

# 基于飞行载荷的大数据实测方法研究

齐婵颖, 李育超, 岳健, 王茜

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

**摘要:** 飞行载荷实测是全面、定量评定飞机结构强度的必要环节, 在飞行试验中起着至关重要的作用; 传统的有人机、小型机载荷标定需要评测的参数仅需要数十个或几十个关键参数, 实时采集系统通道量较小, 实时监控服务器压力较小; 随着航空工业的飞速发展, 大型机、无人机等需要评定的参数量急速上升到数百个, 而采集通道成为瓶颈, 传统的测量方法难以满足需求; 针对飞行载荷实测的海量参数难以测试问题, 文章提出了一种通道复用的方案, 良好的解决了海量数据难以实时测量问题; 经验证, 该方案可良好的运用在各种型号的飞行载荷海量数据实测中。

**关键词:** 载荷标定; 测试; 实时处理; 数据分发

## Research on Big Data Test Technology of Flight Load

Qi Chanying, Li Yuchao, Que Jian, Wang Qian

(Chinese Flight Establishment of AVIC, Xi'an 710089, China)

**Abstract:** Flight load test playing a vital role in flight test is the necessary link which can evaluate the aircraft comprehensively and quantitatively. The load calibration of the traditional man-machine and small aircraft evaluate parameters need only about a dozen or dozens of key parameters. The real-time collect system channel volume is smaller, and the pressure of real-time monitoring and control system server is less. Along with the rapid development of aviation industry, the needing evaluated parameters of the large aircraft and unmanned aerial vehicles zoom to hundreds. And the collect system channel volume becomes bottle-neck. The traditional measurement ways are difficult to satisfy the requirements. In view of the problem that the flight load test of mass parameters are difficult to test, the paper put forward a kind of channel multiplexing scheme, which can solve the problem that the mass parameters are difficult to test. It's verified that the scheme can be well applied to all kinds of load data measured in flight.

**Keywords:** load calibration; test; real-time processing; data distribution

## 0 引言

飞行试验是在真实飞行条件下进行的科学研究和产品试验<sup>[1]</sup>。它是航空航天科技发展的重要手段, 是航空产品研制和鉴定的必须环节, 是为用户摸索和积累经验的有效途径。飞行试验对整个航空工业和航空科技的发展起着至关重要的作用。飞行试验全面测评考核飞机的性能, 其中飞行载荷实测是全面、定量评定飞机结构强度必须的重要环节<sup>[2]</sup>。用应变法测量飞机结构载荷需要进行载荷校准地面试验, 通过对测载部件实施加载, 从而建立满足飞行实测用的载荷方程, 预测飞机寿命。因此, 飞行载荷实测在飞行试验中有重大意义。随着航空工业的飞速发展, 飞行试验中需要测试的飞行载荷应变参数量也随之增大, 传统评测方法难以满足, 且数据处理过程日趋复杂<sup>[3]</sup>。载荷标定地面试验通过在地面模拟空中加载应变, 分析飞机形变, 进而计算出极限, 为试飞提供参考。

## 1 载荷标定试验概述

载荷标定地面试验实时数据处理过程: 机载网络化测试系统对应变、载荷等参数进行实时采集, 并将采集到的网络数据经过 ENC106 板卡转换成 PCM 数据送入 PCM 解调卡, 通过

007 卡解调 (007 卡内置在有特定 007 卡卡槽的计算机中), 由实时数据处理前端实时接收, 同时实时监控系统进行 PCM 信息的接收、同步, 实施 PCM 字恢复与工程单位转换、同步与分析计算等处理, 并发送到客户端相关设备上显示, 供试飞工程师进行实时监控。流程如图 1 所示。

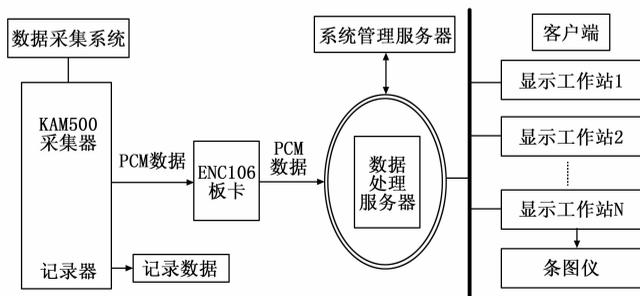


图 1 载荷标定试验数据流程

试验中整个 KAM500 采集系统需花费 100 多万, 007 卡七八万, 实时/预处理系统也需要特定的设备, 需要专门购买。通过我们自主研发的实时处理软件实时解析 PCM 数据, 再通过交换机分发数据到客户端, 供试飞工程师实时监控数据。

KAM500 网络架构采集的网络数据, 在应用层封装成 iENA 结构。网络数据共 5 个层次: 物理层、数据链路层、网络层、传输层、应用层。通过 UDP 协议传输。通过 ENC106 板卡把网络数据实时转换成 PCM 数据, 使用自主研发的实时数

收稿日期: 2016-12-19; 修回日期: 2017-02-06。

作者简介: 齐婵颖(1990-), 女, 陕西西安人, 硕士研究生, 助理工程师, 主要从事数据管理方向的研究。

据处理系统实时解析数据, 再分发到客户端。

## 2 试验流程详细说明

### 2.1 数据采集系统

目前市场上采集器有很多种, 如达明五达明六数据采集系统、770 数据采集系统、KAM500 机载数据采集系统、UMA2000 机载数据采集系统等<sup>[4]</sup>。载荷标定地面试验通常采用 KAM500 机载数据采集系统对飞行试验中飞机上的各种模拟量进行采集, 输出数据格式为以太网数据包数据, 同时通过机上记录器对数据进行记录。

KAM500 采集器有两种架构: 一种是基于 PCM 架构的采集系统; 一种是基于网络架构的采集系统。试验中很多采集系统使用网络架构。

采集的网络数据通过 ENC106 板块转换为符合 IRIG16 通测标准的 PCM 信息流数据, 送入数据处理系统<sup>[5]</sup>。

### 2.2 数据处理服务器

实时处理中我们使用自编的预处理软件, PCM 数据流以全帧为单位进入计算机。

PCM 帧格式分为两类: 第 1 类格式是基本的、简单的, 称为“固定格式”; 第 2 类格式是变化的, 用于比较复杂的情况。我们通常采用固定格式, 也称为可编程的固定格式, PCM 帧结构如图 2 所示:

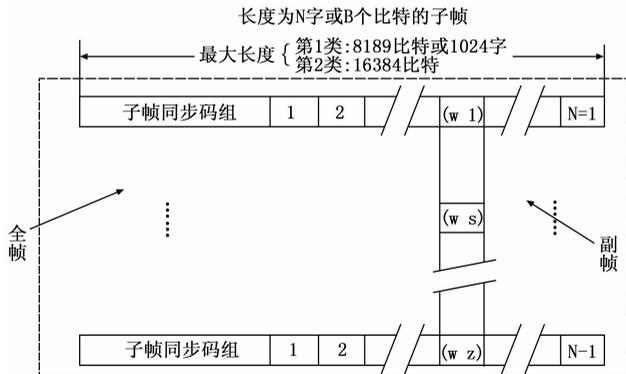


图 2 固定格式的 PCM 帧结构

每个全帧最多 2 048 个 PCM 字, 输入的最大速率为 16 384 字/秒, 实际使用速率为 1 k~4 k 字/秒。

对这些参数的处理, 首先是进行译码校准。采用两点线性插值公式, 校准数据采用 5 段 6 点。根据原始的 PCM 字和译码后的物理量进行计算参数的计算, 可执行 3 个计算任务。

在实时和准实时过程中要为其后进行的最终处理进行两方面的准备: 一是确定动作段时段; 二是转录相容带。实际工作中相容带转录主要在预处理中进行。转录相容带记录格式与达明 III 有所不同。

实时处理服务器将 PCM 数据流转换成工程量发送给客户端。

### 2.3 客户端

客户端总控程序接收服务器实时传送的所有数据, 然后在子程序中根据试验时正在加载的参数进行挑选, 实时显示出来, 供试飞工程师评测。自程序中根据不同的评测项目分为不同的科目, 每个科目测量相关的参数。

## 3 实验瓶颈

传统的飞行试验中载荷标定关注的参数数量较少, 通常为几个、数十个或几十个, 随着航空工业的发展和飞机型号的多样化, 对载荷标定需评测的参数逐渐上升, 甚至高达几百个。与传统评测相比, 堪称载荷标定试验中的“海量数据”, 评测和鉴定复杂度大大增加。

载荷标定试验主要评测应变参数, 需要在机上对应位置加装测试应变参数传感器。通常, 一个传感器测量一个参数, 传感器一端连接待测试的应变、载荷等参数, 传感器另一端连接采集通道, 一个通道对接一个插头, 把机上采集的网络数据实时传到接收设备。

为了节约资源、降低试飞费用, 通常能为每架飞机分配的传感器数量有限, 较少的参数可以良好的测试。当载荷标定中测试参数数量远远大于传感器数量时, 传感器个数成为了载荷标定实测中的瓶颈。

我们提出两种解决方案: 1) 增加传感器数量; 2) 通道重复使用。第一种方案简单易用, 但传感器价格昂贵, 增大了试飞费用, 提高了试飞成本, 并且要额外安装更多的传感器, 增大了改装难度, 可操作性差。第二种方案操作略复杂, 但合理利用资源, 节约试飞费用, 降低了改装难度。文章采用第二种解决方案。

## 4 技术难点

### 4.1 通道复用概述

针对测试参数较多、传感器数量有限的问题, 我们提出了“通道复用”的解决思路。即每个传感器对应一个通道, 每个通道对接一个插头, 在整个试验中每个传感器重复测试多个参数, 试验中传感器连接测试参数的一端来回切换。

通常每个传感器测试一个参数, 试验中我们分为两部分(如机翼和垂尾)进行测试。因此, 每个传感器可以同时对接两部分试验中需要测试的参数, 根据试验的部位在通道对接插头过程中选择该参数的属性(机翼部分加装试验时, 该传感器采集参数为机翼应变参数; 垂尾部分加装试验时, 该传感器采集参数为垂尾应变参数。整体看, 传感器是复用的, 而在单部分试验中, 传感器依然是与测试参数一一对应的)。通道复用如图 3 所示。

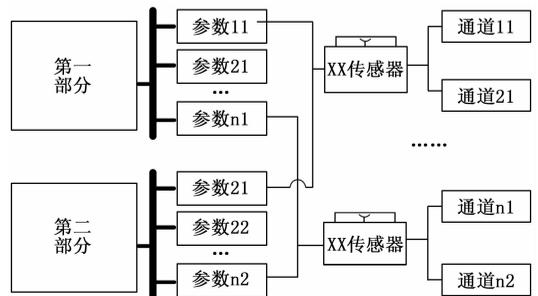


图 3 通道复用结构

### 4.2 技术难点

载荷标定地面试验机翼部分开始, 系统准备就绪后进行系统联试, 服务器前端信号同步、数据接收正常, 客户端也接收到实时数据, 时间显示正常的 GPS 计数模式。为检查数据的

有效性, 手动对机翼进行了简单的变形加载, 逐个检查每个参数的变化趋势, 并对各点原桥与备份桥的数值作对比 (原桥和备份桥是防止试验中不确定因素导致的应变片被损坏导致测量数据不准确, 因此在原桥的基础上, 贴备份桥应变片, 两者数值理论上应该一致), 试验结果发现各点原桥与备份桥在时间轴上位置错开、数值也相差很大, 数据显示有错位。试验中断开机翼的某一应变参数 A (由于试验机涉密, 文中参数名均用 A、B、C、D 表示) 传感器插头前后的参数实时显示如表 1 所示。

表 1 断开插头前后参数测试(客户端测试)

参数名	断开插头前	断开插头后
A	2.07	2.07
B	-0.31	-0.31
C	-0.08	-0.08
D	0.35	0.35

从试验结果看出, 断开插头前后参数 A、B、C、D 均有数值, 且显示同一数值, 实际操作中参数 A 插头有断开, 理论上 A 数值应该变化, 而试验结果显示 A 参数值未变化, 可见, 参数值与参数名显示错位。

### 4.3 解决方案

整个试验流程从数据采集到从网络数据转换成 PCM 数据, 再到数据经过处理服务器经过处理, 发送到客户端实时显示。我们逐段进行排查。

#### 1) 服务器自查。

为了检测服务器分发的局域网数据是否有效, 我们在服务器端同时安装客户端, 参数接收顺序与服务器端发送顺序一致。分别开启服务器和客户端后, 信号同步, 链路相通。试验中随机选取某一参数分别对其传感器插头进行插拔, 试验结果显示如表 2 所示。

表 2 断开插头前后参数测试(服务器端测试)

参数名	断开插头前	断开插头后
A1	2.07	2.07
B1	-0.31	-0.31

试验数据显示错位。经排查, 发现客户端参数列表未及时更新, 参数列表前 4 个时间 (时、分、秒、毫秒) 参数未删除, 经删除后, 再次试验, 测试结果如表 3 所示。

表 3 断开插头前后参数测试(服务器端测试)

参数名	断开插头前	断开插头后
A1	2.07	-10389.89
B1	-0.31	-10389.57

从表 3 看出, 客户端实时监控画面参数与插头关系一一对应。可见, 客户端参数顺序错乱就会导致实时监控画面数据错乱。至此, 可以确认测试服务器端数据接收正常。

#### 2) 排查源码数据。

试验数据是由机载采集设备连续采集参数, 经地面计算机作实时校线处理, 码值转换后, 以以太网格式把数据传至地面

实时监控局域网, 同时机载记录器实时记录试验数据。机载采集的网络数据需要通过 ENC/106 板卡转换成 PCM 数据后传给测试服务器。

为了验证源头数据的有效性, 机载分别手动插拔应变传感器, 用网络实时检查软件检查采集到的网络源码数据。试验结果如表 4 所示。

从表 4 看出, 断开参数 A1 和 B1 传感器插头前, 码值显示某一数值。断开对应参数传感器插头后, 码值变为 65535, 满码, 数值达到码值的上限, 参数显示断开。可见, 网络机载源码数据正确。

表 4 断开插头前后参数测试(源码测试)

参数名	断开插头前	断开插头后
A1	33759	65535
B1	33759	65535

为了检测 ENC/106 板卡转换的 PCM 数据的有效性, 我们用 PCM 实时检测软件检测经 ENC/106 板卡转换后的 PCM 数据。试验中, 我们分别插拔应变参数 C1 的插头, 试验结果如表 5 所示。

表 5 断开插头前后参数测试(PCM 源数据测试)

参数名	断开插头前	断开插头后
C1	33853	58962

参数测试结果与操作一致, 机载 PCM 源码数据未错位, 输入服务器端的 PCM 数据有效。

#### 3) 排查客户端。

客户端工作机制: 客户端主控程序接收服务器分发的数据, 从实时监控部分选择对某一部分试验有效的数据显示, 该过程需要严格按照参数接收顺序选取。服务器发送了 Sum 个参数, 客户端主控程序接收了 Sum 个参数, 错位 sum2, 机翼部分需要 sum11 个参数。我们对主控程序接收的参数列表中 Sum 个参数进行了逐一核对, 组成如下:

$$\text{Sum (参数总数)} = \text{sum1 (试验需要参数总数)} + \text{sum2 (试验不需要参数总数)}$$

其中, Sum 个参数是客户端接收的参数总数, 机翼部分试验需要 sum11 个数据, 有 repeat 个重复采集参数 (后面垂尾试验通道用到)。经查询, 前 sum11+repeat 个参数正是机翼试验需要的 sum11 个参数及重复的 repeat 个参数。参数列表末尾的 sum2 个参数正好是服务器发送的参数与课题需要参数的差集, 且顺序排列。

最终找到问题: 通道复用导致机翼和垂尾部分参数使用同一通道。服务器分发 Sum 个参数, 包含机翼和垂尾的所有参数, 客户端应该接收服务器发送的所有参数, 再根据试验需求分阶段选取对应参数。单个试验中, 通道复用与单一通道作用一致。试验中, 我们未充分考虑到通道复用, 在客户端机翼部分需要的 sum11+repeat 个参数按照服务器分发顺序排列, 多余的 sum2 个参数顺序排列在参数列表末尾, 导致从中间某一参数开始, 整体错位。

经过调整, 再次联试, 实时监控画面参数显示与应变传感器插头操作一一对应。进一步记录一段数据, 经确认, 数据正

确。至此,问题解决。

#### 4) 说明。

地面试验是多个环节配合完成,实时数据处理软件采用自主研制,试验中必须严格按照软件要求解析:参数名长度不大于24字节,个数不大于500个;试验中服务器与客户端必须连接交换机,组成局域网(服务器端数据是通过网络分发给客户端的),且端口号服务器端与客户端必须一致;007卡卡槽与实时/预处理设备连接可能会出现虚连接,导致数据无法传输。

## 5 结束语

文章针对飞行载荷实测的海量参数难以测试问题,提出了一种通道复用的方案。针对通道复用过程中的技术难点,采用点、线、面的方法进行排查和分析,验证了该方案的可行性,良好的解决了海量数据难以实时测量问题。该方案现已成功运

(上接第65页)

在将图3中灰色ELM神经网络得到的预测值和制定的故障诊断标准作分析比较后,可以发现在时刻 $k=34$ 时候轴承加速度的预测值已经达到 $2.42g$ ,处于重点观察区域,为避免事故发生减少不必要的损失,应当针对实际情况采用有效的维修手段,杜绝其工作到停机线附近的可能。

ELM跟传统的神经网络相比训练速度和泛化能力都很优秀,而在实际训练过程中ELM因左侧权值是随机确定的,因此在稳定性和模型精度上还有待改进。ELM和灰色理论的结合,是利用了组合预测方法结合单项预测方法的优势,综合应用单项预测所提供的信息,从而有效的减少了预测误差,提高了预测精度。在轴承故障预测领域中,灰色理论和ELM神经网络的结合所建立的轴承故障预测模型,有效的解决了轴承故障类别多样化所引发的单一模型预测精度有限的问题,拓宽了使用范围。在原始样本数据有限的情况下依然能够通过获取高精度的拟合数据来提高预测的精度,实现对轴承的运行趋势的预测,在实际的工业生产中有着现实的意义。

## 4 结论

本文分别应用灰色预测模型与灰色ELM神经网络模型,对提取的反应轴承振动加速度的少量样本数据进行分析预测,从仿真结果可以看出,灰色ELM神经网络模型与灰色预测模型相比,预测效果更好,精度更高,跟实际数据更为贴合。对轴承特征量加速度的研究,不仅为工作状态中的故障的预测提供一种可行有效的方法,也能为轴承寿命及可靠性等性能指标的提供一定的参考价值;同时预测选取的特征量也不局限于加速度,亦可将采用其他特征量,运用到灰色ELM神经网络预测模型的中实现其故障预测。

#### 参考文献:

- [1] 陈进. 机械设备振动监测与故障诊断 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1999.
- [2] 邵毅敏, 涂文兵. 深沟球轴承三维非线性时变振动特性研究 [J].

用于在某型号飞行载荷海量数据实测中,并取得了预期的效果。

#### 参考文献:

- [1] 周自全. 飞行力学与飞行试验 [J]. 飞行力学, 2002, 20 (2): 212-217.
- [2] 中国飞行试验研究院. 飞行试验指南 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2010.
- [3] 霍朝晖, 覃杨森, 祈春. 飞行试验机载关键参数快速处理系统设计 [J]. 现代电子技术, 2012, 36 (5): 121-124.
- [4] 袁炳南, 张建琳. PCM与网络数据采集系统技术分析 [J]. 测控技术, 2009, 28 (4): 29-31.
- [5] Range Commanders Council. IRIG Standard 106-01 [S]. New Mexico: Range Commanders Council, 2001, 88002-5110.
- [6] 王亮, 滕克难, 吕卫民, 等. 基于粒子群算法的非线性时变参数离散灰色预测模型 [J]. 统计与决策, 2015, (12): 16-19.
- [7] Lin Y H, Chiu C C, Lee P C, et al. Applying fuzzy grey medication model on inflow forecasting [J]. Eng. Appl. Artif. Intell, 2012 (25): 734-743.
- [8] 张文斌, 郭德伟, 普亚松, 等. 谐波窗分解样本熵与灰色关联度在转子故障识别中的应用 [J]. 中国电机学报, 2013 (21): 132-137.
- [9] Huang G B, Zhu Q Y, Siew C K. Extreme learning machine: theory and applications [J]. Neurocomputing, 2006 (70): 489-501.
- [10] 魏二虎, 李智强, 龚光裕, 等. 极移时间序列模型的拟合与预测 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2013, (12): 1420-1424.
- [11] 王大鹏. 灰色预测模型及中长期电力负荷预测应用研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [12] 刘思峰, 曾波, 刘解放, 等. GM (1, 1) 模型的几种基本形式及其适用范围研究 [J]. 系统工程与电子技术, 2014 (3): 501-508.
- [13] Alvisi S, Franchini M. Grey neural networks for river stage forecasting with uncertainty [J]. Phys. Chem. Earth, 2012, 42-44, 108-118.
- [14] 陈帅, 王勇, 吕丰, 等. 基于灰色理论和神经网络的短期电力负荷预测 [J]. 上海电力学院学报, 2013 (6): 527-531.
- [15] 廉书林. 基于灰色理论与神经网络的油液污染和机械磨损状况研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2014.
- [16] 刘春艳, 凌建春, 寇林元, 等. GA-BP神经网络与BP神经网络性能比较 [J]. 中国卫生统计, 2013 (2): 173-176.
- [17] Huang G B, Zhu Q Y, Siew C K. Extreme learning machine: theory and applications [J]. Neurocomputing, 2006, 489-501.
- [18] 朱可恒. 滚动轴承振动信号特征提取及诊断方法研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
- [19] Edwin K, Stanislaw H Z. An introduction to optimization [J]. Antennas and Propagation Magazine IEEE, 2001, 38 (2): 1-40.