

航空发动机试验多系统数据融合设计

文维阳, 陈震宇

(中国航发沈阳发动机研究所, 沈阳 110015)

摘要: 航空发动机试验在其研制过程中占比很大。在试验时, 各专业系统将相关信息资源共享, 协同工作。为了满足航空发动机地面试验时多系统试验信息共享的需求, 对与发动机试验相关的台架测试、台架电气、发动机控制、试验流程管理、试验数据管理、远程监视、音视频等系统进行了数据融合设计。该设计以试验数据管理技术和网络通讯技术为核心, 针对各系统通讯协议、格式、速率各不相同的数据流传输特点, 采用 Winsock、DataSocket、OPC、音视频流媒体及数据库通讯等多种数据通讯技术, 实现了发动机试验多系统数据融合统一管理。结果表明: 该设计具有系统适用性强、搜集试验信息全、易于数据管理等特点, 可满足试验技术要求, 已保障多种型号发动机完成试验。

关键词: 数据管理; 网络通讯; 数据融合; 地面试验; 航空发动机

中图分类号: V239

文献标识码: A

doi: 10.13477/j.cnki.aeroengine.2023.02.018

Design of Multi-system Data Fusion in Aeroengine Test

WEN Wei-yang, CHEN Zhen-yu

(AECC Shenyang Engine Research Institute, Shenyang 110015, China)

Abstract: Aeroengine test plays an important role in its development process. During tests, various systems need to share test-related information and work cooperatively. In order to meet the requirement of multi-system test information sharing during aeroengine ground test, data fusion design was introduced for engine test-related systems including instrumentation system, electrical system, engine control system, test procedure management system, test data management system, remote monitoring system, audio and video system, etc. The design was based on test data management and network communication technology, according to the characteristics of data stream transmission of different communication protocols, formats, and rates, a variety of data communication technologies were adopted, such as Winsock, DataSocket, OPC, audio and video streaming media, and database communication technology to achieve unified management of engine test multi-system data fusion. The results show that the design has the characteristics of strong system applicability, comprehensive test information collection, and easy data management, which can meet the technical requirements of test. The design has guaranteed the completion of test for various types of engines.

Key words: data management; network communication; data fusion; ground test; aeroengine

0 引言

航空发动机技术是涉及多学科和多工程领域的 1 项复杂的技术, 其试验贯穿整个研制过程和技术发展的各环节。在发动机地面试验时, 涉及到试车台上多系统协调工作^[1]。随着发动机型号不断增加和研制的深入, 试验的复杂性也随之增加, 参与试验的系统越来越多, 信息化程度越来越高。这些系统都成为试验的主要数据源, 导致了试验数据量剧增。数据源

的多样化导致了试验数据类型的多样化, 数据类型除了传统的结构化数据外, 还产生了文档、图片、视频、音频等非结构化数据。为了能够全面、准确地监视发动机状态、控制试验进度、分析试验数据, 需要对各系统进行数据融合, 实现数据共享, 最终实现对试车台上的试验设备、试验流程、试验数据的统一管理^[2]。

数据融合的概念始于 20 世纪 70 年代, 进入 90 年代后, 随着传感器技术的迅速发展以及军事领域的强烈需求, 数据融合引起了广泛重视。近些年世界范围

收稿日期: 2020-12-15 基金项目: 航空动力基础研究项目资助

作者简介: 文维阳 (1981), 男, 硕士, 工程师。

引用格式: 文维阳, 陈震宇. 航空发动机试验多系统数据融合设计[J]. 航空发动机, 2023, 49(2): 143-148. WEN Weiyang, CHEN Zhenyu. Design of multi-system data fusion in aeroengine test[J]. Aeroengine, 2023, 49(2): 143-148.

内对其普遍关注,并在一些重大研究项目上取得了突破性进展,该技术不断应用到各行各业中,包括复杂工业过程控制、机器人、自动目标识别、交通管制、惯性导航、海洋监视和管理、农业、遥感、医疗诊断、图像处理、模式识别等领域。目前世界各国纷纷开展此项技术的研究与应用。Zervas等^[3]开展了多方面的数据融合理论与应用研究;Li等^[4]从融合理论、融合架构、多传感数据融合等方面进行研究,并应用于军事领域。中国的数据融合技术虽然起步较晚,但在各种基金的资助下,一批高校和研究所开始广泛开展相关研究,取得了一大批理论研究成果。如刘同明等^[5]在多传感器数据融合、数据融合结构与算法等方面进行了研究;罗俊海等^[6]在信息融合理论、应用、传感器管理等方面进行了研究。以上研究仅限于结构化数据的融合,对于文档、图片、视频、音频等非结构化数据的融合存在数据融合度低、缺乏统一管理、结构化数据与非结构化数据综合利用率低等不足。

本文以数据融合理念为核心,采用数据管理技术及网络数据通讯技术进行了多信息源的融合,为航空发动机的地面试验提供了技术保障。

1 通讯协议设计

与发动机试验相关的系统一般包括台架测试系统、台架电气系统、发动机控制系统、试验流程管理系统、试验数据管理系统、远程监视系统、音视频系统等。各系统的融合管理是以测试系统及数据库服务器为核心,通过多种通讯协议来实现数据通讯。根据不同的硬件设备属性及软件开发平台,应用到的通讯协议主要有:TCP/IP、UDP、OPC、ONVIF、RTP/RTSP、TDS等。多系统融合数据流传输方式如图1所示。

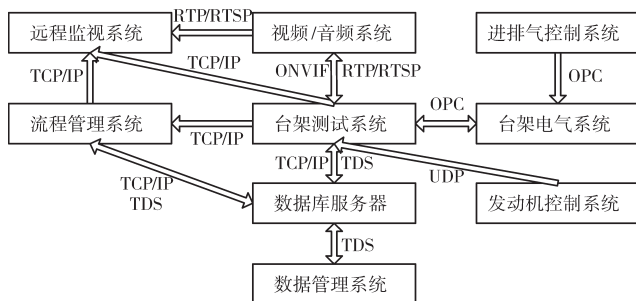


图1 多系统融合数据流传输方式

传输控制协议/网际协议(Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP)及用户数据报协议

(User Datagram Protocol, UDP)用于试验数据的数据通讯,主要采用Winsock和DataSocket 2种通讯控件来实现一对一、一对多、多对多的通讯。如台架测试系统与流程管理系统的数据通讯、台架测试系统与数据库服务器的数据通讯均采用此通讯协议。

对象链接和嵌入技术在过程控制方面的应用(OLE for Process Control, OPC)用于基于WinCC平台电气系统之间的数据通讯。如台架电气系统与进排气控制系统、台架电气系统与台架测试系统。

开放网络视频接口评判协议(Open Network Video Interface Forum, ONVIF)用于实现视频/音频系统各种参数的获取与配置,而音视频流多媒体传输采用的是实时传输协议(Real-time Transport Protocol, RTP)和实时流传输协议(Real-Time Streaming Protocol, RTSP)实现。如台架测试系统通过ONVIF协议实现对网络视频监视设备参数的配置及获取,同时利用RTP/RTSP协议得到试验现场的图像和声音。远程监视系统也是利用RTP/RTSP协议获取试验现场的视频音频信息。

表格数据流(Tabular Data Stream, TDS)是SQL Server专用应用程序级协议,用来发送SQL语句。TDS使用1433端口进行数据库服务器和客户端之间的数据通讯^[7]。本系统应用的数据库为Microsoft SQL Server,通过该协议可以实现对数据库的操作,包括试验设备信息的读取、试验流程信息的存储、试验数据的记录与回放等。

2 多种数据通讯技术

2.1 Winsock技术

应用TCP/IP或UDP通讯协议进行数据通讯,一种方法是采用Windows Sockets技术。Windows Sockets是Windows下得到广泛应用的、开放的、支持多种协议的网络编程接口,其可以很容易地访问TCP/IP和UDP网络服务,不需要了解TCP/IP和UDP底层Winsock API的具体细节。通过设置Winsock控件的属性和调用该控件的方法,很容易地连接到远程计算机并进行双向的数据交换。

使用Winsock控件进行数据通讯时,数据流向为1个服务器端计算机将试验数据广播发送到多个客户端计算机上。根据客户端计算机的数量,需要在服

务器端计算机上为每一个客户端分配1个Winsock控件及1个通讯端口。而2种通讯协议主要差异在于连接的方法。

TCP/IP协议连接时,服务器中的每个Winsock控件需要绑定1个固定端口并要处于Listen状态。客户端计算机需要Connect服务器计算机的IP地址及对应端口^[8],并且只有连接成功后才能通讯数据。因此该协议传输可靠,相对速度较慢。

UDP协议通讯时,服务器与客户端只需绑定相同的固定端口,无需知道连接成功即可通讯数据。该协议虽传输速度快,但传输不可靠。

由于需要传输复杂数据结构的数据包,而Winsock控件只能发送字符串及字节数组形式的数据,所以需要先将数据包转换为字节数组。通过CopyMemory函数便可实现该功能。服务器端程序通过CopyMemory函数将需要广播的数据包转换为byte数组,再通过SendData命令将数据发出,客户端程序通过GetData命令接收到byte数组,再通过CopyMemory函数将字节数组转换为完整的数据包结构,这样就可以实现任何数据结构的数据包网络通讯。由于Winsock控件可以实现全双工数据通讯,因此服务器端也可以接收到客户端发送的数据。

为防止断网断电等意外发生,在客户端编写了看门狗程序^[9],可以实现服务器与客户端断网断电恢复后的自动连接,进一步保证了数据通讯的可靠性。

2.2 DataSocket 技术

使用Winsock控件作为通讯工具,必须事先知道客户端计算机的数量,服务器端计算机再分配相应数量的端口号,每个端口号只能对应指定的1个客户端计算机。如果某个客户端计算机长期不使用,该端口也不会被其它客户端计算机使用,造成了系统资源的浪费,客户端计算机的数量越多,这种浪费就越严重。而编写服务器端动态加载卸载Winsock控件及动态分配通讯端口的程序又相当复杂,因此在开发多客户端项目的时候,可以使用DataSocket技术。

DataSocket是NI公司推出的1项基于TCP/IP标准的面向自动化测量和控制的新技术^[10],可用于1个计算机内或者网络中多个应用程序之间的数据交换,从而实现计算机之间的数据共享和实时发布。DataSocket技术包括DataSocket Server Manager、DataSocket Server和DataSocket API 3大部分。

DataSocket Server Manager的主要功能是设置DataSocket Server可连接的客户端程序的最大数目,设置用户读写数据项的权限等;DataSocket Server负责用户的网络连接与数据交换等;DataSocket API包含有Open、Read、Write和Close等函数。

在远程监视系统中,便应用到了DataSocket技术。整个系统分为3个层次,即台架级服务器、所级服务器和远程客户端。台架级服务器与所级服务器之间的数据通讯工具选用的是Winsock控件。由于远程客户端注册用户数量大,为了合理利用所级服务器系统资源及多用户动态管理,所级服务器与远程用户的通讯选用的是DataSocket技术。

在所级服务器计算机上运行DataSocket Server应用程序,该应用程序自动建立用户的请求连接,分配给远程用户空闲通讯端口,并通过Write函数将试验数据发送给所有连接上DataSocket Server上的远程用户,远程用户在Update响应事件中调用Read函数即可获取数据^[11]。

2.3 OPC 技术

OPC技术是Microsoft公司的对象链接和嵌入OLE/COM技术在过程控制方面的应用技术,为工业控制领域提供了标准的数据访问机制^[12]。OPC技术采用客户/服务器结构,提供了COM接口和OLE自动化接口2套接口方案。COM接口效率高,通过该接口能够发挥OPC服务器的最佳性能,采用C++语言的客户一般采用此方案;OLE自动化接口使解释性语言和宏语言访问OPC服务器成为可能,采用VB、C#语言的客户一般采用此方案^[13],以简化客户应用程序的编制。

试车台上各系统软件的开发平台软件编程语言主要有VB.net、C#、Wincc、Step7等。VB.net与C#主要开发测试系统、流程系统、远程系统、数据管理系统等。Wincc与Step7分别开发台架电气系统上位机监控程序与下位机PLC控制程序。测试系统软件通过OPC Server与Wincc通讯,获取电气系统数据,再通过TCP/IP通讯协议共享数据,同时电气系统也通过OPC Server获取其它系统相关数据,从而实现了电气系统与其它系统的数据融合。

2.4 音视频流媒体数据通讯

发动机试验现场设有视频/音频监控系统。该系统主要包括视频矩阵及硬盘录像机,显示和记录现场

不同位置的图像及声音信息。硬盘录像机为该系统的核心,用于视频音频的收集及试验信息的共享。

试车台使用的硬盘录像机支持多种通讯协议,应用到的协议有 ONVIF、RTP/RTSP。ONVIF 为网络视频设备之间的信息交换定义通用协议,涉及设备发现、实时音视频、摄像头控制、录像控制、视频分析等方面。RTP/RTSP 协议负责对流媒体数据进行封包并实现媒体流的实时传输及控制^[14]。

从图1中可见,测试系统与远程监视系统在试验过程中均需要实时显示现场的音视频信息。具体的实现方法为:各系统软件直接调用 SDK 开发包中的应用函数,与硬盘录像机数据通讯,即可实现对视频/音频系统中设备的操作及流媒体数据的获取^[15]。

在实际应用中,通常将流媒体数据与其它系统数据融合使用,试验前必须进行各系统对时^[16],试验中,各系统数据实时同步显示在同一台计算机程序上,以达到监控各试验参数及发动机运行状态的同步效果。

2.5 数据库通讯

发动机试验时,应用到的数据库为 SQL Server。数据库主要存储试验设备、试验流程、试验数据等相关信息。这些试验信息的获取通过 TDS 通讯协议实现^[17]。TDS 协议用来发送 SQL 语句,主要涉及到海量试验数据的高速存储及远程多用户数据访问等方面。

在实际应用中,用于存储试验数据的数据表结构设计采用唯一性、可辨识性、参数可查询性原则。采用标准化的试验编号,即发动机型号-发动机编号-装配次-上台次-点火次五级,后缀试车性质描述关键字和时间,确保试验数据的唯一性和可辨识性。采用数据表+配置表的结构形式,保证数据表参数的可查询性。目前试验数据的存储可以实现全部参数的试验全过程高速实时记录。

为保证整机试验数据查询、分析和使用的便捷性,实现试验数据的规范化,结构化集中管理,以所区局域网为通讯媒介,在所本部设置试验数据数据库的总服务器,对各试车台的试验数据进行集中管理^[18]。试车台配备数据库子服务器,分管试车台的试验数据,与所内服务器实现试验数据的同步实时共享,互为备份,确保试验数据的安全性。为保证试验数据的高效使用,开发了1套试验数据的数据分析处理工具。数据分析处理工具包含如下功能:用户管理,一人一帐户;数据展现和曲线监视;多功能数据提取;关

键量数据统计等。

3 多系统数据融合

目前发动机试验时涉及到的试验信息主要包括:发动机测试参数数据、现场音视频数据、试验流程数据、设备参数配置数据、电气控制数据、文本信息数据等。多系统数据融合的设计原则是:以发动机型号为主线,按照试验流程,将试验信息先分类汇总,再根据各系统要求按需分发。

发动机参数数据的汇总分发由测试系统来完成。测试系统中配有单独的数据汇总分发程序。该程序汇总台架数采系统、电气系统、发动机控制系统等系统各自采集的发动机参数数据,并将所有发动机参数利用 Winsock 技术实时发布给其它系统。现场音视频数据的汇总分发由硬盘录像机来完成。硬盘录像机将现场各个摄像头及音频采集卡搜集的信息通过网络流媒体技术发送给各系统。试验流程信息的汇总分发由试验流程管理程序完成。试验设备及试验参数信息的存储及查询分析由数据库服务器来完成^[19]。多类型数据融合方式如图2所示,在实际应用中,如果用户需要获取某类信息,可利用相关的数据通讯技术从相关数据源选择获取。

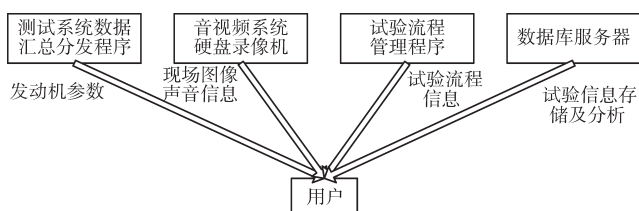


图2 多类型数据融合方式

远程监视系统客户端程序主界面如图3所示。该程序通过多种数据通讯技术的使用,可以实时同步监视在试发动机参数数据、试验流程、现场音视频等相关信息。由于各相关数据源的数据通讯协议、格式、速率各不相同,故在主程序中,分别采用对应技术实现通讯功能。对发动机参数获取采用 Winsock 技术,对试验流程信息获取采用 DataSocket 技术,对音视频信息获取采用流媒体通讯技术,对试验信息的查询分析采用 TDS 数据库通讯技术。最终实现参数数据以波形图、文本、虚拟仪表等形式展示、流程信息以表格的形式逐条展示、音视频信息以多窗口的形式展示及试验数据在线分析等功能。



图3 远程监视系统客户端程序主界面

发动机参数数据的更新频率为50次/s,音视频信息的更新频率为30帧/s,试验流程信息的更新频率为10条/s,系统客户端采用50次/s轮巡的方式对所有数据源通讯端口进行监测,当某个数据源有数据更新时,对该端口实施数据接收及解析,并进行实时显示和发布。

系统自动捕捉试车点火按钮为数据记录起始标记,同时触发各子统计器,电动油门杆角度回零作为停止标记。计时器、油门杆角度、转速等作为各数据关键字段关联。各类信息分类存储,发动机参数信息及试验流程信息在数据库中均以数据表的形式存储,表格命名采用标准化的试验编号,后缀描述关键字和时间,确保每次点火试车试验数据与流程信息的关联性,相关联的数据表通过各自表中关键字段实现,复放时,数据信息与流程信息的同步显示。音视频信息存储在硬盘录像机中,与数据库中的信息关联通过每条记录上的时间标签来完成。

4 结束语

发动机试验多系统数据融合设计是在多年的航空发动机整机试车的经验总结基础上,结合当今最前沿的高新技术,以试验数据库、网络数据通讯为核心,实现了发动机试验信息的统一管理。本设计具有收集试验信息全、输出功能复杂、使用灵活等特点,不仅可以完成各类型试验,同时还解决了不同协议、不同格式、不同速率之间数据流的传递和管理等问题。目前该设计稳定运行多年,保障了多种型号发动机试验工作圆满,达到了预期的效果。

参考文献:

[1] 廉筱纯,吴虎.航空发动机原理[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005:35-36.

LIAN Xiaochun, WU Hu. Aeroengine principle[M]. Beijing: Beihang University Press, 2005: 35-36. (in Chinese)

- [2] 董冬,朱成亮.试验数据管理平台设计研究[J].火箭推进,2014(4): 67-72.
DONG Dong, ZHU Chengliang. Design of test data management platform[J]. Journal of Rocket Propulsion, 2014(4): 67-72. (in Chinese)
- [3] Zervas E, Mpimpoudis A, Anagnostopoulos C, et al. Multi-sensor data fusion for fire detection[J]. Information Fusion, 2018, 12(3): 150-159.
- [4] Li G, Zhou X, Gao B, et al. A query-aware database tuning system with deep reinforcement learning[C]//Proceedings of the International Conference on Very Large Data Bases, Los Angeles, USA, 2019: 2118-2130.
- [5] 刘同明,夏祖勋.数据融合技术及其应用[M].北京:国防工业出版社,2016:10-11.
LIU Tongming, XIA Zuxun. Data fusion techniques and its applications [M]. Beijing: Defense Industry Press, 2016: 10-11. (in Chinese)
- [6] 罗俊海,王章静.多源数据融合和传感器管理[M].北京:清华大学出版社,2015:9-10.
LUO Junhai, WANG Zhangjing. Multi-source data fusion and sensor management[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015: 9-10. (in Chinese)
- [7] 陈震宇.基于数据库的新型航空发动机试验测控系统[J].航空发动机,2011,37(1):36-39.
CHEN Zhenyu. New aeroengine testing measurement and control system based on database[J]. Aeroengine, 2011, 37(1): 36-39. (in Chinese)
- [8] 谭浩强. Visual Basic 程序设计[M].北京:清华大学出版社,2005: 40-43.
TAN Haoqiang. Visual basic program design[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 40-43. (in Chinese)
- [9] 崔健,王渭.网络通讯技术在分布式控制系统中的应用[J].信息与电脑,2017(23):170-171.
CUI Jian, WANG Wei. Application of network communication technology in distributed control system[J]. China Computer & Communication, 2017(23): 170-171. (in Chinese)
- [10] 刘志华,吴韬,曹瑞明.基于DataSocket技术的设备状态监测与故障诊断系统[J].微型机与应用,2015,34(24):84-87.
LIU Zhihua, WU Tao, CAO Ruiming. Equipment condition monitoring and fault diagnosis system based on DataSocket technology[J]. Micro-computer & Its Applications, 2015, 34(24): 84-87. (in Chinese)
- [11] 曹阳,李文峰,陈震宇,等.航空发动机试验数据采集分析系统设计与实现[J].航空发动机,2010,36(6):36-38.
CAO Yang, LI wenfeng, CHEN Zhenyu, et al. Design and realization of test data acquisition analysis system for aeroengine[J]. Aeroengine, 2010, 36(6): 36-38. (in Chinese)
- [12] 陈震宇,林山,乔黎,等.基于OPC技术的气体加温压力FCS系统[J].航空发动机,2009,35(5):44-46.
CHEN Zhenyu, LIN Shan, QIAO Li, et al. Gas heating pressure field-

- bus control system based on OPC technology[J]. Aeroengine, 2009, 35(5):44-46. (in Chinese)
- [13] 魏芳,关大力,饶媛洁.基于 OPC 技术的机器人数据采集与实时监控[J].航空精密制造技术,2020,56(1):24-26.
- WEI Fang, GUAN Dali, RAO Yuanjie. Robot data acquisition and real time monitoring based on OPC technology[J]. Aviation Precision Manufacturing Technology, 2020, 56(1):24-26. (in Chinese)
- [14] 陈震宇,樊丁.数据融合技术在航空发动机试验中的应用[J].测控技术,2006(6):25-26,34.
- CHEN Zhenyu, FAN Ding. Application of data fusion in aeroengine testing[J]. Measurement & Control Technology, 2006(6):25-26, 34. (in Chinese)
- [15] 路明,杨林,李贤伟,等.智能视频分析技术在电力设备监控中的应用[J].东北电力技术,2018,39(10):26-29.
- LU Ming, YANG Lin, LI Xianwei, et al. Application of intelligent video analysis technology in electric power equipment monitoring[J]. Northeast Electric Power Technology, 2018, 39(10):26-29. (in Chinese)
- [16] 高源,闫韬,满成,等.基于监控组态软件的变电站智能视频监控系统设计[J].现代电子技术,2020,43(16):18-20,25.
- GAO Yuan, YAN Tao, MAN Cheng, et al. Design of substation intelligent video monitoring system based on monitoring and control configuration software[J]. Modern Electronics Technique, 2020, 43(16):18-20, 25. (in Chinese)
- [17] 宋铭利,王素丽.试验数据管理系统的设计与实现[J].计算机工程与设计,2011,32(5):1680-1683,1717.
- SONG Mingli, WANG Suli. Design and realization of test data management[J]. Computer Engineering and Design, 2011, 32(5):1680-1683, 1717. (in Chinese)
- [18] Zhang J, Liu Y, Zhou K, et al. An end-to-end automatic cloud database tuning system using deep reinforcement learning[C]//Proceedings of the ACM Special Interest Group on Management of Data. Amsterdam, the Netherlands, 2019:415-432.
- [19] 李国良,周煊赫,孙估,等.基于机器学习的数据库技术综述[J].计算机学报,2020,43(11):2019-2049.
- LI Guoliang, ZHOU Xuanhe, SUN Ji, et al. A survey of machine learning based database techniques[J]. Chinese Journal of Computers, 2020, 43(11):2019-2049. (in Chinese)

(编辑:刘 亮)