

# 基于多网融合的测发网络架构研究

韩雨桐, 穆 晖, 岳 玮, 王晓鹏

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)

**摘要:** 现役火箭型号现阶段仍是基于以太网的冗余交换机模式, 火箭测发应用的网络架构在节点数量、传输速率和实时性、安全性等方面已经不能满足对于当前数据通信需求; 随着智能终端大规模运用及发展, 火箭通信设备也向智能化、模块化和集成化前进; 为满足又多又快的需求, 现开展多网融合架构设计, 将有线与无线网络有机结合, 充分发挥各自的优势, 优化设计全网架构, 并在实时性、安全性等方面进行深入研究, 解决了箭上及地面等各个复杂电气系统之间高可靠性、高效率、高实时性、建立复杂数据集成网络的需要, 进而为全箭飞行试验成功奠定技术基础。

**关键词:** 多网融合; 测发网络架构

## Research on Test-transmit Network Architecture Based on Multi-network Integration

Han Yutong, Mu Hui, Yue Wei, Wang Xiaopeng

(Beijing Institute of Aerospace Systems Engineering, Beijing 100076, China)

**Abstract:** The current rocket models are still Ethernet-based redundant switch models at this stage. The network architecture of the rocket test and development application can no longer meet the current data communication needs in terms of the number of nodes, transmission rate, real-time performance, and security. With the large-scale application and development of intelligent terminals, rocket communication equipment is also moving towards intelligence, modularization and integration. In order to meet the many and fast needs, and meet the demand for more and more quickly, the multi-network integration architecture are being carried out, combining wired and wireless networks to give full play to their respective advantages. Optimize the design of the entire network architecture to meet the needs of highly reliable, efficient and real-time complex data integration networks between various complex electrical systems on the arrow and on the ground, laying a technical foundation for the success of the full-arrow flight test.

**Keywords:** multi-network integration; test-transmit network architecture

## 0 引言

随着网络技术、计算机技术及微电子技术的飞速发展, 运载火箭通信设备也向智能化、模块化和集成化前进, 随着网络系统拓扑结构更为复杂, 现役型号中应用的网络架构在节点数量、传输速率和实时性、安全性等方面已经不能满足于当前数据通信需求。因此, 有必要开展多网融合架构设计, 将有线与无线网络有机结合, 充分发挥各自的优势, 优化设计全网架构, 并在实时性、安全性等方面进行深入研究, 以解决箭上及地面等各个复杂电气系统之间高可靠性、高效率、高实时性、建立复杂数据集成网络的需要, 进而为全箭飞行试验成功奠定技术基础。

对于地面测发控网络, 现阶段仍是基于以太网的冗余交换机模式, 随着智能终端大规模运用及发展, 有必要采取多网融合的方式进行地面测发控网络架构优化设计。有线网采用实时以太网和非实时以太网相结合, 部分测试网络采用基于 SDN 的无线传感网络进行拓扑控制, 两者通过交换机进行通信交互, 保证全网架构具有高实时性、强自

适应能力、抗毁顽存等特点。

## 1 传统网络架构设计

### 1.1 集中式标准以太网网络方案

采用集中式标准以太网的测发网络系统架构与我国现役运载火箭地面测发控网络架构相同, 由四台标准以太网交换机构成主干网, 交换机 F、G 互为冗余, 交换机 H、I 互为冗余, 前端、后端参与测控的设备通过双冗余方式连在主干网上。系统架构如图 1 所示。

为使各设备连接到交换机后不会发生互相干扰, 又方便管理, 需要在交换机配置中给各设备分配特定的端口; 端口命名、端口 IP、VLAN 划分、静态路由、各系统间的控制访问限制等。

本方案优缺点: 现有的运载火箭地面测发控网络均是基于标准以太网技术实现的, 以太网交换机技术成熟, 网络交换机接口较多、可靠性高。但是其利用 CSMA/CD (载波监听多路访问及冲突检测) 的机理实现数据传输, 这种基于以太网的传输网络不是实时性、确定性的网络, 对于

收稿日期: 2020-12-08; 修回日期: 2021-01-20。

作者简介: 韩雨桐(1989-), 女, 辽宁营口人, 硕士, 工程师, 主要从事运载火箭信息应用与网络测控系统设计方向的研究。

引用格式: 韩雨桐, 穆 晖, 岳 玮, 等. 基于多网融合的测发网络架构研究[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(6): 224-227.

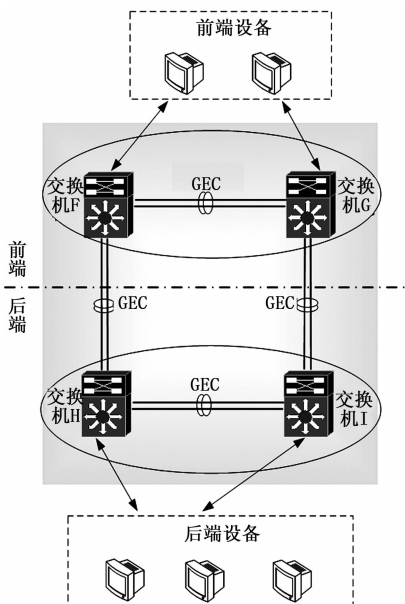


图 1 集中式标准以太网网络系统架构

数据传输量大、网络传输可靠性、实时性要求高的场合存在一定隐患。此外,前后端设备必须连接在主干交换机上,对于分布在发射平台不同位置的设备需要较长的线缆连接,不利于布线和维护。

### 1.2 实时以太网网络方案

目前,重型运载火箭箭上通信总线拟选用实时以太网方案,因此地面测发控网络选用实时以太网可与箭上网络无缝对接,构建箭地一体的测控网络。测发网络系统采用 TTE 实时网络平台的设计架构,与普通以太网架构的主要区别为采用 TTE 实时网络交换机代替商用以太网交换机。基于该架构采用双冗余四台 TTE 交换机网络规模搭建设计,系统架构如图 2。

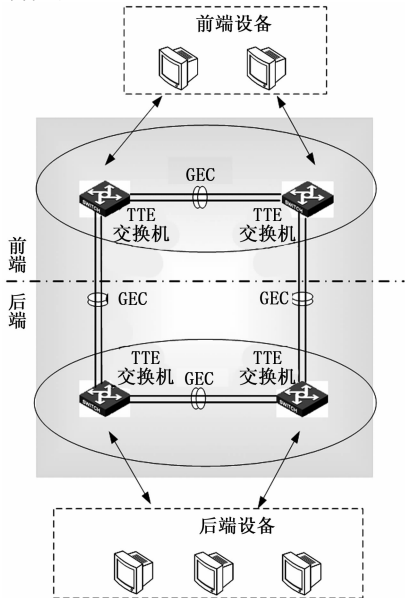


图 2 实时以太网网络系统架构

本方案优缺点:实时以太网网络方案信息传输具备实时性,具备最高等级的安全性、可靠性及确定性的网络。但是实时网络系统的搭建,必须使用 TTE 交换机,入网设备必须使用网络 TTE 接口卡,降低了系统的灵活性,而且目前 TTE 交换机的网络接口数量受限,不能满足测发网络系统接入设备数量的需求,且 TTE 交换机和网络接口卡成本较高。

## 2 多网融合架构设计

### 2.1 总体设计思路

#### 2.1.1 简化架构,整合实时网和传统以太网

通常情况根据数据业务类型不同,重要的实时数据和非关键的非实时数据进行网络隔离。因此在进行网络架构设计时,网络将含不同用途、且相互分离的多种网络。鉴于 TTE 时间触发网络从原理上能够兼容以太网协议,支持普通以太网设备接入及数据发送,解决了不同业务数据需要两套网络的局限性。因此可以整合实时网和传统以太网,统一用 TTE 交换机代替,简化网络架构。

#### 2.1.2 融入无线,增加网络灵活性扩展性

目前靶场前端有部分温度、压力、温湿度等参数测点已经不适应现有有线模式,包括可能会临时增加、靶场现有系统难以迅速配置的测点,安装拆卸困难的测量参数等。如新增的地面安控管控制压力、整流罩温湿度测量参数等。因此前端地面测发网络融合无线通信网络,将网络末梢梢及发射塔架的各个所需位置,实现关于温度、压力以及图像等参数采集,并通过无线网关及安全设备接入到核心网中,便于统一数据分析和处理。

#### 2.1.3 减少设备数量,集中管控系统资源

目前大部分传统型号的各系统设备仍然是独立的,这样既导致地面测发网络系统设备繁多,过于庞大,又会导致资源浪费。通过采用云平台技术对服务器系统与存储系统的改造,将火箭各分系统业务整合到多台一体化的服务器中。实现对虚拟资源的使用,这样不仅能够实现系统资源的集中管控,并且各系统可根据实际需求对系统资源的申领和使用,对各系统的维护和升级将更加便利。

### 2.2 多网融合系统构成

多网融合的地面测发控网络技术可在可靠性、实时性、冗余、动态组网、信息安全等要求方面,按照一体化的技术方向,开展地面网络平台框架、业务流程、硬件接口等设计。基于多网融合的地面测发控网络架构通过研究国内外工业以太网和实时网络飞现状,选取了时间触发实时以太网技术作为突破口,研制实现多网融合的地面测发控网络原型系统,在此基础上,对技术指标进行进一步验证,地面高可靠动态组网设计总体架构如图 3 所示。

地面测发网络架构组成如下:

1) 核心网包含 TTE 交换机和普通以太网交换机组成,能够兼容普通以太网数据及实时网络数据。测控设备中实时数据和非实时数据都能够通过核心网传输,且能够确保实时数据的有效传输,见图 4 所示,多网融合实时以太网

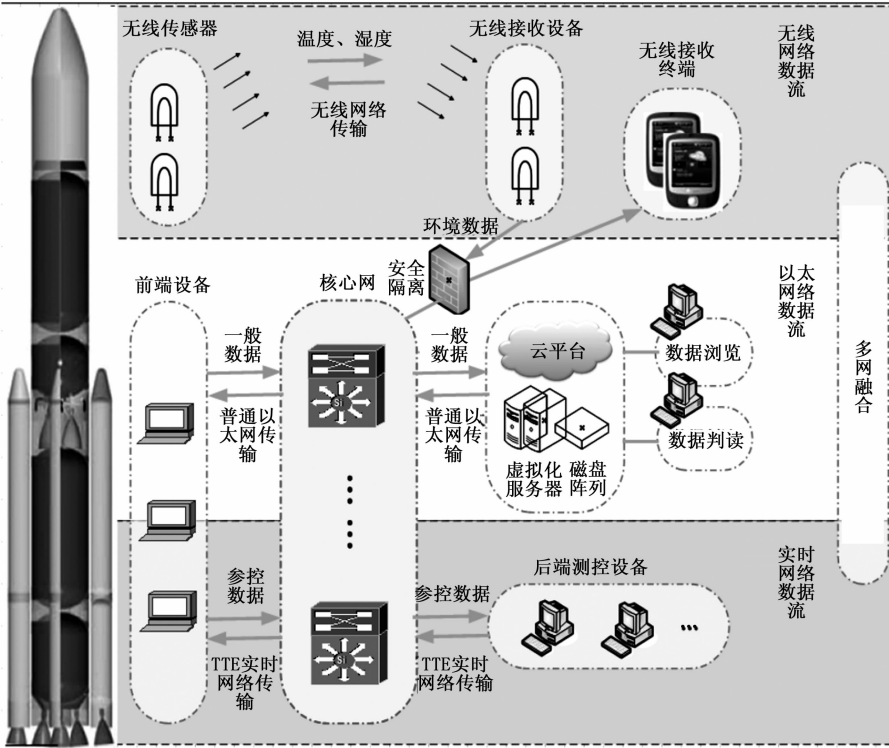


图 3 基于多网融合的地面测发网络架构图

设计，网络数据根据关键程度、实时性要求进行传输通路选择，重要程度高、实时性高的数据通过实时以太网传输；实时性要求低的数据可通过标准以太网进行传输。并且不同于传统集中式交换设计，地面测发控网络前端采用分布式交换设计，即根据前端设备的不同部署位置，就近配置网络交换设备进行网络接入。

其中实时以太网和非实时以太网前端交换机均采用分布式架构，按照系统、设备地点等进行网络设备划分，不同系统、不同地点的设备按照就近原则连接到不同的网络交换组中。前端测发控网络将延伸到发射平台、脐带塔、勤务塔、地面加注系统等不同位置。各前端交换机组统一通过光纤连接到后端的交换机中，前端交换机互为冗余，后端交换机互为冗余，前端、后端非实时数据终端通过双冗余方式连在主干网上。

实时以太网数据通过 TTE 交换机进行传输，前端交换机 E、F 互为冗余，后端交换机 G、H 互为冗余，实时数据 TTE 终端连接到前后端 TTE 交换机上。标准以太网交换机和 TTE 交换机互联，可以实现实时数据终端和非实时数据终端的通信，但在标准以太网交换机和 TTE 交换机通信情况下，只能传输非实时数据。

前后端之间还将采用无线通信方式将前端整流罩环境监测数据、发射平台环境监测数据等通过无线通信方式传输至后端。基于 SDN 的无线通信网络中，普通节点可实现邻居发现功能，将拓扑信息上传到控制器节点，采集环境中的温湿度信息和视频信息并进行处理，并可根据控制器节点计算的全网路由将温湿度信息及视频信息传输到控制器节点。控制器节点可进行全网拓扑的汇总及定时更新，实现全网路由计算及流表下发功能，根据网络环境变换及时调整全网路由，并实现控制器节点侧的软件定义路由功能。控制器端的网管系统可实现全网拓扑显示、全网路由显示、温度信息实时显示、温度信息历史显示及多路视频实时显示功能。

### 3.1 实时网络设计架构

实现实时数据和非实时数据的一体化传输，同时保证实时数据的可靠性、实时性和确定性。实时数据在网络中使用冗余热备传输（采用两条独立的链路传输）来保证数据传输的可靠性。实时数据采用基于时间触发技术，实现数据传输的确定性和实时性。数据在进入模块后，按照其类型被分为 3 类：实时数据、时统数据和非实时数据，分别交由实时数据处理模块、时统数据处理模块和非实时数

交换机通过实时性设计，使用专用硬件，实现实时协议栈，时钟同步协议和实时调度算法，使得系统为实时数据留出了一条逻辑上的专用通道，保证了数据的实时性，确定性和可靠性；

2) 前端地面测发网络融合无线通信网络，将网络末端触及及发射塔架的各个所需位置，实现关于温度、压力以及图像等参数采集，特别是支持未来在需要前端上人的特殊情况下的移动式的灵活入网需求；

3) 后端采用云平台技术，包括两部分。一部分是进行了运算资源一体化设计的核心运算资源区，另一部分是通过“桌面云”技术，通过瘦客户进行接入访问的各系统终端机。

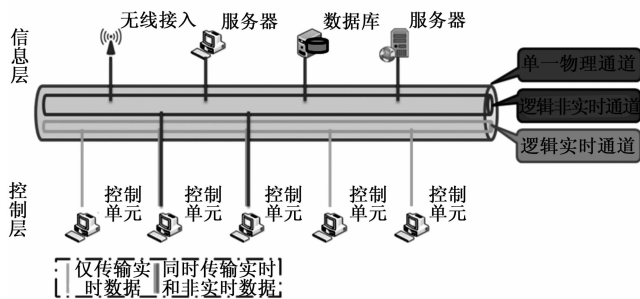


图 4 时间触发的以太网（TTEthernet）协议

## 3 多网融合网络方案

采用多网融合网络架构的地面测发网络系统是将实时以太网、标准以太网和无线网络进行混合组网的多网融合

据处理模块。时统数据处理模块用于完成时间同步,以使网络中的所有实时以太网交换机具有相同的时间(在一定误差内)。非实时数据处理模块完成对非实时数据的处理和交换,实现对传统以太网数据传输的兼容性。

1) 实时数据通路:调度表格是实时数据的核心,所有实时数据需按照调度表格的规定进行收发操作。调度表格定义了实时数据的接收时间窗口和发送时间点(接收时间窗口指明了该数据应该在该区间内到达,发送时间点指明该数据应该在该时间点被发出)。实时数据帧在进入通路后,首先被检查是否按照规定时间窗口内到达,如果是则继续处理,否则丢弃。基于调度表格规定的发送时间点,该数据帧在实时数据通路内缓存,并在发送时间点到达后被发出;

2) 时统数据通路:为保证不同交换机实时数据通路步调一致,需要对所有参与实时数据传输的交换机进行时间同步。该模块在接收到时统数据帧后,将对本机时间进行同步,并转发时统数据帧。该模块为实时数据通路提供时间信息;

3) 非实时数据通路:非实时数据通路完成传统二层交换等功能,例如,基于MAC地址的转发;

4) 仲裁模块为保证数据以“实时数据>时统数据>非实时数据”的优先级进行数据调度,确保实时数据的发送不受其他数据的干扰,以保证其实时性和确定性。

### 3.2 基于SDN的无线通信网络架构

软件定义网络—SDN网络架构以通用、可编程网络硬件为基础设施。以南北向接口协议将网络控制平面与转发平面有效分离。控制层通过南向接口(控制基础设施层网络硬件)。用户编写应用程序经北向接口(调用网络操作系统)。从而使整个网络可管可控成为可能。

由软件定义的无线传感网络架构可分为两个层面:1)数据转发层面:由终端传感节点构成;2)控制层面:由控制器构成。控制器一般选择大存储空间、强计算能力的计算机或控制器,用以存储全网的拓扑信息(节点信息和链路信息),并集中地处理和运算获取的全网拓扑信息,通过相关算法计算出最优路由策略、节能策略和负载均衡策略等,并生成相应的流表,分配给各个传感节点,同时维护全网信息,监控流量,实时动态调整计算策略;功能越简化则传感节点体积越小,故终端节点任务简单,只需执行控制节点下发转发、丢弃等操作。

图5表述了SDN的分层解耦合概念,SDN架构中的数据转发层面,包括通用的基础硬件层、硬件抽象层;控制层面包括网络操作系统、上层应用。数据转发层面与控制层面通过一种标准的交互协议来解耦合,表明网络操作系统及网络应用(如路由控制协议等)也可以运行在外部系统(如X86架构的服务器)内,非必须在物理设备上,进而达到网络控制灵活可编程的目的。

### 3.3 技术创新点

采用多网融合网络架构的地面测发网络系统将实时以

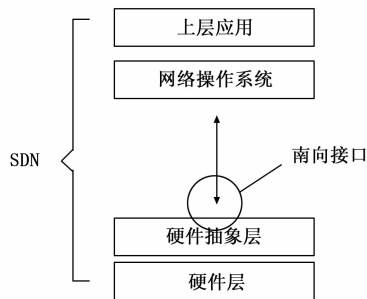


图5 SDN的分层架构

以太网和标准以太网进行混合组网的多网融合设计,网络数据根据关键程度、实时性要求进行传输通路选择,重要程度高、实时性高的数据通过实时以太网传输;实时性要求低的数据可通过标准以太网进行传输。

推广无线通信、无线传感方式,实现箭地测控系统的“物联网”式网络架构,增强地面测发控的末端感知能力,更为未来实现异构冗余、动态重构提供必要的技术基础。无线方式还有部署灵活方便,避免出现因走线不方便而不能部署的优势,方便设备部署撤收,缩短设备恢复时间,减少射前的工作。

## 4 结束语

本文研究的基于多网融合的测发网络架构,大力推动了运载火箭多网融合实时性的发展,促进了无线通信网络移动性、大规模、高带宽、低时延的发展趋势,推进了未来运载火箭测发控一体化,进而提升我国火箭测发流程效率,降低发射成本,对我国运载火箭通信系统的智能化发展具有重要的应用价值和长远意义。

### 参考文献:

- [1] 许聪,张磊,凌震. TTE在运载火箭控制系统中的应用[J]. 航天控制, 2017(1): 32-41.
- [2] SAE AS6802. Time-Triggered Ethernet [S]. SAE Aerospace Standard, 2011: 32-38.
- [3] 李晓东. 电力网络安全中的信息隐藏技术[J]. 科技资讯, 2018(6): 589-600.
- [4] 旭日. 无线传感器网络安全技术及运用实践微探[J]. 数码世界, 2017(1): 256-262.
- [5] 黄成明. 铁路通信工程中多网融合技术的应用问题研究[J]. 中国新通信, 2019(9): 111-124.
- [6] 梁杰. 多网融合的通信工程技术应用[J]. 通讯世界, 2020(2): 778-779.
- [7] 向景. 海上平台通信系统中多网融合的实践[J]. 中国新技术新产品, 2019(24): 189-199.
- [8] 陈猛,谭敏生,高斌. 基于ZigBee的无线传感器网络平台的设计[J]. 电脑学习, 2012, 2(1): 59-61, 65.
- [9] 王骥,林杰华,谢仕义. 基于无线传感网络的环境监测系统[J]. 传感技术学报, 2015, 28(11): 1732-1740.
- [10] 秦永华,许勤. 一种低功耗无线传感网络节点的设计[J]. 数字社区 & 智能家居, 2014(2): 719-720.