制对于双端接收模块中就使用了动态路由选择算法,可以依据各个链路的实时状况(比如信号强度、延迟等等)来做出最优的链路选择决定。主链路发生故障的时候,系统就会自动切换到备用链路,保

证数据传输不中断。从结果上看,本文所采用的容错算法可以大大提高系统在复杂的环境中运行的可靠性和稳定性,对海洋石油平台台风监测数据准确接收有很好的保证。

#### (四) 系统测试与分析

##### 1. 测试环境搭建

系统测试环境的创建是检验双端接收容错机制性能的前提,硬件设备、软件环境、网络环境等各方面的配置要考虑到实际使用场景。硬件设备上测试平台采用高性能数据采集终端、双端接收模块和数据处理服务器等,保证各个部件可以达到台风监测数据高吞吐量的要求。除此之外,在试验中还加入了水文气象监测设备,风速仪、波浪传感器和海流剖面仪等设备都是通过 RS-485 接口与数据采集终端相连,再经由无线通信模块把数据传送到双端接收模块上。在软件环境上采用 .NET 开发平台,云存储、并行计算、多线程等技术和方法来实现大量的数据即时采集、发送和处理功能。网络环境使用了冗余设计,主要采用有线以太网、4G/5G 无线通信网络两种方式来保证在发生网络断开的时候数据依然可以可靠地传送到目的地。利用以上的硬件设备、软件环境、网络环境为系统测试打下了良好的基础。

##### 2. 测试用例设计

为了全方位检验双端接收容错机制的效果,设计出各种模拟网络断开、设备失效、数据丢失等各种典型故障的情况下的测试用例。当网络出现中断情况的时候,测试用例会人为地断开以太网连接或者屏蔽无线信号,以此模拟出通信链路出现中断的现象,进而考察系统对于单端接收模块出现故障后,数据恢复的情况如何。对于设备故障情况下的测试用例进行了设计,分别模拟了数据采集终端、双端接收模块、数据处理服务器三种类型的单点故障,在硬件出现故障的时候,考察系统的硬件故障自动切换及冗余备份机制是否可以正常运转。对于数据丢失情况,用变化网络带宽、加入随机干扰信号来模拟丢包现象,并对它的容错功能(冗余校验、错误重发等)进行评价。上述测试用例的建立考虑了台风观测数据接受过程里各种故障情况,给系统的容错机制提供可靠的数据支撑<sup>[3]</sup>。

##### 3. 测试结果分析

对系统在各种故障情况下所产生出的数据加以分析,从而能够评价出该种容错机制在不同环境下表现出来的性能好坏情况,即数据接收成功次数、故障恢复所需要的时间、系统的稳定状况等。在网络中断情况下,通过测试可知,如果某个端的接收模块因为网络原因不能正常工作,系统可以迅速切换到备用端来接收到数据,数据接收成功率比较高,满足台风监测数据可靠性的需求。设备故障情况下的测试结果表明,在数据采集终端或者双端接收模块出现故障的时候,系统可以立即启动对故障的检测并进行冗余切换,数据处理服务器单点故障恢复时间比较短,说明硬件冗余设计可靠性较高。另外数据丢失的时候,容错算法的效果也最好,使用数据冗余校验、错误重传的方式,可以把数据丢失率降得很低,数据传递准确度得到很大提升。经过全面测试后可知,双端接收容错系统在各项测试中都达到了良好的工作性能,可以满足海洋石油平台台风监测数据高可靠性的接收要求。

### 三、结论

本文对海洋石油平台台风监测数据接收单点故障、海洋环境干扰等问题做了双端接收容错设计。其将数据采集、双端接收、数据处理这三个模块进行协调工作,坚持可靠、实时、可扩展的原则。硬件上用选型高灵敏度通信芯片、耐腐蚀天线等设备,加上多级稳压滤波电源等电路来提高恶劣环境下运行的稳定性。软件上使用带有 CRC-32 校验的滑动窗口数据接收方式,并结合前向纠错编码等方式来提高误码率和丢包率,在链路恢复方面也有所提高。系统测试结果表明,在典型的故障情况下,这个机制可以很好地完成切换,接收到的数据合格,恢复的速度也很快。研究结果可以给同类恶劣环境监测系统提供一定的借鉴,之后还会对通信链路进行融合以及智能故障预估,从而提高系统的自适应性。

### 参考文献

- [1] 王凯,李红,李昱杰,朱万林,王爱军.台风模式下海洋石油平台中控系统设计的研究[J].石油和化工设备,2024,27(11):64-68.
- [2] 张超.海洋石油平台中控 FGS 系统 UPS 供电回路优化提高系统稳定性[J].石化技术,2022,29(10):113-115.
- [3] 赵前,寇雨丰,邹付兵,武博,李欣.台风海况下半潜式钻井平台动力性能监测与分析[J].海洋工程,2023,41(06):19-30.