

运载火箭整流罩内环境无线测量系统研究

张永杰 胡斌 李雷 龚敏

(上海宇航系统工程研究所 上海 201108)

摘要: 针对运载火箭星罩环境监测系统进行研究,提出了基于多网融合技术的新系统设计方案,并取得了初步的实验验证。提出的新型无线监测系统将无线传感器网络 ZigBee、移动数据网络(GPRS)和互联网(TCP/IP)有机的结合起来,可以有效的避免使用有线传输方式存在的诸如电缆和接插件较重、易损坏,信号传输易受长线干扰,安装位置易受限等弊端,降低运载火箭星罩环境监测系统的重量,提高系统的性能和灵活性,对无线传感器网络在航天器中的应用奠定有益的基础。

关键词: 多网融合; 无线传感器网络; 星罩环境监测; 运载火箭

中图分类号: V443 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 590.30

Research on wireless environment measurement system of launch vehicle fairing

Zhang Yongjie Hu Bin Li Lei Gong Min

(Aerospace Systems Engineering Shanghai, ASES, Shanghai 201108, China)

Abstract: This paper discussed the cowling environment monitor system in launch vehicle, and proposed a new system design based on wireless sensor networks, which had achieved initial experimental verification. The new wireless monitoring system proposed in this paper combines wireless sensor network (ZigBee), mobile data network (GPRS) and Internet (TCP/IP) organically. The wiring itself is cumbersome, damageable, and vulnerable to a variety of distortion and interference due to the long distance transmission. Because the wiring is often built into the infrastructure, it is difficult for sensor installation in hard to reach locations and changing configuration is almost impossible, such as expansion of the number of sensors or sensing modalities. This paper explored the feasibility of Wireless sensor networks (WSN) in launch vehicle, and establish a useful base to WSN application in other spacecraft.

Keywords: multi-network fusion; wireless sensor network; fairing environmental monitoring; launch vehicle

0 引言

运载火箭星罩环境监测系统用于对星罩组合体内部温湿度环境进行实时监测,并向地面传输环境参数信息,地面工作人员根据环境参数控制空调系统的工作,保证星箭组合体的温湿度环境满足要求。运载火箭星罩环境监测系统从技术区就开始对星罩环境进行监控,历经垂直运输、火箭起竖对接至发射台,直到发射前45 min。在火箭合练、水平状态测试、垂直吊装测试、转场中发挥了重要的作用^[1-3]。

星罩环境监测系统由罩内电网、地面电网、混合式记录仪、协议交换机、计算机及打印机组成。罩内电网由温度传感器、湿度传感器、电缆及电缆插座组成。传感器及其安装位置根据卫星方环境监测需求进行选型和布置,温度传感器分布在星罩各处,如罩内空间,罩壁蒙皮内表面及保温罩内表面;湿度测点主要布置在基准面温度测点的附近。电

缆插座位于整流罩表面,用于罩内电网与地面电网的连接。地面电源由稳压电源、电缆及电缆插座组成。稳压电源由220 V电压供电,输出为24 V直流电压,用于对罩内传感器供电。混合记录仪用于传感器传输参数的接收、处理和显示,并向计算机实时传输温湿度参数。协议转换器用于混合记录仪与计算机数据协议的转换,从而实现参数的准确传输^[4-6]。

星罩环境监测系统工作过程中,罩内传感器采集温湿度信号,信号经由罩内电网和地面电网传输至混合记录仪。记录仪接收到数据信号后,对数据进行处理以转换为温湿度参数。温湿度参数通过混合记录仪及协议转换器,传输至计算机。温湿度参数经环境监测软件处理,实现各路温湿度参数在显示器上的实时显示和储存,并描绘出数据的变化曲线,从而为环境调试系统提供依据。

现有测量方法的主要不足有系统全部由人工值守判

读,自动化程度不高;星罩温度测点采用电缆、接插件连接,增加了有效载荷的重量;罩内设备与地面采用长导线连接,从塔架连接至控制室,易受到干扰造成误判的情况。

1 无线星罩环境监测系统设计

1.1 系统总体设计

如图 1 所示,基于无线传感器网络的运载火箭星罩环境监测系统主要无线温湿度传感器节点、无线温湿度传感器主机、自建服务器等部分构成。星罩内的温湿度通过无

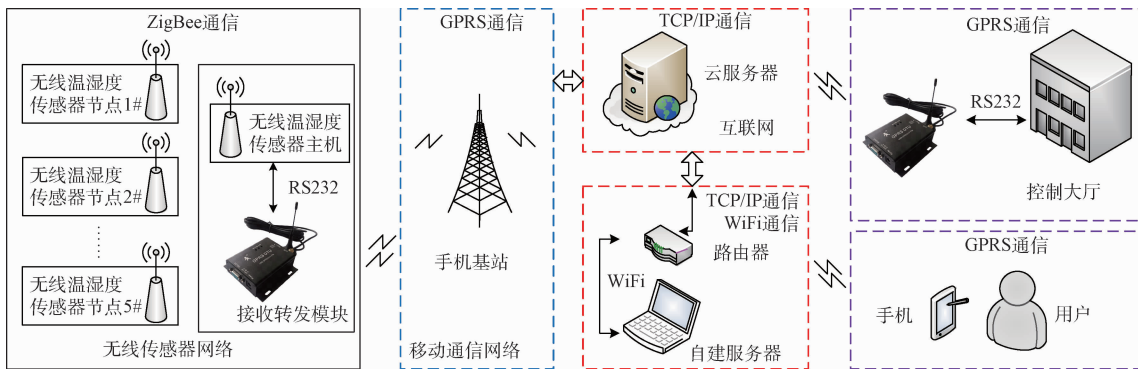


图 1 系统总体设计

无线星罩环境监测系统将 ZigBee 网络、移动通信网络、互联网“三网合一”,极大的扩展了系统的覆盖范围,使温湿度参数测量更加便捷^[8-11]。

由于节点间采用无线通讯,基于无线传感器网络的运载火箭星罩环境监测系统中的电缆和接插件大幅减少,也避免了长线干扰、接头损坏、安装受限等问题,同时环境参数判读实现自动化,节约了人力成本,并且易于后续运载火箭健康监测系统的集成,提高了系统的可靠性和灵活性。

1.2 硬件设计

1) 传感器节点设计

无线温湿度传感器节点如图 2 所示,主控单元采用低功耗单片机 STM8L101,单片机与温湿度传感器 SHT10 经过 I²C 通信获取温湿度信息,然后由 UART 控制无线通信模块 ZauZx_T_EN 将数据发送至主机控制器,整个节点由两节 5 号电池供电,使用寿命在 2 年以上,节点质量为 90 g。

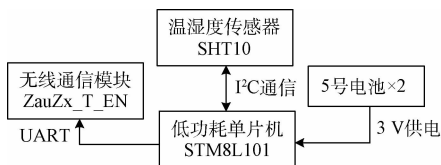


图 2 无线温湿度传感器节点

2) 主机控制器设计

无线温湿度传感器主机控制器通过无线通信模块 ZauZx_T_CO 接收网络内无线温湿度传感器节点的温湿

度数据,然后通过串口芯片转化为 RS232 标准信号,最后通过串口转 GPRS 模块 USR-GPRS232-701 将串口信息通过移动通信网络发送至互联网的云服务器上。无线温湿度传感器主机控制器由于耗电较大,所以需要外部供电,外部统一+12 V 供电,通过 LM2596 模块转化出+5 V 给串口芯片和无线通信模块供电,如图 3 所示。

度数据,然后通过串口芯片转化为 RS232 标准信号,最后通过串口转 GPRS 模块 USR-GPRS232-701 将串口信息通过移动通信网络发送至互联网的云服务器上。无线温湿度传感器主机控制器由于耗电较大,所以需要外部供电,外部统一+12 V 供电,通过 LM2596 模块转化出+5 V 给串口芯片和无线通信模块供电,如图 3 所示。

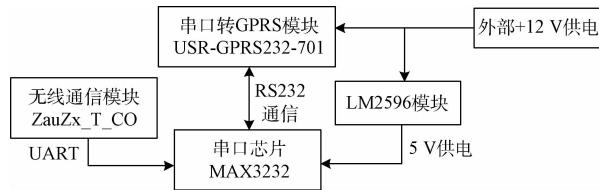


图 3 无线温湿度传感器节点功能

3) 温湿度传感器 SHT10

SHT10 是一款含有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器,具有传输速度快,测量准确的优点,温度测量精度±0.5℃,湿度测量精度±3%,满足系统使用要求。

4) ZigBee 通信模块

ZigBee 通信模块是系统设计的主要组成部分,ZauZx_T_EN 和 ZauZx_T_CO 模块具有速率高,体积小,性能稳定等优点,其工作频率范围 2 400 MHz,输出功率 3 mW,发送电流 29 mA,空旷环境下最好距离在 200 m 左右,完全满足系统的设计需要。

5) GPRS 通讯模块 USR-GPRS232-701

GPRS 通讯模块采用 USR-GPRS232-701,该模块将串

口数据转化为 GPRS 网络数据通过 TCP/UDP 协议发送至互联网公网服务器,模块采用 MTK 成熟的解决方案,具备很好的环境适应性,采用+12 V 供电。

通过使用动态域名+公网 IP 地址的路由器+端口映射+个人 PC 的方式来搭建应用环境,可以在无需维护较昂贵的服务器的同时,实现与公网服务器相同的功能,具备更低成本搭建监控环境的优势^[12]。

1.3 软件设计

1) 嵌入式软件设计

嵌入式软件的流程如图 4 所示。主要包括 STM8 单片机内部模块的初始化、SHT10 的控制、单片机以及无线模块的睡眠和唤醒等功能。

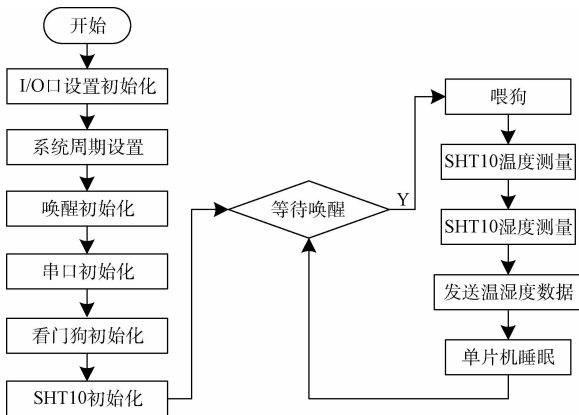


图 4 传感器节点软件流程

2) 上位机软件设计

上位机软件界面如图 5 所示,可以通过该程序直观的获得各节点的温湿度参数,同时具备存储功能,可以观察各节点的温度曲线,也可以通过设置特定温湿度,使系统具备自动报警功能。

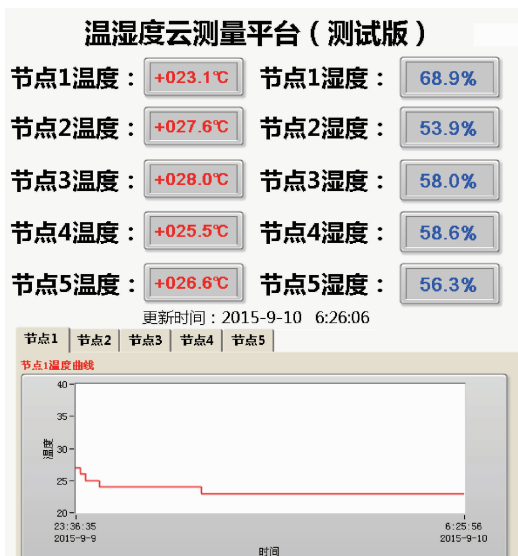


图 5 上位机软件界面

2 实验结果及分析

现役运载火箭的星罩环境监测系统一般需要连续工作 60 h 以上;温度测量一般要求为 $-30 \sim +50$ °C,精度 ± 0.5 °C;湿度测量小于 85%,精度为 $\pm 3\%$ 。

初步搭建的基于多网融合技术的环境监测系统样机如图 6 所示,该平台可以实现远程的温湿度测量,实测传感器节点间有效通讯距离超过 200 m,实测精度也满足系统设计要求。



图 6 无线运载火箭星罩环境监测系统样机

2.1 电磁兼容性分析

运载火箭星罩环境监测系统采用无线通信技术,点频 2.4 GHz,发射功率 3 mW,发射周期为 30 s,与目前卫星所用点频(2.0~2.2 GHz)存在 200 MHz 的点频差,同时由于无线节点收发功率很低,对其他单机无任何电磁影响,该无线传感器参加过某卫星整星的电磁兼容试验,通过电磁兼容测试。

2.2 传输可靠性分析

无线数据传输的硬件开销很小,且收发单元具有数据判读功能,所以用于降低无线数据收发的误码率有多种方法,如数据戳、校验字、MIMO、数据编码、数据回访机制等办法均可有效的降低传输误码率。同时,环境参数属缓变参数,刷新的周期很长,足够系统更新实时数据,保证无线数据传输的可靠性^[13-15]。

2.3 功耗分析

测量发射模块中无线通信平均功耗很低,某卫星无线温度传感器方案采用电池供电,无线通信周期 30 s,传感器节点工作电流 20 mA,休眠电流 3 μ A,采用两节 5 号碱性电池,可以达到 2 年以上的寿命,用于星罩环境监测时间较短,大约半个月,完成可以支撑全周期的测量。

3 经济效益及创新点

1) 在我国运载领域首次应用无线传感器网络技术,具有一定的创新性;

2) 针对无线传感器网络在航天器上应用的关键技术

进行研究,完成无线运载火箭星罩环境监测系统的原理样机研制,为后续工作奠定基础;

3)通过无线传感器网络技术实现了星罩环境监测系统的减重,提高了运载能力;通过自动化与智能化设计,提高了环境监测数据判读的能力,并可替代星罩环境监测人员岗位,提高了系统可靠性与经济效益。

4 结 论

本文提出了一种基于多网融合技术的运载火箭星罩环境监测系统,将无线传感器网络 ZigBee、移动数据网络(GPRS)和互联网(TCP/IP)有机的结合起来,极大的扩展了地面设备的监控范围,提高了设备的灵活性,使罩内温湿度监控工作变得非常方便,具有很强的工程实用性和推广价值。

参考文献

- [1] 曹柏荣,冯运达,瞿丹晨. 无线温湿度测量系统及其应用[J]. 自动化仪表, 2005(7):30-31.
- [2] 吴光荣,章剑雄. 基于 ZigBee 的高压开关柜无线温湿度监测系统[J]. 现代电子技术, 2008(20): 169-171.
- [3] 洪刚,潘小琴. 基于无线传感器网络的温湿度监测系统设计与实现[J]. 农机化研究, 2012(9):83-86.
- [4] 李剑. 基于多径信号的无线定位系统研究[J]. 电子测量技术, 2011,34(2):73-76.
- [5] 汪远银,马少鹏,王香,等. 基于模糊控制的无线自动泊车系统[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(7): 49-55.
- [6] 侯明,付兴建,吴迎年,等. 基于 LabVIEW VISA 智能车无线调试系统[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(1):67-69.
- [7] 涂巧玲,张杰,潘建权,等. 无线传感器网络节点低功耗设计策略[J]. 电子测量技术, 2009, 32(1): 158-161.
- [8] 武永胜,王伟,沈显明. 基于 ZigBee 技术的无线传感器网络组网设计[J]. 电子测量技术, 2009,32(11): 121-124.
- [9] 文丰,王二伟,杨建国. 无线传感网络节点环境监测模拟装置设计[J]. 电子测量技术, 2010, 33(12): 95-98.
- [10] 黄双华,赵志宏,郭志,等. Zigbee 无线传感器网络路由研究与实现[J]. 电子测量技术, 2007, 30(2): 59-61.
- [11] 李小珉,赵志宏,郭志,等. Zigbee 无线传感器网络的研究与实验[J]. 电子测量技术, 2007, 30(6): 133-136.
- [12] 张建军,陈晓,赵意. 一种无线传感器节点动态采样策略[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(2): 249-255.
- [13] 邱立达,刘天键,傅平. 基于稀疏滤波的无线传感器网络数据融合[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(3):352-357.
- [14] 孙斌,金心宇. 压缩感知在无线传感器网络目标跟踪中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(5): 463-468.
- [15] 任绘锦,戴晓华,王智. 无线传感器网络节点的系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2006, 20(6):31-35.

作者简介

张永杰,博士,高级工程师,上海宇航系统工程研究所,主要从事运载火箭电气系统设计工作。