

空中飞行试验台新型网络化测试系统设计

左泽敏*, 段小维, 王朝蓬

中国飞行试验研究院, 陕西 西安, 710089

摘要: 随着航空科学技术的发展, 空中飞行试验台的试验参数呈几何级增长, 基于脉冲编码调制 (PCM) 架构的空中飞行试验台测试系统已不能满足不断增长的测量参数要求, 需重新设计空中飞行试验台测试系统。本文分析了PCM架构测试系统的特点, 并基于成熟的网络化数据采集技术, 设计了空中飞行试验台新型网络化测试系统, 并详述了构成测试系统的各个子系统。同时, 分析了新型网络化测试系统的优势以及新老测试系统的数据延迟问题。实际应用表明, 新型网络化测试系统能够满足目前的测试要求。

关键词: 飞行试验台; 脉冲编码调制; 网络化; 测试系统

中图分类号: V243.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2016) 04-0050-04

空中飞行试验台是在真实飞行环境下用于考核被试航空发动机的试验平台, 其测试系统不仅需要对被试航空发动机的各项参数进行测量, 同时, 需对飞行试验平台及被试航空发动机的大量负载系统等大量参数进行测量。而随着航空发动机技术的发展, 要求的测量参数数量也在不断增加, 且种类繁多, 对空中飞行试验台测试系统的能力提出了更高的要求。

某空中飞行试验台测试系统以往一直采用脉冲编码调制 (PCM) 架构作为数据转输和记录的标准手段。PCM具有稳定性和可靠性等方面的优势, 但由于PCM传输数据量小 (仅为20Mbps), 不能满足目前空中飞行试验台大量数据传输的需求; 且PCM帧结构的格式设计, 使得其在快采和慢采参数同时采集记录无能为力, 只能依靠单独的专用采集设备进行采集记录, 增加了测试系统的复杂性。后来, 针对参数数据量的增多, 开发了PCM通过软件分路转输技术和多路PCM流同时采集记录的技术, 但仍是针对PCM传输带宽小且帧结构数据同步方面所做的优化, 未能从根本上解决数据量越来越大所引发的一系列问题^[1]。目前, 国际上先进的航空测试系统采用网络化数据采集转输技术, 与PCM架构测试系统相比, 其在采集参数的数量、数据流带宽、数据采集的同步性、数据传输接口的独立性方面都占有巨大优势^[2-6]。空客A380及波音787客机均采用网络化数据测试系统为其试飞试验进行服务。

根据相关任务需求, 本文首先介绍了某空中飞行试验

台测试系统的要求; 其次, 根据网络化测试技术, 搭建了某空中飞行试验台测试系统, 并对测试系统中各个子系统进行分析说明; 最后, 该测试系统成功应用于飞行试验台, 并进行了被试航空发动机的飞行试验。

1 基于PCM的测试系统

在以往的机载测试系统中, 大部分均采用基于传统PCM架构的测试系统, 如图1所示。采集系统采用主从采集器结构, 由主采集器接IRIG时间信号, 同时按照帧结构中的参数位置发送指令, 使得各从采集器对相关稳态信号的参数进行同步采集, 并发送到主采集器的DAU, 并按帧结构填充数据, 待数据完成填充后, 由主采集器DAU发送至机载记录系统和机载遥测系统, 机载记录系统进行记录储存, 机载遥测系统将数据通过遥测设备转发至地面接收设备, 从而

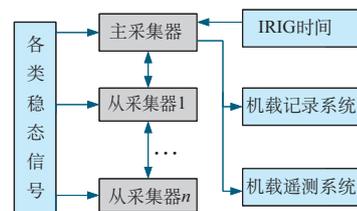


图1 PCM架构测试系统框图

Fig.1 PCM acquisition system schematic

收稿日期: 2015-12-13; 录用日期: 2015-12-29

*通讯作者. Tel.: 029-86836496 E-mail: zuozemin@qq.com

引用格式: ZUO Zemin, DUAN Xiaowei, WANG Zhaopeng. Flight test platform new network test system design[J]. Aeronautical science & Technology, 2016, 27(04): 50-53. 左泽敏, 段小维, 王朝蓬. 空中飞行试验台新型网络化测试系统设计[J]. 航空科学技术, 2016, 27(04): 50-53.

完成试验数据的采集、存储和监控。

由于PCM信号在传输过程中会出现衰减和失真,变得很难识别,所以,在长距离传输过程中,必须在一定距离内对PCM信号进行再生,需要对失真的PCM信号进行均衡放大,再加入定时电路进行识别再生后进行输出。因此,基于PCM架构的机载测试系统在传输距离上存在限制,一般电缆长度小于15m。同时,PCM信号传输采用同轴电缆,其抗干扰能力有限,无法用于强干扰电磁环境中。

单路PCM数据由于受到数据带宽的限制(最大值为2Mbps),当测试参数需要增加时,可通过多路PCM流融合进行数据采集。但随着新型试验机试飞需求的变化及新技术的发展,试验机需测量的参数呈现几何级增长,PCM架构测试系统已经很难实现同时对所有参数进行采集。

作为飞行试验的空中试验平台,需要测量的参数数量多,并具有信号类型多、信号传输距离长、传感器分布范围广、试飞持续时间长、采样率差别大、数据存储量大等特点。同时,对实时监控提出了动态参数监控的要求。因此,原PCM架构测试系统已不能满足现在的测试要求,需重新设计空中飞行试验台的测试系统,并需要具有良好的兼容性和可扩展性,保证未来一段时间内满足被测对象的要求。针对以上需求,我们采用了基于网络的机载测试系统。

2 基于网络的测试系统设计

基于网络数据的测试系统,通过网络数据采集器形成的数据以网络数据包的形式广播发送至IE1588核心交换机,再由交换机转发至机载记录系统、机载遥测系统和机载监控系统,机载实时监控系统将GPS时间信号接入核心交换机,由核心交换机发布PTP时钟信息实现各采集设备时间的统一,搭建的网络数据测试系统如图2所示,分别由传感器及调理系统、数据采集系统、机载实时系统、机载实时监控系统和数据记录系统。

记录系统5个子系统组成。该新型测试系统已成功应用于实际飞行试验中。

2.1 网络化数据采集系统

此数据采集系统采用了法国ZDS公司的UMA2000网络采集器。该采集器采用了ADSL技术,可以用IRIG106-1或ETHERNET方式输出,内部总线采用ISB总线,速度大于400Mbps,同时兼容PCM数据格式输出。该采集器可以相互独立,也可以作为主从结构,各自产生所采集的数据包,按要求进行广播发送。目前,已成功应用于民用或军用飞机飞行试验的数据采集系统。

网络化数据采集器,采用开放的工业标准,适用于所有IT领域,具有高可靠性、易于获取、便于使用、成本低廉、维护和升级简单方便、传输距离没有限制等特点。PCM架构采集系统中数据的采集到发送之间存在一个串行的链路;而以太网以数据包形式发送数据,设备之间连接简单,系统之间仅需超五类线连接进行数据交换传输,抗干扰能力强,设备配套灵活,不需要专用的加载设备。数据参数增加也不受限制,其可以直接通过增加交换机和相应的采集设备进行数据采集,不影响原系统配置。参数采样率可以按需求设置,不受帧结构和其他参数影响,可以进行动态参数数据采集,各个采集节点之间可以实现数据共享,这都是PCM采集系统无法做到的。这些优点能满足空中飞行试验台新一代测试系统的飞行试验海量数据传输、系统高精时间同步、高效飞行试验的要求。

2.2 机载实时系统

实时系统通过GPS天线接收GPS时间信息,GPS时间信息经机载时码发生器处理后转发至IE1588核心网络交换机,IE1588交换机从中提取时间信号,并以网络包的形式在固定的间隔时间内发送至各采集器设备,以保证数据采集同步性,同步精度达到纳秒(50ns以内),可满足各稳态参数和动态参数采集的同步性;若GPS时钟信号丢失,IE1588核

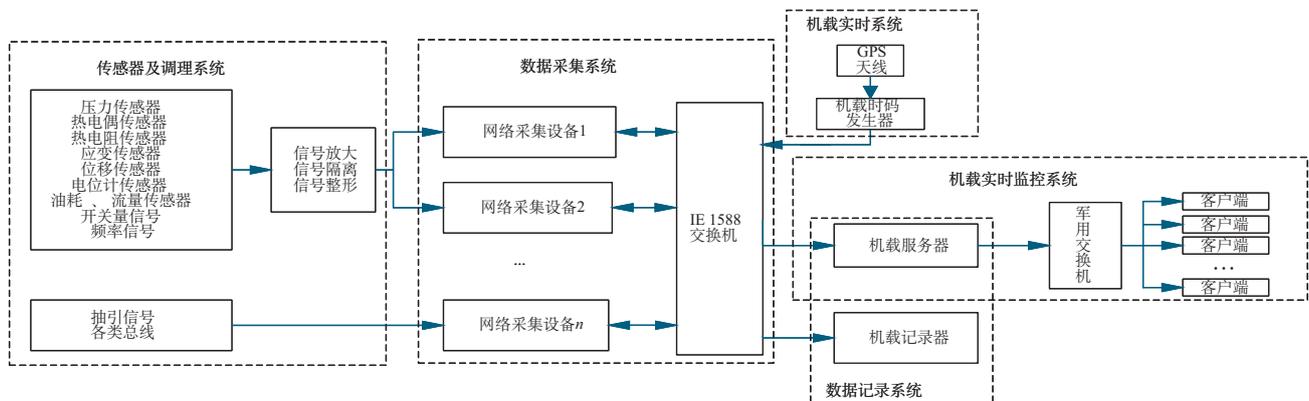


图2 机载网络数据测试系统

Fig.2 Airborne network data test system

心交换机内部时钟启动时间源以满足与其相连接的采集设备数据的同步性;同时,机载时码发生器可将时间信号发送至其他需要时间信息的相关设备。

为解决分散式测试系统的时间统一的关键问题,在该系统中,以GPS时间为基准时间,采用了高精度秒脉冲结合以太网的时统方式。时码发生器获得GPS时间及高精度的1PPS(1s周期的脉冲信号),GPS时间经营管理计算机广播给各分布前端采集器,同时1PPS信号经分路后进入各前端采集器,作为终端触发信号,然后以获得的广播时间修正各自的累积时间。该时统方式满足了试飞测试的时间精度要求。

2.3 机载实时监控系统

空中飞行试验台机载实时监控系统要求实现飞机平台状态参数、被试对象工作状态参数、各项负载系统等稳态参数以及被试对象振动、脉动等动态参数进行监控。基于网络数据的机载实时监控系统,可以通过网络包提取任何感兴趣的参数,然后进行分析、计算和显示等工作。空中飞行试验台机载监控系统由机载服务器和相应的客户端组成,从网络数据中提出稳态参数(温度、压力、转速等参数),并将计算机码值转换为物理量,再进行组包转发至各客户端。对于动态参数的数据,直接将动态数据进行网络转发,再由客户端分析软件对动态参数进行相关计算分析、临界值告警、动态画面显示等。这样可以使整个监控系统资源分配均衡,保证系统正常运行。

机载服务器将区别以往监控系统,主要是基于网络的采集系统,可以同时进行动态参数和稳态参数监控,而动态数据量采样率大,产生的数据量也很大,以PCM架构的测试系统存在带宽小的缺陷,无法实现动态、稳态参数同时监控。

2.4 其他子系统

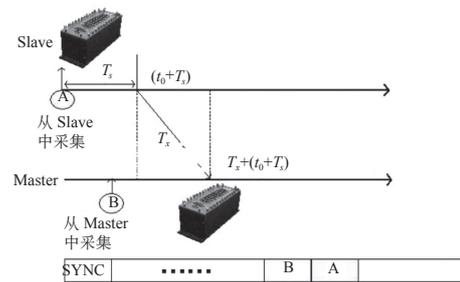
传感器及调理器系统包括传感器和信号调理器,传感器完成信号的物理量到电信号的转换,调理器实现信号的隔离、阻抗匹配、信号放大、转换、整形等,以满足采集系统进行采集。

机载记录系统包括机载服务器和机载记录器,机载服务器在承担数据包处理的同时,还对所有的数据进行记录、存储和回放。机载记录器对网络数据包进行记录、备份,以便于试飞试验结束后的数据的卸载和处理。

3 数据时间延迟比较

在传统的PCM采集系统中,参数的延迟(从采样到放入PCM帧的时间)是确定的有界的。基于PCM的传统采集系统,主辅采集器接口都是同步的(采样时)、一致的(传输过程中)。如图3所示,PCM采集系统中的参数A在 t_0 时刻采样,由于采样同时进行,经过一个可以确定的时间间隔 T_s 后,

参数A进行传输,数据由辅DAU向主DAU发送,传输时间是确定的,为 T_x (约3~4ms)。那么需要保证辅DAU的数据传输至主DAU,并且放入PCM帧中的最短时间为 (T_x+T_s) ,才能保证数据及时传输以及其他同时采样数据的一致性。



注:当 $t > t_0 + T_s$ 时,将数据A置入PCM,将 $T_x + T_s$,A为已知且为常值

图3 PCM采集系统主/辅采数据传输时间延迟

Fig.3 The data transmission time delay between master collector and slave collector of PCM acquisition system

网络数据采集系统中各个采集设备节点之间的时间同步依靠IEEE1588协议,通常也称为PTP精密时钟协议,PTP是IEEE1588-2002标准中定义的网络协议,用于在网络中发布精确的时间同步信息,各采集设备同步时间优于100ns的同步精度。网络测试系统生成的数据可以按要求生成含有参数的各个数据包,数据包生成过程如图4所示,物理参数经采集转换成IENA参数后,插入IENA键值和时间信息,再加UDP包头和包尾进行广播发送。因此,数据延迟主要是采集时间与键插入时间差 Δt ,这个时间差小于0.01ms,再加各个节点之间的同步差值,各参数的最大延迟时间为不大于 $100\text{ns} + T$,比PCM的数据延迟更具优势。

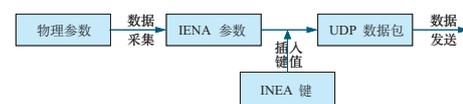


图4 网络数据包生成过程

Fig.4 Network packet generation process

4 结论

本文通过对PCM架构测试系统分析,设计了某空中飞行试验台网络化测试系统,并得到如下结论:

(1) 基于PCM架构测试系统已不能满足某空中飞行试验台飞行试验测试需求的发展;

(2) 较传统的PCM架构测试系统,网络化数据采集系统扩展性好,数据融合更方便,配置更为灵活,数据传输抗干扰能力强。网络化测试系统能实现高频参数实时采集和传输,利于在线实时监控,适用于需进行海量数据实时监控的飞行试验台;

(3) 比较了2种结构的测试系统的数据同步延迟时间大小,可以得出基于网络采集的数据延迟更优于PCM架构测

试系统。

AST

参考文献

- [1] 张小敏,王峰,贺敬,等.机载测试系统发展与应用研究[J].中国科技信息,2009,9:22-24.
ZHANG Xiaomin, WANG Feng, HE Jing, et al. Airborne test system development and application [J]. China Science and Technology Information, 2009, 9:22-24. (in Chinese)
- [2] 白效贤.基于网络的试飞机载测试系统及其应用[J].测控技术, 2004,23(2):4-5.
BAI Xiaoxian. The flight test of airborne testing system based on network and its application [J]. Measurement & Control Technology, 2004, 23(2):4-5. (in Chinese)
- [3] 赵伟,张小牛,孟浩文.网络化测量技术与仪器发展的新趋势[J].电测与仪表,2000,37(415):5-9.
ZHAO Wei, ZHANG Xiaoni, MENG Haowen. The new trend of developing the networked measurement technique and instrument [J]. Electrical measurement & instrumentation, 2000,37(415):5-9. (in Chinese)
- [4] 苗卓广,杨坤,王海涛,等.某型航空发动机自动测试系统研制[J].空军工程大学学报,2010,11(2):24-28.
MIAO Zhuoguang, YANG Kun, WANG Haitao, et al. An aeroengine automatic test system development [J]. Journal of Air

Force Engineering University, 2010,11(2):24-28. (in Chinese)

- [5] 李继容,鲍芳,李凯.基于以太网的网络测试系统的应用与研究[J].广东工业大学学报,2003,20(2):35-37.
LI Jirong, BAO Fang, LI Kai. Research on network measurement system based on Ethernet and its applications [J]. Journal of Guangdong University of Technology, 2003, 20(2):35-37. (in Chinese)
- [6] 刘斌,俞坚.基于网络的机载分布式数据系统[J].测控技术, 2007,26(4):18-20.
LIU Bin, YU Jian. The airborne distributed data system based on network [J]. Measurement & Control Technology, 2007, 26(4):18-20. (in Chinese)

作者简介

左泽敏(1985—)男,硕士,工程师。主要研究方向:航空发动机飞行试验测试技术。

Tel: 029-86836496 E-mail: zuozemin@qq.com

段小维(1985—)女,硕士,工程师。主要研究方向:航空发动机飞行试验电气系统设计技术。

Tel: 029-86836496 E-mail: 58684359@qq.com

王朝蓬(1984—)男,硕士,工程师。主要研究方向:航空发动机性能确定飞行试验技术。

Tel:029-86839279 E-mail: wangzhaopeng_@126.com

Flight Test Platform New Network Test System Design

ZUO Zemin*, DUAN Xiaowei, WANG Zhaopeng

Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China

Abstract: With the development of aviation science and technology, test parameter of the flight test platform exponential growth, test system of flight test platform based on the PCM architecture is unable to meet the growing requirements of the measurement parameter, it need to be redesigned. The paper analyzed the characteristics of PCM architecture test system, and the new network flight test system was designed based on mature network acquisition technology, and detail the subsystems of the new network test system. At the same time, analyzed on the advantages of the new network test system, and the old and new test systems were discussed in the data latency issues. Practical application shows that the new networked test system can meet the current test requirements.

Key Words: flight test platform; PCM; network; test system

Received: 2015-12-13; Accepted: 2015-12-29

*Corresponding author. Tel. : 029-86836496 E-mail: zuozemin@qq.com