

智能无线传感网络在飞行试验中的应用策略

蒋红娜 姜宏伟

(中国飞行试验研究院 西安 710089)

摘要:针对试验机现有有机载有线传感系统布线复杂、灵活性差、成本高、增加飞机重量、可维护性差、发生故障难以隔离等实际问题,需要寻找新的无线的、智能化的测量手段来满足现代飞行试验测试需求。通过对智能机载无线传感网络技术的研究,突破机载无线传感网络体系结构设计、节点数据同步采集技术、抗干扰设计及网络节点能量供给技术等关键技术。最终制定机载无线传感网络在飞行试验中的应用策略,为无线传感网络在飞机机载系统的实际应用提供理论支撑。

关键词:无线传感网络;飞行试验;时间同步;应用策略

中图分类号: V241.01 TN06 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 590.30

Application strategy for intelligent wireless sensor network in flight test

Jiang Hongna Jiang Hongwei

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: Nowadays airborne wired sensor system exists many actual problem, complex cable, poor flexibility, high cost, increasing the weight of aircraft, poor maintainability, difficult isolation for the fault and so on. So we need to find new wireless and intelligent measuring means to meet the demand of modern flight test. Based on the research of the intelligent airborne wireless sensor network technology, we break through some pivotal technology such as airborne wireless sensor network structure design, the data synchronization acquisition techniques, the anti-interference design and network node energy supply technologies. Eventually we develop airborne wireless sensor network application strategy in the flight test and provide theoretical support for the practical application.

Keywords: wireless sensor network; flight test; time synchronization; application strategy

1 引言

随着新一代战斗机、大型客机、运输机等军民飞机的试飞测试周期越来越紧、技术越来越复杂,对试飞测试系统的要求也越来越多。然而,现有飞机试飞测试系统存在测试参数多、引线复杂、附加重量大、缺乏灵活性、可扩充性、智能化和网络化程度不高及测量精度和效率有待改进等问题。智能无线传感网络(wireless sensor networks, WSN)^[1]为实现高效率、高精度、低重量、智能化的飞机试飞测试提供了很好的测量手段:智能无线传感网络能够大大减少器件引线数量,降低附加重量;其局部信号处理功能和并行的分布式信息处理能力,将大大提高飞行器试飞测试系统的运行速度及决策的可靠性;所具有的自组织特性可自适应调整试验监测网络拓扑结构和监测区域,为试飞测试系统提供了很强的灵活性^[2]。

近几年,由于智能无线传感网络的独特优点,国内外将其应用于国防和航空航天领域的研究越来越多。在国内,自2002年开始,南京航空航天大学自主研制了航空结构监测用无线应变传感器网络节点、高速无线压电节点和无线传感器网络系统;2007年,针对某型战斗机前起落架试验件进行了现场静力试验,成功监测了全起落架关键监测部位共43点的应变情况,试验结果表明网络系统监测准确、抗干扰能力强、网络配置灵活、测试实时性好、可靠性高。

2 飞行试验智能无线传感网络测试系统总体架构

飞行试验智能无线传感网络测试系统总体架构如图1所示,由机载无线网络数据汇聚装置、子网汇聚节点、分布式测试节点、以太网交换机以及机载无线网络测控软件组成^[3]。该系统可以作为机载网络测试系统(vNET)的

组成部分,其采集的数据通过射频遥测系统(rfNET),到达地面数据管理系统(gNET),最终在地面指挥中心对飞行状态进行分析决策。

分布式测试节点通过传感器对飞机待测部件的运行状态进行感测,将采集数据一方面进行本地存储,另一方面通过无线发送至子网汇聚节点。子网汇聚节点一方面组建子网,响应网络控制命令;另一方面完成网络协议转

化、网络数据包解封、再封装,使之符合 iNET 标准遥测网络系统数据包结构,然后给网络数据包发送至机载无线网络数据汇聚装置。机载无线网络数据汇聚装置通过转发测控命令和系统配置参数,汇聚并存储全网测试数据,同时将测试数据通过以太网交换机传送至机载遥测系统,机载遥测系统将网络数据流发送至地面数据管理系统,完成测试数据的实时显示、分析等。

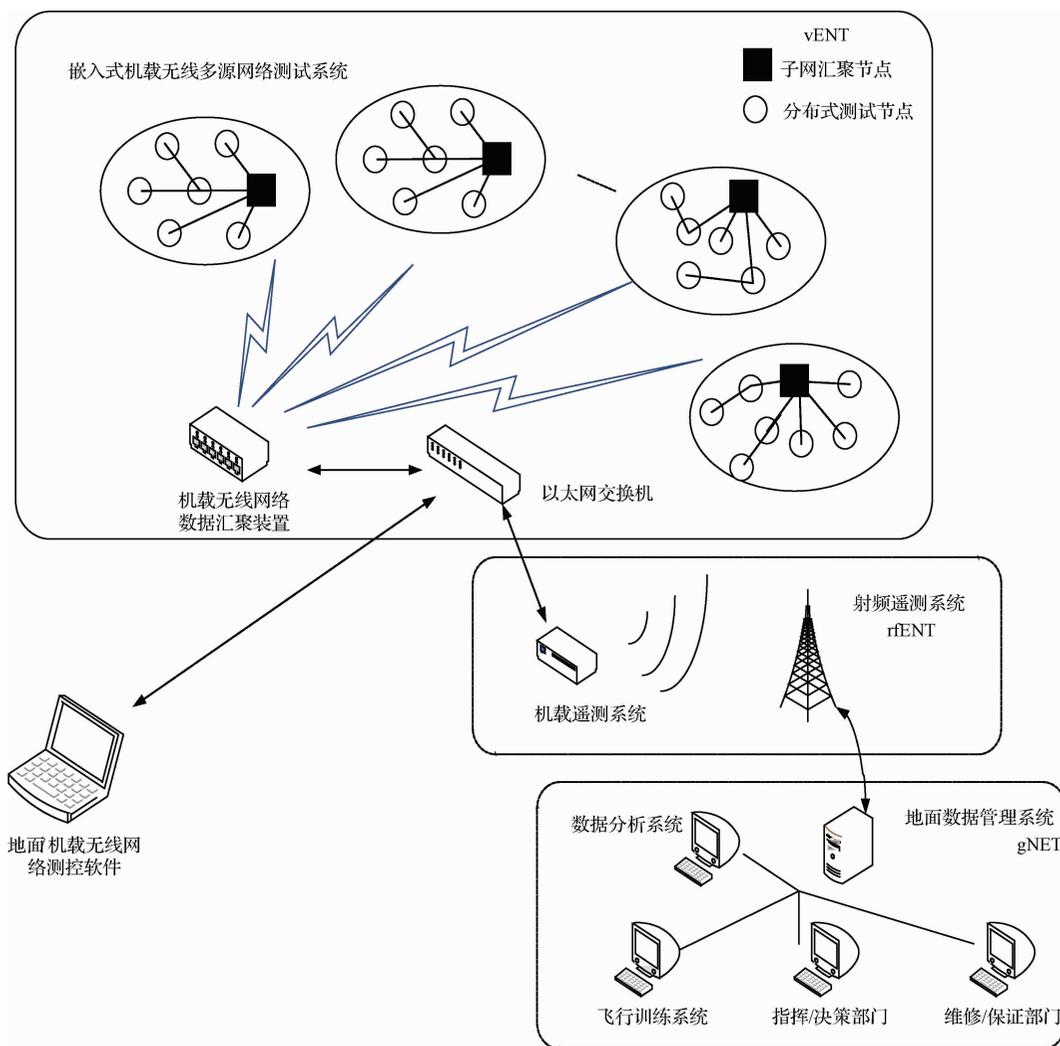


图1 飞行试验智能无线传感网络测试系统架构

3 智能无线传感网络在飞行试验中需解决的关键技术

飞行试验机载测试采用的是远距离测量技术,它是一门综合性很强的系统工程技术,涉及到电子、通信、无线电、计算机、微电子、传感等多门学科。因此,为了将智能无线传感网络更好地应用于飞行试验中,需重点解决以下几个问题:

1)机载无线传感网络测试系统网络时间同步及传输可靠性技术

机载无线传感网络测试系统中存在几百个测试节点,分布在机上不同位置,由于传输时延的累加性,时间同步误差随着无线通信跳点或网络深度的增加而增加,通过分析无线传感网络的链路带宽、时延、随机调度情况等网络数据传输流量和时延的关系,对比多种无线传感网络特点的拥塞检测与控制策略^[4],以均衡多跳次数及传输时间作为自适应流量均衡路由算法的均衡目标,采用基于IEEE1588 PTP时间同步和基于脉冲耦合的离散相位修正法相结合的时间同步方法来解决同步问题^[5]。

机载无线网络测试系统时间同步分为3层,第1层机

载无线网络数据汇聚装置与交换机的主时钟通过 IEEE1588 PTP 协议同步;第2层为机载无线网络数据汇聚与子网汇聚节点之间通过 IEEE1588 PTP 协议同步进行单跳同步;第3层为子网汇聚节点与分布式测试节点之间的时间同步。各测试节点在子网汇聚节点时钟下进行同步,并利用随即耦合离散相位法修正 IEEE1588 多项积累误差,在各分布式测试节点使用随机脉冲耦合达到时间同步周期的相位同步。利用短周期相位同步的结果修正 IEEE1588 时间同步的多跳累积误差,从而达到相对较高的时间同步精度^[6]。整个系统的时间同步流程如图2所示。

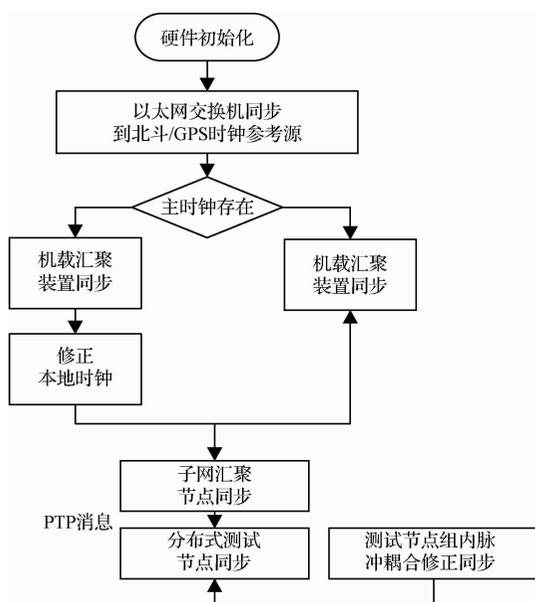


图2 机载无线网络测试系统时间同步流程

2) 机载无线传感网络测试系统数据传输可靠性技术

针对飞行试验测试数据的传输可靠性要求,建立无线传感网络的数据传输校验方法和可靠性传输机制,包括网络丢包率建模与分析;适合飞行试验要求的数据传输校验方法;试飞测试过程中丢包数据的再发送方法等^[7]。

3) 机载无线网络测试系统机载电磁环境适应性技术

机载无线网络测试系统电磁环境适应性设计,主要从无线网络测试系统工作频段选择、冗余设计及节点电磁兼容性设计等几个方面来解决存在的空间电磁干扰、飞机内部电磁干扰及无线网络测试系统内部同频干扰^[8]。首先在频带选择时,避开机载设备较为敏感的频段;其次,如果设备对节点通信较为敏感,则可选择避免在该设备周围部署节点来防止干扰,或者改变节点发射天线方向,避免主瓣对敏感设备的干扰。

4) 机载无线传感网络测试系统网络节点能量拾取技术

机载无线网络测试节点提供3种供电方式,分别是节点电池、机载电源和环境能量获取,每个节点可以根据具

体的测试环境选择其中一种或者几种方式进行使用,同时为其设计综合电源管理模块对供电方式进行选择^[9]。

电池供电是节点的主要供电方式,能够减少线缆连接,保证节点布置的灵活性。机载电源供电主要用于实现数据回收、能耗较大的少量子网汇聚节点和机载无线网络数据汇聚装置。

环境能量获取供电方式就是将存在于机载测试环境中的机械振动能和光能转化为电能,来为节点供电^[10]。由于能量获取模块的输出功率与其工作环境的可获取能量密度紧密相关,因此该方式主要用于能够满足能量获取条件的测试节点。图3所示为能量获取模块包括换能器和能量存储器两部分。其中,换能器主要负责将振动能或光能转化为电能,拟采用的振动能换能器为悬臂梁式压电振动采集装置,如图4所示。

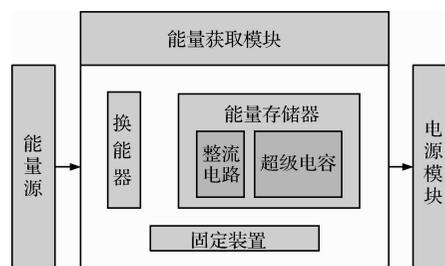


图3 能量获取模块

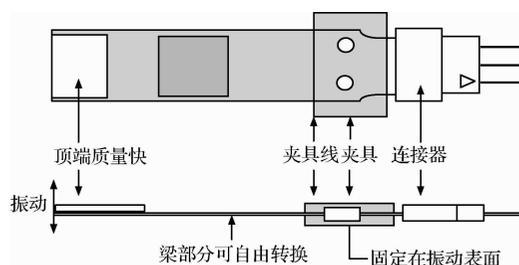


图4 压电振动片结构

电源管理模块主要对采用多种供电方式的节点进行电源选择。电源管理模块默认采用电池供电,当连接了机载电源时,电源管理模块将切换至机载电源供电,并为满足充电条件的电池进行充电。而对采用了环境能量获取方式的节点,只有当能量采集模块中的超级电容存储能量满足节点工作条件时,电源管理电路才切换至能量采集模块供电。通过重复上述逻辑控制,电源管理模块可以实现电池供电与其他两种供电方式之间的切换,实现节点工作时间的最大化。

4 结论

本文结合飞行试验测试需求和机上复杂的试验环境,提出了飞行试验智能无线传感网络测试系统总体构架,并针对智能无线传感网络在飞行试验中应用存在的时间同步、数据可靠性传输及供电等关键技术提出了解决方案。

总之,智能无线传感网络技术能够在不改变现有飞机结构、航电设备等系统的情况下灵活、可靠地用于飞行试验测试,并且所涉及的可选通信频段与飞机试飞系统中常用的C波段、L波段以及S波段可以同时工作,互不干扰。因此,智能无线传感网络技术在飞行器试飞测试领域中有着很好的应用前景。

参考文献

- [1] 何杰,曹一家,黄小庆,等. 基于GSO的无线传感监测网络部署优化研究[J]. 仪器仪表学报,2013,34(11): 2425-2434.
- [2] 郑朝霞. 无线传感器网络节点芯片关键技术的研究与实现[D]. 武汉:华中科技大学,2008.
- [3] 张翠. 无线传感网协议测试平台研究[J]. 国外电子测量技术,2015,34(6):54-57.
- [4] 方如举,王建平,孙伟. 无线传感器网络通信的拥塞控制策略[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(4): 558-567.
- [5] 陈珍萍,李德权,黄友锐,等. 无线传感器网络混合触发一致性时间同步[J]. 仪器仪表学报,2015,36(10):

2193-2199.

- [6] 徐朝农,徐勇军. 无线传感器网络同步误差测量方法[J]. 计算机工程,2011,37(5):115-117.
- [7] 王曙光,王庆升,刘美丽,等. 无线传感器网路安全测评关键技术研究[J]. 电子测量技术,2015,38(5): 93-96.
- [8] 刘珊,安志勇,刘俐,等. 基于电磁感应原理无线传感器联合触发技术研究[J]. 电子测量与仪器学报,2016,30(3):487-492.
- [9] 丁煦,韩江洪,石雷,等. 多基站可充电无线传感器网络建模及优化研究[J]. 电子测量与仪器学报,2015, 29(4):519-530.
- [10] CUI X. Optimal control of oscillation wave energy system using velocity premonition[J]. Instrumentation,2015,2(2):28-32.

作者简介

蒋红娜,1984年出生,硕士研究生,工程师,主要研究方向为机载测试系统传感器研发及校准技术。
E-mail:19024286@qq.com

(上接第54页)

参考文献

- [1] 张曙光. 平台用钻井电机变频控制的建模与仿真研究[D]. 天津:天津大学,2013.
- [2] 张斌斌. 基于STM32的交流异步电机控制系统的设计[D]. 上海:上海交通大学,2015.
- [3] 李琳,努尔扎提,张奇志. 钻机旋转系统的自适应PID控制策略[J]. 石油学报,2011,32(1):158-161.
- [4] 张晓玲,许伯强. 异步电机矢量控制变频调速系统的仿真研究[J]. 电力科学与工程,2010,26(12):24-27.
- [5] 赵志诚,文新宇. 内模控制及其应用[M]. 北京:电子工业出版社,2012.
- [6] 戴文战,丁良,杨爱萍. 内模控制研究进展[J]. 控制工程,2011,18(4):487-494.
- [7] 袁桂丽,刘吉臻,牛玉广. 免疫内模控制及其在过热汽温系统的应用[J]. 电力自动化设备,2010,30(9):

89-92.

- [8] 钱淑渠,武慧虹. 动态多目标免疫算法及其应用[J]. 计算机工程,2012,38(10):171-174.
- [9] 尹忠刚,牛剑博,钟彦儒. 采用免疫算法的感应电机内模控制策略[J]. 中国电机工程学报,2013,33(24): 97-105.
- [10] 陆朱卫,顾怀敏. 基于内模控制的变频调速方案的设计[J]. 电力电子技术,2011,45(11):96-98.

作者简介

王金玉,1972年出生,工学博士,教授,主要研究方向为电力电子与电力传动。

E-mail:wangjydxl@126.com

聂成,1991年出生,硕士在读,主要研究方向为电力电子与电力传动。

E-mail:niecnepu2015@163.com