

机载无线传感网络技术的发展与应用

刘恩朋

(中航工业北京长城航空测控技术研究所, 北京 100022)

摘要:机载无线传感网络技术是一个非常有前途的发展方向。分析了机载无线传感网络技术的国内外发展情况, 以及对该系统的实际需求, 给出了适合我国机载传感网络应用的体系架构, 提出了对我国发展机载无线传感网络技术的几点建议, 这对于我国发展机载无线传感网络技术具有重要的指导意义和参考价值。

关键词:无线传感网络; 体系结构; 机载应用

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8829(2012)09-0001-04

Development and Application of Airborne Wireless Sensor Network Technology

LIU En-peng

(AVIC Beijing Changcheng Aeronautical Measurement and Control Technology Research Institute, Beijing 100022, China)

Abstract: The airborne wireless sensor network technology is a promising developmental aspect. The important aspects are analyzed, such as the domain development, the foreign development, and the requirements for this system. Then the system structure is described for the domain airborne wireless sensor network application. Lastly, the several suggestions are introduced for the development. The guidance meaning and use for reference are supplied for the domain airborne wireless sensor network technology development.

Key words: wireless sensor network; system structure; airborne application

飞机机载系统安装了大量的传感器, 其中一部分用于飞机、发动机及机电系统控制, 另一部分用于监测飞机各子系统及其关键部件的健康状态及故障情况。目前, 这些传感器大多以有线的方式进行连接, 这给飞机系统设计及保障带来了严重的问题, 主要体现如下:

① 飞机系统存在大量的传输线, 因为飞机空间是有限的, 而且布线工程巨大, 严重影响了飞机的设计、安装和调试进度; ② 大量的传输线给飞机系统的维护带来更大的困难, 若某一路出现问题, 需要很长时间才能找到故障源。同时, 减少传输线也能减少重量, 这在“为减轻一克重量而奋斗”的飞机上显得尤为重要。因此, 强烈需求采用一种可靠的无线方式连接飞机系统各个传感器。此外, 目前航空大型地面试验(如航空电子系统综合试验、强度试验、风洞试验等)测控系统均采用有线的方式与传感器连接, 也带来了上述同样问题, 因此在航空大型地面试验测控系统中应用 WSN 技术将是一个很有前途的发展方向。

无线传感网络系统(WSN, wireless sensor networks)是由大量安装在监控区域的智能传感器节点构成的一种网络应用系统。在任意时刻, 节点间通过无线信道连接, 采用单跳(single-hop)/多跳(multi-hop)、对等(peer-to-peer)等通信方式, 使用自组织网络拓扑结构, 能够实现自动组网, 而且能够识别和剔除发生故障的传感器节点, 重新组成可正常工作的传感器网络。传感器节点间具有很强的协同能力, 通过局部的数据采集、预处理以及节点间的数据交换来完成全局任务。无线传感网络节点集成了传感器、处理器、无线通信模块并构成大规模传感网络。网络中节点协作完成数据采集、融合处理、通信发送等任务。作为分布式自治系统, 无线传感网络具有高灵活性、强鲁棒性及高智能度等优点。

无线传感网络作为一种新型的信息获取和处理技术, 综合了传感器、嵌入式计算、分布式信息处理和无线通信技术, 与传统的有线传感网络相比, 具有耗资小、不需布线、安装方便等优点, 非常适合飞机结构、发动机、机电系统等布线困难的场合, 解决了传统有线传感器布线困难、灵活性差、成本高、发生故障难以隔离等实际问题, 为飞机的状态监测系统、健康管理系统等

收稿日期: 2012-03-04

作者简介: 刘恩朋(1961—), 男, 河北人, 研究员, 主要研究方向为航空测控技术。

提供充分可靠的数据。此外,飞机研制对安装故障预测与健康管理系统(PHM, prognostic and health management)系统提出明确要求,飞机势必需要添加相应的传感器以增加信息来源。若采用传统的传感器则会增加飞机的重量和成本,降低测试系统的灵活性和可维护性。因此,采用无线传感网络技术是非常重要的发展方向。

1 国外研究现状

据国外文献报道,以空客公司的 A380 飞机为例,电缆总长度超过 300 mile(482.7 km),主要包括 98000 多条电缆和 40000 多个节点。电缆布线是一项非常复杂、费时的的工作,而且要保证电缆线和信号线达到物理隔离,否则会出现电磁干扰,影响飞机安全,最重要的是电缆发生故障后,故障隔离很困难。据美国海军报道,近 10 年来超过 6 架飞机失事是由于电气故障引起的,至少 78 架飞机是由于电缆故障造成飞机需要大修。另外,由于电缆故障造成 1000 项以上任务没有完成。

以美国海鹰直升机 SH60 为例,针对其控制系统若采用 WSN 技术,在减少其控制系统 50% 电缆的情况下,可以减少重量约为 267 lb(约 121 kg)。在减少重量的同时,不但可以增加武器携带量,也可以降低燃油消耗,增加续航里程。可见通过 WSN 技术减少飞机重量所增加的效益是非常明显的。

基于以上实际情况,美国等西方发达国家充分意识到 WSN 技术的重要性,并进行大量的相关技术研究,取得了较好的应用效果。使用 WSN 技术不但会降低成本、减少飞机重量、降低燃油消耗,而且可以提高飞机的可靠性。

国外 WSN 主要应用情况介绍如下。

(1) 美国 JSF 项目 PHM 中使用的无线传感网络。

为满足 JSF PHM 系统的需求,OST(Oceana Sensor Technology)公司连同 JSF 项目组及其他研究机构研究了可联网的智能传感器节点,用于 JSF 的机上 PHM 系统。所研制的传感器网络包括用于监测振动、状态参数和多个新型智能传感器节点,这些节点可通过无线网络与 JSF PHM 中的发动机区域管理器连接在一起。形成了一个完整的传感网络,通过无线方式连接,大大减少了传输线的布线及调试,减少了维护难度。

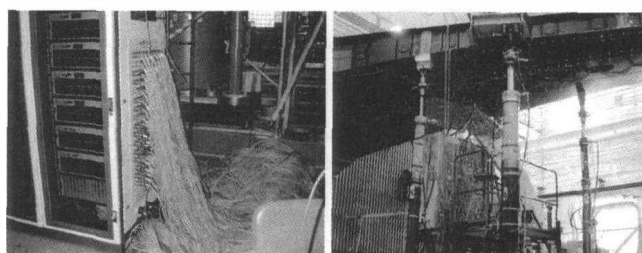
(2) NASA 飞机 WSN 健康管理系统。

美国国家航空航天局(NASA)计划将综合运载器健康管理(IVHM, integrated vehicle health management)中的无线传感网络应用到当前的飞机中。但是,利用当前的技术对飞机进行改进的成本非常高,需要重新布线,很费时间。有线传感器的安装会增加飞机的成

本和重量。而且,线缆会很容易损坏,比如由于受到损耗、过热等影响而产生裂纹、断开或者老化。线缆出现问题会导致巨大的飞机事故和飞机起飞的延误。相反,使用无线系统来改进当前飞机上的传感器是一个更好的选择。一套自适应的无线系统已经被开发和应用用于飞机着陆设备的健康管理中。该系统在应用于 NASA 757 飞机前经过了严格的飞行性能测试。其他的无线传感网络也被开发用来监测飞机发动机的健康,包括商业的和军用的飞机,如 NASA 的超长持续日光飞机。该飞机能持续运行数周至数月,且需要在机翼折叠时精确探测它的形状。当然传感器必须是重量非常轻、功耗很低的。无线传感器支持这些性能,同时能够降低机翼重量。

(3) WSN 在肯尼迪空间中心(KSC)地面测试应用。

NASA 进行的许多试验和测试都需要在测试点安装大量的传感器。目前,几乎所有的传感器都是用线缆和仪器进行连接。如某一项大型试验,需要 446 个压力测量传感器通过标准总线技术和测点相连。安装的时间和成本,以及连接大量线缆的耗时是让人难以承受的。而采用无线传感器技术会极大降低测试的时间和成本。



(a) 需要连接446个箔式压力测量计的总线测试

(b) 机翼盒内无线测点

图1 WSN在肯尼迪空间中心地面测试的应用

(4) 美国海军的“网络传感器系统”。

美国海军最近开展的网络传感器系统 CEC(cooperative engagement capability)是一项革命性的技术。CEC 是一个无线网络,其感知数据是原始的雷达数据。该系统适用于舰船或飞机战斗群携带的电脑进行感知数据的处理。每艘战船不但依赖于自己的雷达,还依靠其他战船或者装载 CEC 的战机来获取感知数据。例如,一艘战船除了从自己的雷达获取数据外,还从舰船战斗群的 20 个以上的雷达中获取数据,也可以从鸟瞰战场的战机上获取数据。空中的传感器负责侦察更大范围的低空目标,这些传感器也是网络中重要的一部分。利用这些数据合成图片具有很高的精度。由于 CEC 可以从多方面探测目标,极大地提高了测量精度。利用 CEC 数据可以准确地击中目标。CEC 还

可以快速而准确地跟踪混乱战争环境中的敌机和导弹,使战船可以击中多个地平线或地平线以上近海面飞行的超声波目标。因此,即使是今天最先进的反舰巡航导弹也会被实时地监测到并被击中。

(5) 分布式传感网络 DSN 及其传感器节点开发。

分布式传感网络 DSN 由于其重要的应用前景,引起了美国政府和国外各科研机构的广泛关注,并投入巨资,设立并启动了许多关于 DSN 的研究计划。比较重要的有: PicoRadio、WINS、Smart Dust、AMPS、SCADDS 等。

PicoRadio 研究组属于 Berkeley 无线研究中心 (Berkeley Wireless Research Center), 他们致力于小体积、低功耗 SoC (System on Chip) 设备以及无线传感网络的研究。为了研发采用 SoC 技术的无线传感网络节点 PicoNode, 2002 年他们设计了 PicoRadio Test Bed 这一研发平台, 它由处理器板、电源板、通信板和传感器板 4 个板块叠加而成。WiseNET 是瑞士 CMES (Swiss Center for Electronics and Microtechnology) 开发的一套无线传感网络节点芯片。Smart Dust 是 1999 年 U. C. Berkeley 在美国国防部委托下开发出的一套无线传感网络节点, 为了减少体积和功耗, Smart Dust 放弃了传统的 RF 通信方式, 而采用光通信作为它的通信方式。同时, 它采用了微机电系统 (MEMS, micro-electro-mechanical systems), 融合了硅微加工、光刻铸造成型 (LIGA) 和精密机械加工等多种微加工技术, 使得它的长度在 5 mm 之内。Smart Dust 采用了 SoC 的方式, 在一个芯片中集成了传感器、处理器、光通信装置等器件, 成功地达到了减小体积、降低功耗的目的, 而这是通用的嵌入式平台所难以达到的。

2 国内研究现状

近 10 年来, 围绕传感网络的基础研究和关键技术研究, 我国已经设立了一系列研究课题, 大力支持这一新生领域的研究工作。其中, 国家自然科学基金委员会的自由探索项目和重点项目批准了诸多课题。而且我国从 2006 年起批准了一系列探索导向项目, 主要资助单项关键技术的研究, 2007 年又设立并批准了一个目标导向项目, 研制下一代节点核心芯片, 2008 年也针对节点芯片制造相关基础研究课题进行立项。

在我国 2006 年初发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》确定的信息技术重点领域和前沿技术中, 明确列出了“传感网络及智能信息系统”重点领域, 两个与无线传感网络的研究直接相关的前沿技术, 即“智能感知技术”和“自组织网络技术”, 被列为优先主题。

中科院计算所于 2003 年底组建了传感网络实验

室, 并得到中科院“百人计划”的择优支持。目前实验室已经拥有一支由多学科高度交叉的较完整的研究队伍, 有研究人员 20 余人, 其中固定研究人员 5 人。

南京航空航天大学智能材料和结构航空重点实验室, 开展了基于飞机强度测试系统的无线传感网络设计和评价技术研究。为了验证基于 AST (飞机压力测试) 系统的 WSN 设计的性能, 为西安飞机强度研究所开发了多点系统, 用于飞机起落架静态测试的演示验证, 并取得了一定成绩。对于 AST 系统测量, WSN 方法明显降低了传输线的数量。据统计, 西安飞机强度研究所使用 WSN 的总成本是目前总线测试系统的近 1/7, WSN 的布线和调试明显优于有线系统, WSN 布线大约 2 h, 而总线系统需要数天的时间。

3 机载无线传感网络系统应用实现架构

无线传感网络系统是由大量的密集部署在监控区域的智能传感器节点构成的一种网络应用系统。在任意时刻, 节点间通过无线信道连接, 自组织网络拓扑结构。传感器节点间具有很强的协同能力, 通过局部的数据采集、预处理以及节点间的数据交换来完成全局任务。无线传感网络节点集成了传感器、处理器、无线通信模块并构成大规模传感网络。网络中节点协作完成数据采集、融合处理、通信发送等任务。

无线传感网络系统的组成如图 2 所示。监测区域中分布着大量的传感器节点, 这些节点以自组织的方式构成网络结构。每个节点既有数据采集又有路由功能, 采集数据经过单跳/多跳传递给汇聚节点, 连接到互联网。网络的任务管理节点对信息进行管理、分类、处理, 最后供用户进行集中处理。网络中节点主要包括传感器节点 (sensor node)、汇聚节点 (sink node) 和管理节点。

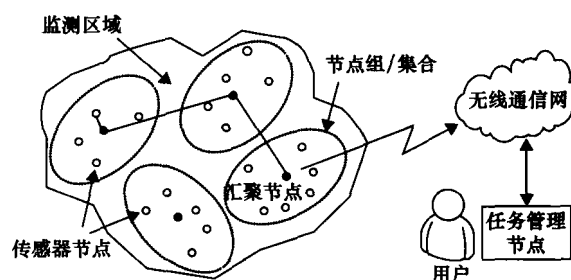


图2 无线传感网络的组成

机载无线传感网络应用系统要求满足机载电磁干扰、振动、高低温及湿热等恶劣环境下应用, 而且要考虑实时性、可靠性、稳定性、安全性及长寿命等要求。机载无线传感网络应用系统总体框架如图 3 所示。

该系统由两大部分组成: 无线传感网络和数据终端。无线传感网络由传感器节点及汇聚节点组成; 数

据终端通过无线接收模块获取无线传感网络的数据,而且还可以完成数据处理、节点数据监测显示、数据上传等功能。

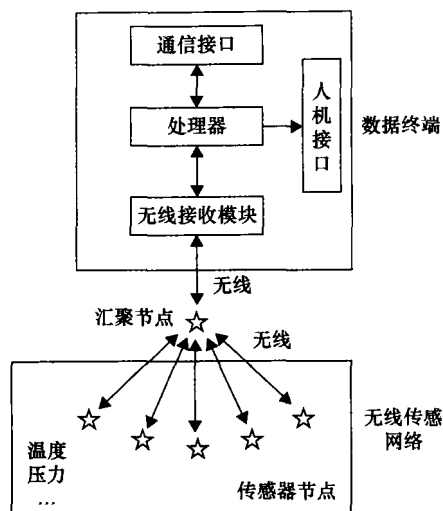


图3 机载无线传感网络应用系统总体框架

传感器节点实现数据采集及传输,采用温度及压力等传感器实现不同信息的采集。在传输数据时采用单跳传输,可以构成星形网络拓扑结构。汇聚节点实现传感器节点信息的汇聚,通过无线接口跟传感器节点和数据终端通信。数据终端能够实现数据接收和数据上传,也可以通过它实现对传感器网络的监测。

4 对我国发展机载无线传感网络技术的几点思考

机载无线传感网络技术是一门应用驱动的综合技术,涉及传感器、无线通信、计算机网络及嵌入式技术等多个学科。为提高我国机载无线传感网络技术的自主创新能力和应用水平,需要从以下几个方面开展工作。

(1) 加强无线网络系统研制能力。

目前,国内无线传感网络的节点模块(如传感器节点、汇聚节点等)研制基本是在购买国外成熟的无线通信模块(如符合 IEEE 802.15.4 标准 ZigBee 协议模块等)基础上,在根据实际需求利用相应的开发工具完成满足具体应用的无线传感网络系统。为了避免国外厂商的限制,国内在无线传感网络硬件设计及软件开发工具方面取得了一定的进展。如中科院研制的 GAINZ 及 GAINZ-EVO 系统产品,配有实时软件开发工具,是一种对网络系统应用进行设计、开发及调试的综合开发工具。

(2) 提高抗电磁干扰模块设计水平。

对于高度表、导航雷达等多种设备工作在不同的频段,频率范围从几 kHz 到几 GHz,必须考虑这些设备

与无线通信模块之间的相互干扰问题。影响无线传感器电磁兼容性的因素主要包括空间电磁干扰、飞机内部电磁干扰及无线传感网络内部干扰(包括互调干扰、邻频干扰、同频干扰等)。应该从无线网络工作频段远离机载设备频段、冗余设计及电磁兼容性设计等几个方面解决机载电磁干扰问题。

(3) 增强恶劣环境下系统应用能力。

机载系统所处的温度、振动环境比较恶劣,在无线传感网络系统设计过程中应严格按照 GJB 要求设计。一般选用耐高温器件及防热设计解决高温对系统造成的影响。防热设计常用的技术措施主要有:应最大限度地利用传导、对流和辐射等简单、可靠的冷却方法,而且尽可能地缩短传热路径,增大导热面积。为使电子设备在冲击振动的环境中正常工作,必须进行减振设计,设计的要点主要是采用隔离振源、避开共振点等方法。

(4) 提高机载无线传感网络设计能力。

针对机载无线传感网络系统而言,对于系统可靠性、稳定性、安全性、实时性及长寿命提出了更高要求。为了提高上述指标,需要在现有无线传感网络技术基础上,在系统冗余设计、容错设计及在恶劣环境下设计等方面继续开展深入研究。

5 结束语

机载无线传感网络技术是一项非常有前途的发展方向。依据国外研究表明,WSN 非常适合于发动机健康管理、结构健康管理、机电系统健康监测(如液压监测管理系统、机舱内环境监测及紧急事件处理系统等)等非直接影响任务安全的系统场合,也可以应用于发动机控制系统及飞行控制系统等直接影响任务安全的系统场合。本文通过对机载无线传感网络技术的国内外发展情况及对该系统的实际需求分析,给出了适合我国机载传感网络应用的体系架构,提出了对我国发展机载无线传感网络技术的几点建议,对于我国发展机载无线传感网络技术具有重要的指导意义和参考价值。

参考文献:

- [1] Yedavalli R K, Belapurkar R K. Application of wireless sensor networks to aircraft control and health management systems[J]. Journal of Control Theory and Application, 2011, 9 (1): 28-33.
- [2] Bai H W, Atiquzzaman M, Lilja D. Wireless sensor network for aircraft health monitoring[A]. Proceedings of the First International Conference on Broadband Networks[C]. 2004.
- [3] 马建仓, 彭锦涛, 张国强, 等. 飞机状态监测无线传感器网络系统[J]. 测控技术, 2009, 28(11).

□