

直升机旋翼无线网络数据采集技术

Wireless Network Data Acquisition Technology of Helicopter Rotor

朱光明 吴承发 段刚 韩玉旺 / 中航工业直升机所

摘要: 探讨最新的无线网络技术在直升机旋翼飞行测试的应用开发, 提供了一个基于现有PCM数据采集器的旋翼无线网络化测试系统方案。

关键词: 试飞测试; 旋翼; PCM; 无线以太网

Keywords: flight test; rotor; PCM; wireless ethernet

0 引言

直升机旋翼系统结构复杂, 相关的操纵控制部件较多。在飞行时, 旋转部件伴随高速旋转和操纵运动, 测量环境十分恶劣, 受气流、离心力、振动、温度等影响非常大, 直升机旋翼系统飞行测试一直是非常棘手的。随着直升机技术发展, 运用了各种新技术的旋翼系统, 其机械结构变化差异较大, 需要研发应用新技术和新方法, 满足新型旋翼系统的飞行测试。

1 旋翼系统测试的特点和传统方法

直升机旋翼系统主要以旋转机械部件为主, 需要测量参数常包括应变、位移、压力、方位角等, 其中动态信号采样率高达数每秒千个采样点, 旋转部件的测量数据要求与机身测量数据时间同步, 测量通道较多, 主桨测量通道一般32~72个以上, 尾桨测量通道一般16~32个以上。每个试飞架次飞行时间较长, 一

般1~2h。试飞测试时要在旋转部件上安装传感器、信号调理器、数据采集器、记录器, 或者把测量数据或信号传输到机舱记录设备, 主要难点和关键技术在于: 给安装在旋转部件上的仪器设备供电; 把测量数据或信号传输到机舱的仪器设备; 旋转部件上测试设备的安装实施和工艺。

选择测量方案受很多因素的影响, 必需多方面权衡, 得出最合适的测量方案。主要考虑的因素包括测量

表5 25° 扭转试验数据表

序号	离心力及扭转角度 (kN/°)	实际扭转应变	标定扭转应变	实际拉应变	理论拉应变
1	34.28/0	0	0	4005	4090
2	34.28/1	95	136	4014	
3	34.28/3	339	409	4020	
4	34.28/5	593	682	4026	
5	34.28/6	722	818	4030	
6	34.28/7	850	955	4034	
7	34.28/8	979	1091	4038	
8	34.28/9	1108	1227	4044	
9	34.28/10	1237	1364	4049	
10	34.28/11	1366	1500	4055	
11	34.28/11.5	1432	1568	4059	
12	34.28/12	1497	1636	4063	
13	34.28/13	1626	1773	4066	
14	34.28/15	1886	2045	4080	
15	34.28/17	2148	2318	4093	
16	34.28/19	2408	2591	4109	
17	34.28/21	2672	2863	4128	
18	34.28/23	2934	3136	4146	
19	34.28/25	3195	3409	4165	

地完成主桨叶、尾桨叶和其他类似构件的拉扭试验。

AST

参考文献

- [1] 王冈, 曹振国. 直升机[M]. 北京: 科学技术出版社, 2005.
- [2] 赵丽. 直升机桨叶静刚度试验方法[Z]. 中国直升机设计研究所, 2009.

作者简介

腾二, 工程师, 主要从事直升机部件、结构件、全机静强度试验研究工作。

陈亮, 工程师, 主要从事静力试验测试与控制技术研究工作。

通道数量和种类、被测旋翼系统的结构、测试设备的重量和尺寸限制、旋翼转速、试验时间、经费预算、测量技术等多方面影响。

1.1 集流环方法

在旋翼结构上安装集流环的常用安装方式有轴心安装、套轴安装和端面安装等三种。在旋转部件上安装集流环，通过滑环和电刷实现测试信号传输、控制、时间同步和供电等问题，可减少安装在旋转部件的测量设备，安全可靠。但集流环的滑环与电刷的接触电阻和旋转时摩擦发热以及热电偶效应等影响会带来干扰信号，电刷寿命限制，给使用维护造成很大不便。

1.2 非接触式传输方法和供电问题

如果受旋翼系统结构限制，无法安装集流环，就必须选择非接触式传输方法。常用方法有无线电调制发射接收、电磁感应耦合线圈变送和数字信号光信号传输。飞行试验时，维护检查简单，系统可靠性高。

对于供电问题，最简单的方式是采用可充电电池供电，电池容量要求较大，如容量/重量比较高的锂电池，还要考虑温度、离心力的影响。如果旋转部件结构允许，可采用电磁耦合感应供电方式，实现交流电能从静止线圈耦合到转子线圈，经整流滤波和稳压得到供电电压。

2 从PCM技术向网络技术发展

传统PCM机载数据采集系统采用IRIG106遥测标准，具有可靠性非常高，精确可靠的时间同步，测量规模可扩展等优势，从20世纪70年代至今，在飞行试验测试领域应用广泛。传统PCM机载数据采集系统采用一主多从的菊花链网络结构，是符合开放

式结构的、确定性的命令/响应通信总线协议，通过同步时钟线使整个测试系统的同步能力，由各数据采集单元构成分布式主从数据采集系统，测量参数数据字在PCM帧的固定位置，PCM数据流按照固定的码速率和帧格式在测试系统中点对点的单向传输数据。近年来为了满足飞机飞行试验快速增长的测试需求，试飞测试工程师们趋向于在原有的PCM测试系统框架上不断添加新的仪器设备和测量子系统，采取集中控制—分布采集的策略，这样做使得PCM帧结构越来越非常复杂，PCM码速率非常高，但数据采集器的码速率受到了原理性的限制，难以提高，一般限制为20Mbps，因此当测试系统规模较大时，不得不产生多条PCM数据流（包括记录数据流、遥测数据流等），使用多个高速数据复合记录设备采集、复合多路高速PCM数据流、航空总线数据流等方法。为满足某些特殊的飞行测试任务，有时还得采用专门的测试设备，除了依靠时间同步外，它们相互独立。测试电缆联接非常复杂而且繁多。这样的测试系统框架使得投入飞行试验的测试设备的成本非常高，试飞测试工程师设计、安装、调试测试系统工作量和

难度也非常大，将严重影响试飞试验效率。

空客A380飞行试验对测试系统数据采集、处理和存储等能力的要求大幅度提高，测试参数多达4万多个，为此他们采用最新以太网网络技术建立全新的机载测试体系架构，开发了专用IENA数据协议，直接推动了机载网络化测试技术的应用和产品开发，从PCM—以太网混合测试架构到全网络化数据采集、记录、处理的基于以太网的全新架构。基于高速百兆/千兆数据交换的全双工以太网的局域网测试系统架构，相对于原分布式主从PCM测试结构，大大提高了测试系统的能力和性能，其优势在于：系统架构更加灵活、连接电缆简单和减少；采集数据共享；通过网络端口对全系统的采集、记录设备加载编程和检查，缩短了飞行试验前准备时间；可集成COTS技术和商业货架产品，极大地减小后续测试系统集成的成本和风险。

3 机载网络化数据采集系统构成

在直升机主桨、尾桨上采集的数据要融合到机舱内的数据采集系统中，进行数据合并、记录、遥测发射，所以旋翼采集系统的方案必须适

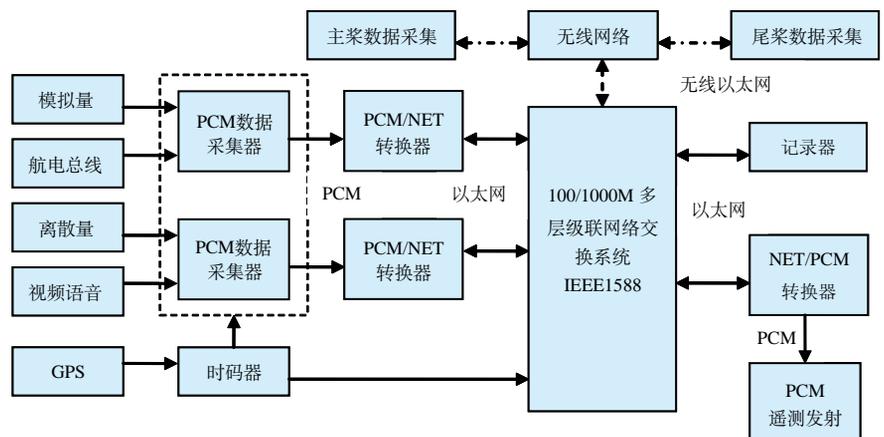


图1 基于PCM网络化机载测试系统架构图

应机身数据采集系统构架,机载测试系统向网络化发展和应用,使得无线网络技术顺理成章地被研究和开发应用于旋翼数据采集。

3.1 网络数据传输协议

网络数据传输采用IEEE 802.3 以太网标准和IP/UDP传输协议,以及简单网络管理协议(SNMP)。以太网的数据是通过传输控制协议/通用自寻址数据包协议,即TCP/UDP,来传输的。TCP中包含有效数据,同时添加了很多附带信息,如数据包的发送时间、传输路径等。TCP被设计为可应用在“遗失网络”。在这种环境下,数据可能会丢失,连接会消失,目标地址可以没有响应。它允许缓存数据包,并打乱发送次序,或者在需要的时候重新发送。TCP对飞行试验数据采集来说并不是一个很好的协议。更适合飞行试验数据采集的协议是:通用自寻址数据包协议,即UDP。这是一种简单的“发送后不管”的协议。TCP和UDP都使用因特网协议,即IP,它定义了数据从何处来,将去向何处。它允许以独一无二的32位地址定义数据源,并允许数据传送到单独的目的地,也可在整个网络上广播,传送到多个目的地。

传统的PCM数据采集器是以PCM帧结构码流传输数据,而在以太网中是以数据包的形式传递数据。数据包中含有PCM子帧中的数据(包括同步字和子帧识别字),还有一些协议头文件,头文件用于确认数据源和目的地。关键是如何定义和将PCM帧转化为一个以太网数据包。必须仔细考虑一下问题:发往不同目的地的数据应封装在不同数据包内;关键参数应封装在短小且能定时传送的数据包内;非关键参数可以放在一个数据包内,采样周期结束时一起发送;数据传输延迟很重要,参数从采样以及到达目的地的时间,取决于数据包的大小,以及包内所有数据准备齐全所需的等待时间。

3.2 基于PCM采集器的网络化测试系统的架构

随着现代及将来新一代新研直升机将采用许多先进设计和制造技术,飞行试验要求测量的参数也大量地增加,对飞行试验测试仪器系统的配套、集成和应用难度也大大增加了,原有的PCM主从结构的机载数据采集系统,存在各种应用问题,例如,总数据传输速率出现瓶颈;测试系统配置调试和使用维护也相当困难;测试电缆联接非常复杂而且繁多;给数据处理带来很大的麻烦;在线实时处理系统实现起来更复杂;与第三方测量专用仪器设备接口限制;测试系统成本将非常大等。

目前要求在现有传统PCM数据采集、记录、遥测仪器设备的基础上,集成开发新的基于PCM和网络混合结构的直升

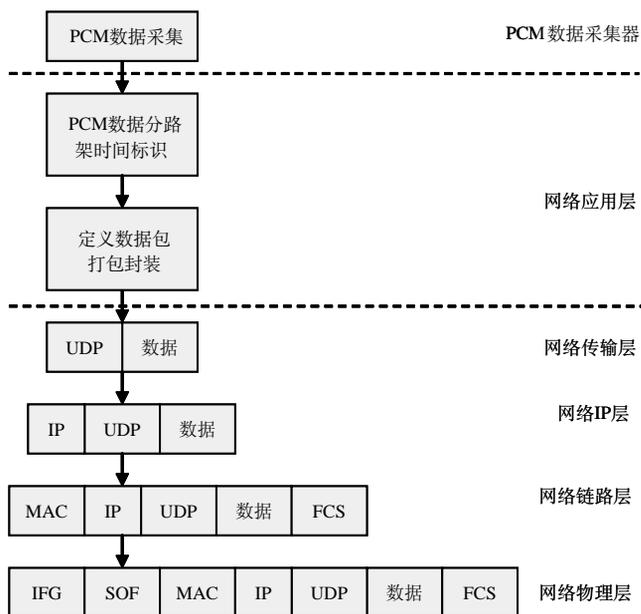


图2 网络数据传输

机机载试飞测试技术架构(图1),即可满足近5年的直升机型号试飞要求和任务,又能逐步平稳过渡到建立全新一代网络化直升机试飞测试体系架构。

传统PCM数据采集器DAU采集来自传感器、模拟量信号、离散量开关脉冲信号、视频信号、航空总线等数据,输出PCM码数据流。PCM/NET转换器为PCM数据采集器网络与交换机接口,实现PCM数据按网络数据协议打包发送。GPS接收机、时码发生器为PCM数据采集器和网络交换系统提供GPS时间基准和同步时间。NET/PCM数据转换器把网络数据包转换为PCM码数据流输出传统PCM遥测发射机。主桨和尾桨采集数据通过无线网络与机体网络数据交换系统融合。

网络时间同步使用IEEE 1588 精确时间协议(PTP),同步时间精度达纳秒级。数据采集到传输发送通过在应用层对采集数据打包,并附加时间标示、序列号、数据源标志,以流的形式发送(图2)。

3.3 旋翼无线网络化数据采集技术和系统组成

目前有很多无线网络技术和标准,主要有蓝牙Bluetooth 802.15,无线局域网WLAN 802.11a/g、802.11n、802.11b/e, WiMax 802.16等(图3)。在飞行测试主要应用领域有无线传感器网络、数据采集网络、遥测网络等,对于旋翼无线网络数据采集,可靠、安全是第一位的,还要便于安装、检查和维护。

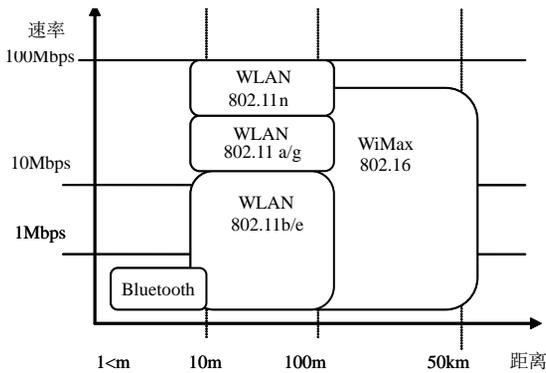
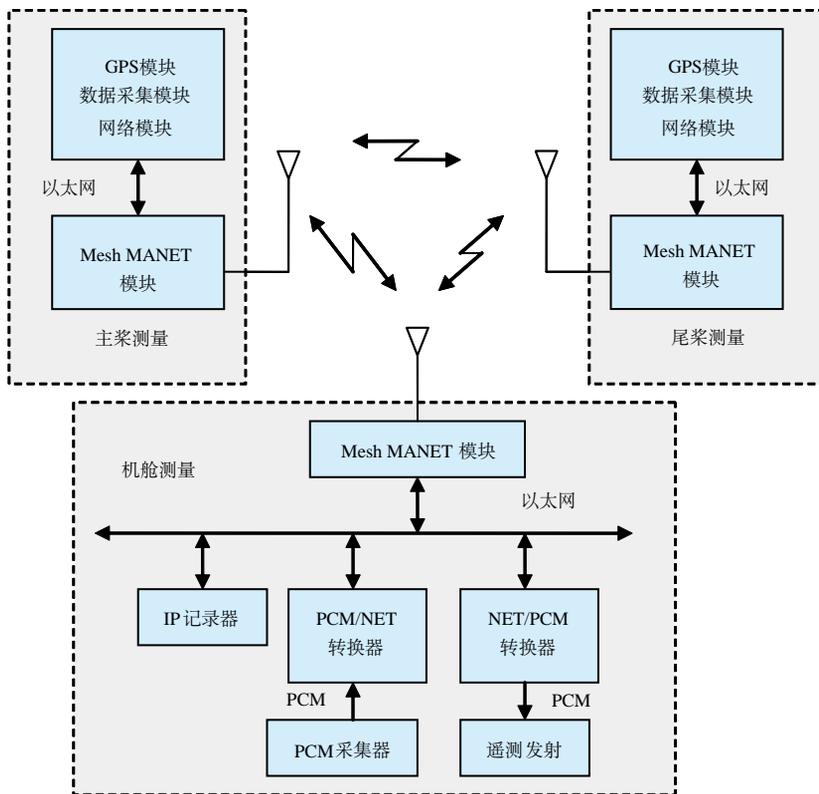


图3 几种无线网络速率距离比较(上)

图4 无线网络测试系统框图(下)



Mesh MANET (Mobile Ad-Hoc Network) 无线网络技术在旋翼无线网络化数据采集系统开发应用有很多技术优势。它是一种多点对多点的对等网络拓扑结构,设备之间通过多个链路、选择最佳路径进行数据传输,依照IEEE 802.11a/g无线网络标准协议,Mobile Ad-Hoc网络是用于能够临时快速自组织的移动网络,是一种动态对等路由、自维护、自组织、自修复的网络,可以采用这种技术构建主桨、

尾桨、机身数据采集系统网络双向通信的无线网络。

Mesh MANET (Mobile Ad-Hoc Network) 无线网络技术在旋翼无线网络化数据采集系统构建的一个方案如图4所示。MANET系统接入网络时,即插即用,速率可达30Mbps,在链路层数据加密,采用AES-256加密算法,采用商业成熟技术,风险和费用低。在旋翼系统数据采集时采用GPS时间基准和同步时间,在数据包中打上时间戳。

4 结束语

如果机舱的PCM数据采集系统中配有以太网数据包采集模块,可以侦听无线网络数据,捕获主桨、尾桨无线网络传输的数据包,原有的机载PCM数据采集系统方案全部照搬不变。还有,Mesh MANET (Mobile Ad-Hoc Network) 无线网络是为长距离、临时快速动态组网设计的,数据速率30Mbps,通信路由速度快、准确,可开展机载数据采集、发射到地面站的无线网络遥测技术研究。 AST

参考文献

- [1] Abadie. A380 IENA flight test installation architecture[Z]. ETTC, 2005.
- [2] Sweeney P. Why change from PCM: case study of the Airbus A380 ethernet based data acquisition network[Z]. ETTC, 2005.
- [3] 朱光明,等.大型飞机飞行试验机载测试系统总体框架[C].中国航空学会学术年会,2007.
- [4] 王燕山,等.以太网时间同步技术的研究进展及其应用[J].测控技术,2007(4).
- [5] 朱光明,等.直升机旋转部件测试技术[Z].内部技术交流,2010.
- [6] 朱光明,等.直升机试飞机载测试系统网络结构[C].第二十七届全国直升机年会,2011.
- [7] Cranley N. Wireless ethernet in FTI[C]. ACRA机载测试技术交流文集,2012.

作者简介

朱光明,硕士,研究员,主要从事直升机飞行测试研究工作。