

# 基于VC++的飞机载荷谱数据可视化技术\*

李五一, 闫楚良, 田兆锋, 孟庆瑞

(北京飞机强度研究所 北京, 100083)

**摘要** 针对飞机载荷谱实测数据存储、管理、分析和处理不同机型异构数据的需要,提出了基于VC++的数据可视化处理方法,将具体应用划分为底层数据层、中间语言层和顶层用户端的3层结构模型,阐述了对应结构模型可视化处理的关键技术,即通用数据接口技术、虚拟仿真技术和并行计算技术。开发了系统原型,满足飞机载荷谱实测数据处理的需要,并已成功应用于战斗类飞机、运输类飞机和歼击机等机种飞行实测。实践证明利用数据可视化技术搭建的应用程序提高了数据处理效率,保证数据有效性,为根据载荷谱进行飞机结构定寿和延寿提供了科学有效的辅助分析工具。

**关键词** 飞机载荷谱; 数据可视化; 实测数据处理; 3层结构; VC++

**中图分类号** TP311.1

## 引言

载荷谱是飞机定寿、延寿和结构可靠性设计的基础,为获取载荷谱必须进行大量的实测飞行,取得能够代表真实情况的典型载荷-时间历程。早期数据处理大量采用人工计数处理的方式,这种办法显然不能满足现代载荷谱测量的需要。从20世纪70年代开始,计算机作为辅助的数据处理手段被引入到飞机载荷谱数据处理中,随着测试技术和设备的发展,数据量呈现爆炸式的增长,采集的数据具有类型复杂、数据量大的特点,对于不同的机型,采集参数不同,数据结构也不相同<sup>[1-4]</sup>,单一的数据处理工具Excel,Matlab根本无法满足用户的需求,数据可视化技术的发展为存储、组织和管理、分析和处理海量数据提供了一条有效地技术途径。

## 1 数据可视化与飞机载荷谱的关系

近年来,随着计算机技术特别是图形学技术的迅猛发展,可视化技术涵盖了更广泛的内容,出现了数据可视化的概念。数据可视化(data visualization)技术指的是运用计算机图形学和图像处理技术,将数据转换为图形、图像在屏幕上显示出来,并进行交互处理的理论、方法和技术。它涉及到计算机图形学、图像处理、计算机辅助设计、计算机视觉及人机

交互技术等多个领域,成为研究数据表示、数据处理、决策分析等一系列问题的综合技术<sup>[5-7]</sup>。利用数据可视化技术可将飞机载荷谱实测数据及相关信息的处理及分析方法与先进的图形技术结合起来,形象地表达数据和计算结果,从而加快数据处理效率。数据可视化技术可以使用图形、曲线等方式显示实测数据,使用户对数据的有效性判断更准确,剖析更清晰;数据可视化技术能够为处理数据提供人机交互的手段,实现用户与计算机之间交流与反馈的机制,是将专家知识与经验作用于计算机的桥梁;数据可视化技术可以以三维图形动态模拟飞机和仪表在飞行时的实际状态,直观准确地反映飞机的实际飞行姿态和飞行过程、驾驶舱仪表实际工作情况等,真实再现飞行过程。如果能充分利用数据可视化技术丰富的图形表达能力,在准确表达原始数据的基础上,通过人机交互融入用户自身的专家知识与经验,能够达到快速准确地分析处理飞机载荷谱数据的目的<sup>[8-9]</sup>。

## 2 数据可视化模型

飞机载荷谱数据具有数据量大、类型复杂等特点<sup>[10-11]</sup>,根据飞机载荷谱数据资源特点提出了3层结构模型:a. 底层数据层;b. 中间语言层;c. 顶层用户端,如图1所示。

\* 国家自然科学基金资助项目(编号:50135010)

收稿日期:2012-01-05;修改稿收到日期:2012-03-05

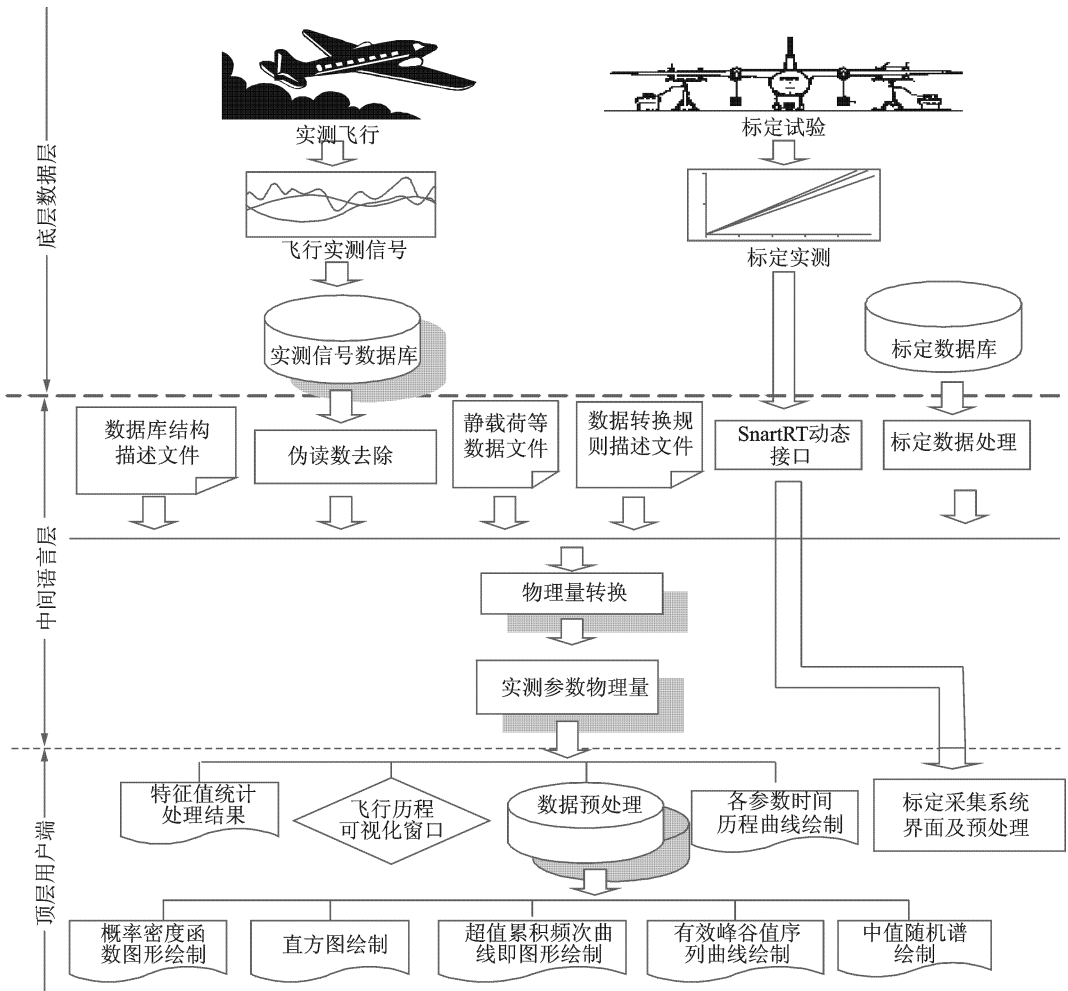


图1 数据可视化3层结构模型

### 2.1 底层数据层

底层数据层是数据可视化数据准备阶段,是数据存储的地方,提供飞机载荷谱实测数据和描述性的文档。由于实测数据量很大,全部数据可能分布在多台服务器上存储和管理,形成了实测数据存储服务器组,而非结构化数据分布在文档存储服务器上,可以针对不同的应用选取不同的数据源。

### 2.2 中间语言层

中间语言层是数据可视化设计的关键部位,针对飞机载荷谱数据资源的特点设计了柔性数据层(flexible data layer,简称FDL)。柔性数据层是为了适应不同格式飞机实测数据文件而实现的一个抽象层,完成顶层用户端与底层数据层之间的交互访问操作,将用户操作和数据库访问相隔离。柔性数据层FDL的具体结构如图2所示。

柔性数据层FDL包括以下几部分:

1) 底层的FDL Interface 文件接口层:配合不

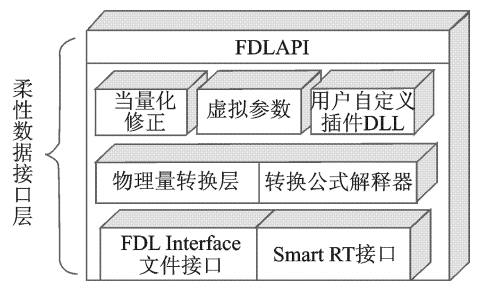


图2 柔性数据层结构图

同的数据描述文件,实现不同结构文件的实测数据的物理读取;

2) 物理量转换层:将测量码值根据标定数据处理结果转换为物理量,内含转换公式解释器,提供使用文本形式配置转换公式的能力;

3) 当量修正层:将物理量进行当量修正等的转换,得到真实的物理量;

4) 虚拟参数:又称为导出参数,该参数并没有真正地测量,可以通过一个或多个实测参数经过计算导出,但对顶层应用软件,就像是真实测量的参数

一样,故称为虚拟参数;

5) 用户自定义插件DLL:对于虚拟参数无法描述,或者计算方法比较特殊的自定义参数,还提供了DLL插件规范和模板,用户按照规范书写,包含相应格式计算函数的DLL既可进行扩充;

6) SmartRT 动态数据接口:用于读取各种采集设备所传送的动态数据流;

7) 应用编程接口(API):使得在FDL基础上开发的数据处理程序使用统一的模式对数据进行读取,而不再需要考虑物理数据文件格式的不同。

### 2.3 顶层用户端

数据录入存储并经过中间语言层的逻辑分析后,被顶层用户端程序调用,以曲线或图形的方式显示相应的数据信息,即数据可视化的结果,本系统的窗口界面是多窗口界面,包括飞行历程可视化窗口、标定数据采集界面、实测数据显示窗口等,通过多线程处理在同一时间调用不同的窗口进行可视化观察。

## 3 飞机载荷谱数据可视化关键技术

### 3.1 通用数据接口技术

各种飞机载荷谱实测试验,测试的参数数量、类型都是不一样的,因此,其记录的数据格式各不相同。在载荷谱测试项目中,根据测试目的的不同,各种不同的参数也使用不同的采样频率来进行记录。为了处理不同飞机测试项目产生不同的数据文件格式,提出了载荷谱通用数据接口技术,建立的FDL柔性数据层,以C++类库的形式提供给其他开发者使用,FDL提供了一组类和使用函数,提供了一个规范的数据读写查询接口,称为应用编程接口(application programming interface,简称API)。这使得在FDL基础上开发的数据处理程序使用统一的模式对数据进行读取,而不再需要考虑物理数据文件格式的不同。

### 3.2 虚拟仿真技术

在实测数据处理平台中载入飞行实测起落的数据,同时打开飞行姿态模拟仿真的窗口,用户可以交互地自由切换不同的视角对飞机进行观察,在飞机动作的判读、飞机状态与载荷关联分析、载荷谱实测飞行科目有效性判读方面具有重要的应用价值。采用OpenGL三维仿真技术开发飞行过程的可视化仿真模块,创建多种型号飞机的3D模型。

### 3.3 并行计算技术

数据可视化将实测数据及计算结果转换为图形

图像在屏幕上显示出来,并进行交互处理。计算处理面临三方面的挑战:a.多进程窗口界面,系统包含飞行历程可视化、实测数据处理、振动数据处理等界面;b.数据量和数据复杂程度大,随着测试水平的提高和飞机要求实测参数的增加,数据量呈现快速增长;c.要求数据实时性,虚拟仿真窗口要求数据不断地刷新跟进飞机状态的变化,这些都要求快速的处理速度。当前多核心CPU的普及为系统采用并行计算提供先决条件。

## 4 系统实现

通过对飞机载荷谱数据可视化技术的研究,在已有数据可视化模型的基础上,利用VC++2010开发工具、OpenGL图形平台以及VTree SDK工具,重视面向对象的设计(OOP),利用其信息封装、数据抽象、动态链接和继承等特性进行开发,功能上进行模块划分,覆盖了飞机载荷谱项目从标定到数据处理的全部内容,并已成功应用到多个机种的实测飞行和数据处理中。

### 4.1 标定数据采集

标定采集模块实现标定输入载荷和输出应变信号同步瞬时采集以及在线图形化实时显示,并对采集实测数据进行实时处理,给出标定试验数据处理拟合结果,可依据数据的有效性,对标定试验进行控制和调整,如图3所示。



图3 标定数据记录界面

### 4.2 实测数据处理

对实测参数载荷-时间历程进行同步回放和浏览,以图形的方式让用户在一屏上任选实测参数的时间历程曲线,同时可以配合不同的数据处理模块实现不同的数据处理功能。

### 4.3 飞行历程可视化

飞机飞行历程可视化再现了飞机的实测飞行历

程,即可在飞行模拟窗口中看到与飞行实测数据时刻对应的飞机飞行姿态和动作,一方面可用于飞机载荷状态的判别,另一方面,作为现场实测数据监控手段,判断该起落飞行员的空中动作是否满足飞行训练大纲规定的要求<sup>[12]</sup>。

## 5 结 论

1) 飞机载荷谱数据可视化技术将数据用丰富的图像、曲线、二维图形、三维体显示,并在人与数据、人与人之间实现图像通信,为快速判断数据有效性和进行数据处理提供有力工具,提高数据处理效率,使数据得到有效利用。

2) 柔性数据层支持系统采集不同飞行测试设备的数据流,使用统一模式对数据进行读取,解决异构异态数据处理的需要,具有高度适应性。

3) 数据可视化系统的层次分离和功能块划分,便于系统的不断更新、移植、裁减和扩充,有效降低系统开发和维护的复杂程度,提高系统可靠性。

## 参 考 文 献

- [1] Yan Chuliang, Liu Kege. Fatigue scatter factor of whole life and reliability of aircraft structure service life[C]//2008 International Conference on Advances in Product Development and Reliability. 2008, 44-46: 739-744.
- [2] Yan Chuliang, Liu kege. Theory of active reliability based design for predetermined life of structures[C]//2008 International Conference on Advances in Product Development and Reliability. 2008, 44-46: 745-750.
- [3] 阎楚良,高镇同.飞机高置信度中值随机疲劳载荷谱的编制原理[J].航空学报,2000,21(2):118-123.  
Yan Chuliang, Gao Zhengtong. Compilation theory of median stochastic fatigue load spectrum with high confidence level for airplane[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2000, 21(2): 118-123. (in Chinese)
- [4] 阎楚良,张书明,叶舸,等.中值随机载荷谱数据处理专家系统[J].北京航空航天大学学报,2000,26(4):428-431.  
Yan Chuliang, Zhang Shuming, Ye Ge, et al. Data treatment expert system for median stochastic load-spectrum[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2000, 26(4): 428-431. (in Chinese)
- [5] 刘勘,周晓峥,周洞汝,等.数据可视化的研究与发展[J].计算机工程,2002,28(8):1-2,63.  
Liu Kan, Zhou Xiaozheng, Zhou Dongru, et al. Data visualization research and development[J]. Computer Engineering, 2002, 28(8): 1-2, 63. (in Chinese)
- [6] 段晓君,杜小勇,易东云,等.可视化数据挖掘技术及其应用[J].计算机应用,2000(1):54-56.  
Duan Xiaojun, Du Xiaoyong, Yi Dongyun, et al. Visual data mining techniques and their application[J]. Computer Application, 2000(1): 54-56. (in Chinese)
- [7] Ferreira de O, Levkowitz M C H. From visual data exploration to visual data mining, a survey[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2003, 9(3): 378-394.
- [8] 李春香.飞行数据可视化技术研究[J].中国安全学报,2009,19(1):166-171.  
Li Chunxiang. Research on the visualization technology of flight data[J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(1): 166-171. (in Chinese)
- [9] 黎卓虹,罗智佳,彭奕文,等.基于三层结构数据可视化的开发及应用[J].微计算机信息,2006,22(21):31-33.  
Li Zhuohong, Luo Zhijia, Peng Yiwen, et al. Development and application in data visualization of three layers structure[J]. Control & Automation, 2006, 22(21): 31-33. (in Chinese)
- [10] 田兆锋,阎楚良.一种基于RIA结构的飞机载荷谱数据库系统设计方法[J].航空学报,2009,30(10):1889-1894.  
Tian Zhaofeng, Yan Chuliang. A method to design aircraft load spectrum resources database based on RIA framework[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2009, 30(10): 1889-1894. (in Chinese)
- [11] 周福强,张书明,阎楚良,等.飞机典型材料疲劳/断裂性能数据库设计——基于Java Applet[J].计算机工程与应用,2007,43(17):245-248.  
Zhou Fuqiang, Zhang Shuming, Yan Chuliang, et al. Design of database for aeroplane typical materials fatigue/fracture behavior based on Java Applet [J]. Computer Engineering and Application, 2007, 43(17): 245-248. (in Chinese)
- [12] 叶舸,田兆锋,阎楚良.基于OpenGL的飞机飞行实测数据可视化研究[J].航空学报,2011,32(6):1050-1057.  
Ye Ge, Tian Zhaofeng, Yan Chuliang. Experimental data visualization of aircraft's flight course based on OpenGL[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2011, 32(6): 1050-1057. (in Chinese)



第一作者简介:李五一,女,1982年5月生,工程师。主要研究方向为载荷谱数据处理及航空发动机强度、振动测试与分析。曾发表《PLC控制的飞轮储能系统》(《控制工程》2009年第S2期)等论文。  
E-mail:112162315@qq.com