

一种靶场试验遥测数据处理与分析系统的设计与实现

于 峰, 郭 珈

(中国人民解放军 91550 部队 41 分队 大连 116018)

摘要: 针对靶场试验遥测数据特点, 设计了一种遥测数据处理分析系统。作为靶场测试流程和飞行结果判别的重要环节, 遥测数据处理分析系统软件实现了繁杂测试数据处理与发布、数据管理和数据判读与服务等功能。该系统的设计与实现为靶场数字化建设提供了重要支撑, 具有较强的实用性与推广价值。

关键词: 靶场试验; 数据处理分析; 设计与实现

中图分类号: TP319 文献标识码: A 文章编号: CN11-1780(2022)01-0098-07

DOI: 10.12347/j.ycyk.20210717001

引用格式: 于峰, 郭珈. 一种靶场试验遥测数据处理与分析系统的设计与实现[J]. 遥测遥控, 2022, 43(1): 98–104.

Design and implementation of telemetry data processing and analysis system for aircraft range test

YU Feng, GUO Jia

(Unit 41 of Troop 91550, Dalian, 116018, China)

Abstract: Focusing on the characteristics of the telemetry data in the range test, a telemetry data processing and analysis system is designed. As an important role of test process and result analysis, the telemetry data processing and analysis system is used to deal with complicated data, publish and manage the data, also serves as data interpretation. The system is easy to be used and spread, and its design and implementation can provide a strong support for digital range construction.

Key words: Range test; Data processing and analysis; Design and implementation

DOI: 10.12347/j.ycyk.20210717001

Citation: YU Feng, GUO Jia. Design and implementation of telemetry data processing and analysis system for aircraft range test[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2022, 43(1): 98–104.

引 言

随着靶场试验技术的发展, 遥测系统为了对飞行器测试、飞行过程中所有设备的功能、性能和工作细节等做出快速准确有效的判断, 需要对大量的飞行器遥测数据进行处理分析。飞行器遥测数据处理分析贯穿于整个靶场试验的全过程中, 快速正确的遥测数据处理是试验结果鉴定评估的前提, 其结果直接决定靶场试验的工作效率和质量。本文针对遥测数据处理和分析技术进行研究, 设计并实现了一种从数据接收到数据处理分析等全过程的一体化数据服务系统。该系统能够提高试验数据服务的质量和效率, 为靶场测试技术的发展提供支撑。

1 系统组成与工作原理

靶场试验遥测数据处理分析系统组成如图 1 所示。工作站实时接收遥测原码数据, 进行挑路及帧重构, 按数据处理要求进行解算并发布至数据判读终端与测试指挥中心的中心显示系统, 同时将原码数据与处理结果上传至数据库。服务器对工作站处理的数据和各系统单元测试数据进行存储及管理。

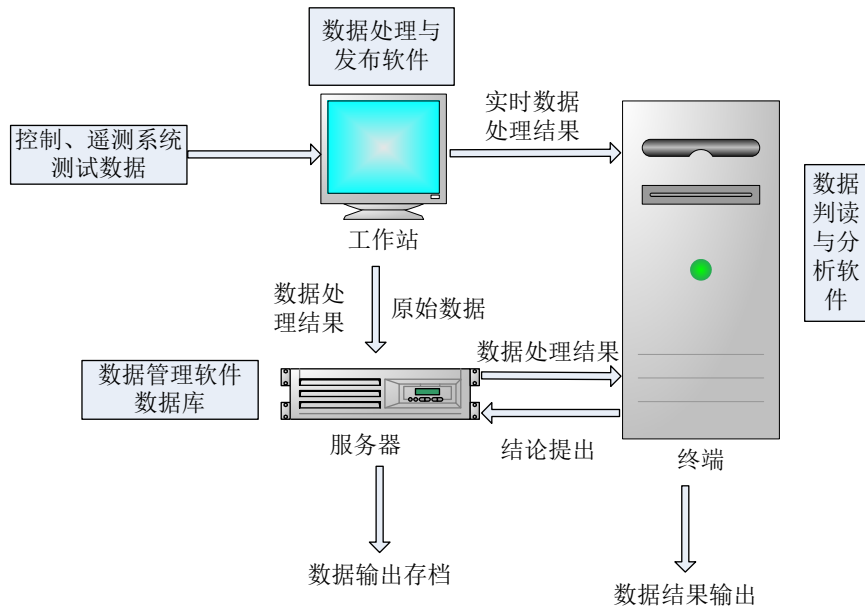


图 1 数据处理分析系统组成图

Fig. 1 The structure of data processing and analysis system

系统的设计主要包括数据处理与发布软件、数据管理软件和数据判读与分析软件。

① 数据处理与发布软件

数据处理与发布软件接收遥测检测站 PCM 流数据，对数据帧进行解析，按照用户配置的参数信息处理出结果，并发送至数据管理软件进行数据存储，主要包括高码率遥测帧重构模块、总线数据处理模块、辅助判读模块和实时数据处理模块等。

② 数据管理软件

数据管理软件接收并存储数据处理与发布软件发送的原始数据，按试验项目建立存储结构，完成数据实时存储；实时接收数据处理与发布软件通过网络发布的数据处理结果，并实时显示。软件支持参数信息的装订导入，能够对参数配置信息进行正确性校验，能够对历次试验数据进行迁移和备份，支持相同格式单元测试数据的导入。数据管理软件主要包括实时数据库和数据库管理模块、实时检测参数配置模块、多终端实时监测模块、数据存储和发布模块、数据库配置导入模块等。

③ 数据判读与分析软件

数据判读与分析软件根据不同的测试状态和测试流程，自动完成遥测参数的判读工作；能够以曲线、列表等不同方式显示数据处理结果；支持不同试验数据的横向比对，存储不同任务、不同状态下的判据，能够对判据进行创建、编辑、删除和复制；支持用户、角色和权限的分级数据、判据等分级管理；支持判读结果报告自动生成，报告能够基于网络完成签署、确认。数据判读与分析软件主要包括数据自动判读模块和数据比对分析模块等内容。

2 系统工作流程

数据处理分析系统信息流程如图 2 所示。

数据处理与发布软件负责试验全部遥测数据的处理功能，接收遥测地面检测站软件发送的 UDP 组播数据；接收到数据后，数据处理与发布软件根据配置的参数处理信息完成数据处理，并将处理结果通过 UDP 组播转发至数据管理软件。

数据管理软件根据试验项目建立存储结构，实时接收到数据处理与发布软件发送的处理结果后，对数据进行存储。用户可通过数据管理软件的实时监测模块对测试过程中的数据进行实时监测。

试验完成后，数据判读与分析软件读取数据管理软件存储在硬盘上的数据文件，并调用判读对数据进行自动判读，并生成报告。软件也可调用之前存储的历次试验数据，对数据进行不同试验的横向比对。

数据处理分析系统的数据交互涉及到了从数据的生成到数据的计算处理、分发及数据的存储、调用的整个过程。整个数据传输的过程中，涉及到了数据与各业务单元及上级之间的上传，需根据各级对数据的需求不同，进行系统之前的对接及数据的传输，预留各类数据接口是数据整个生命周期的必要环节。

3 系统框架设计

3.1 数据处理与发布软件

数据处理与发布软件框架采用插件式设计，架构图如图 3 所示，包括框架与数据处理插件两个部分。

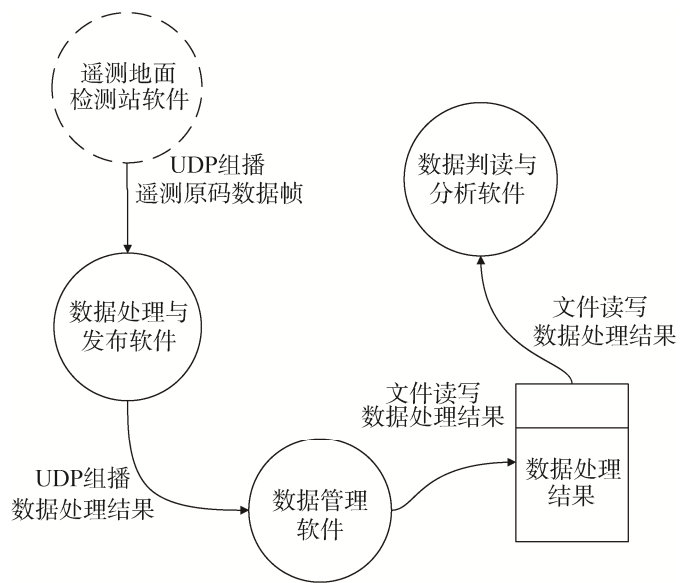


图 2 数据处理分析系统信息流图

Fig. 2 The information stream of data processing and analysis system

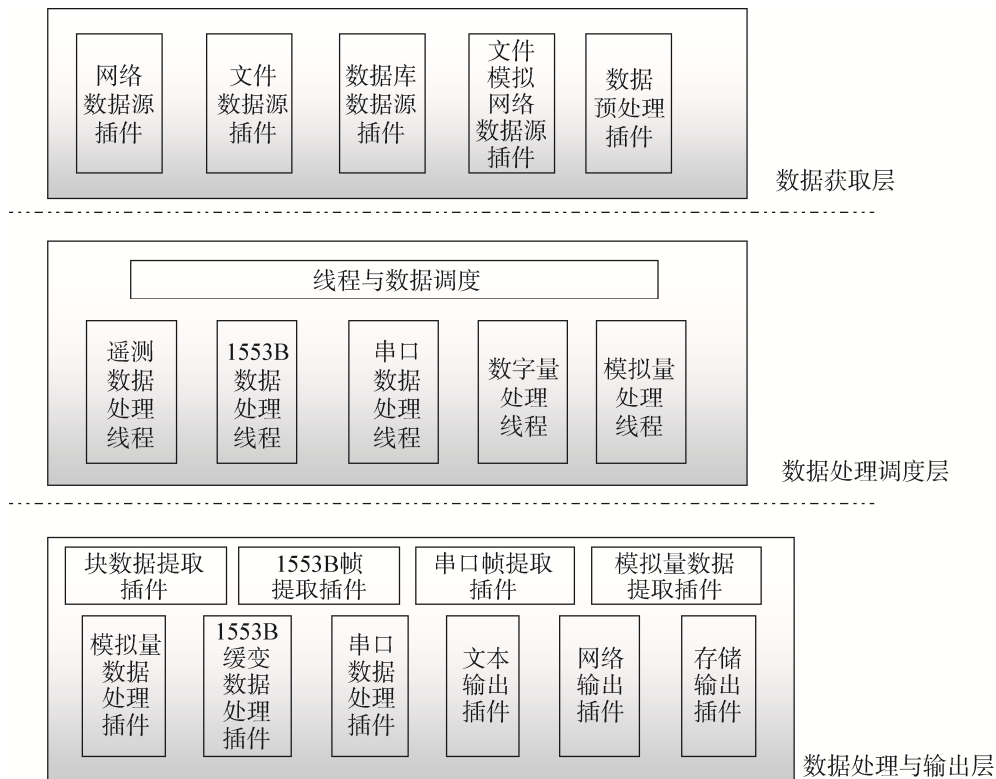


图 3 数据处理与发布软件架构

Fig. 3 The software framework of data processing and publish

① 框架为整个软件的基础，负责完成对遥测全帧的基础处理、参数数据库读取和结果数据库试验基础信息建立，主要完成参数信息读取、测试信息选择、遥测帧接收、遥测帧存储、遥测数据变帧判断、遥测数据起飞时间寻找、遥测数据帧结构正确性判断、试验数据网络发布、测试基础信息存储等功能。

② 数据插件负责完成各类数据的处理，并将结果存入实时数据库。数据类型包括缓变参数、指令参数、控制计算机字参数、计算机字参数、惯组计算机字参数、缓变复用参数、串口参数、速变参数、二次计算参数、1553B 数据。以 1553B 数据为例，其中计算机字处理最为复杂，其处理流程如图 4 所示。

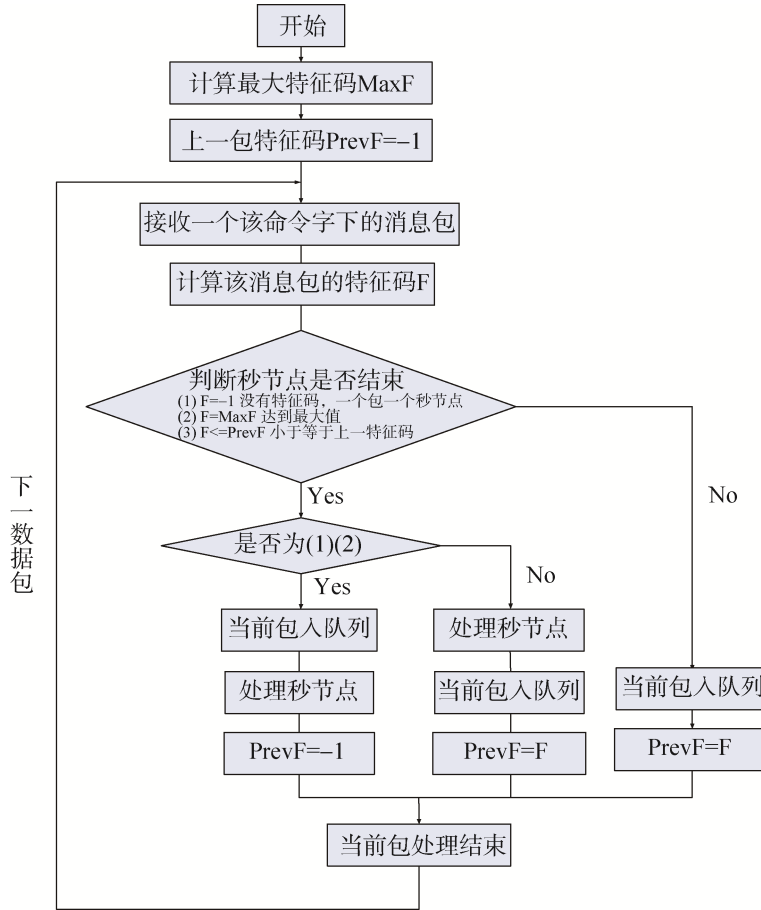


图 4 计算机字处理流程

Fig. 4 The processing flow chart of computer symbolic word

数据处理与发布软件运行后，首先由主框架初始化各用户界面及中心调度内核。中心调度内核主要负责控制软件内部的各项处理操作及内部数据的调度、各处理功能模块的初始化、建立处理线程和维持线程间通信。数据中心负责建立实时数据库、链接 Oracle 关系数据库获取各模块的共用信息。进行数据处理时，由数据提供模块获取网络组播遥测原码数据帧，并存入循环缓存区中。内核负责将原码数据帧发送至找起飞、变帧判断、分块等预处理功能模块，并将数据处理信息、遥测原码和预处理信息送入缓变、指令、计算机字、总线等数据处理线程并行处理。完成处理后将处理结果存入实时数据库，并送至数据发布模块，完成数据处理结果的存储和发布。

数据处理与发布软件采用 MFC 单视图框架，为了实现软件的灵活性和通用性，除主框架外各功能模块均以 MFC 扩展动态链接库的方式进行封装。结合软件的处理流程，对划分出的软件部件进行物理设计，可以划分为程序主框架模块、中心调度内核模块、数据中心模块、公共方法模块、变帧判断模块、找起飞模块、数据提供模块、文件控制模块、数据发布模块、缓变参数处理模块、指令参数处理模块、计算机字参数处理模块、1553B 总线参数处理模块、速变参数处理模块、二次计算参数处理模块、串口参数处理模块共 16 个模块。

3.2 数据管理服务软件

数据管理服务软件分为两个大的部件：数据存储部件和数据通信服务部件。两个部件间基于单播网络通信，可实现分布式部署。每个部件均由若干部件（模块）组成，如图 5 所示。

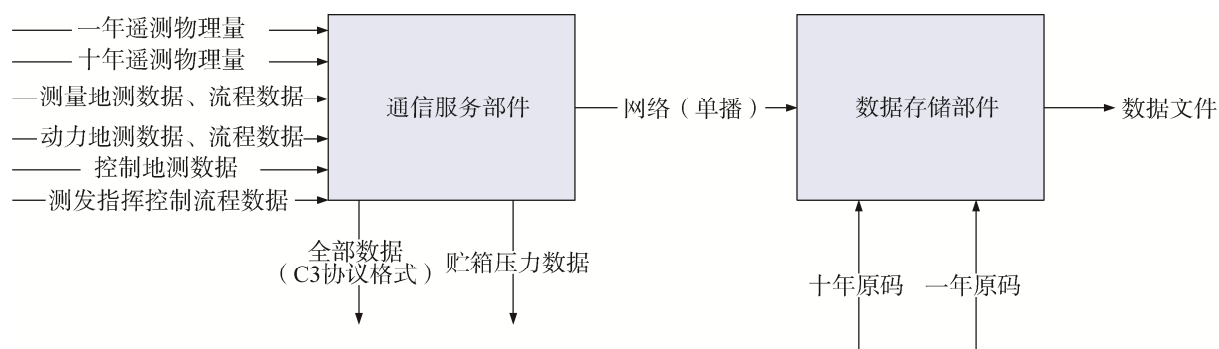


图 5 数据管理软件模块图

Fig. 5 The software module of data management

数据存储部件存在两种存储模式, 压缩存储和非压缩存储。非压缩模式下, 存储全部原始数据。压缩模式下, 除保存全部原始数据外, 提取年、月、日数据并存储, 即数据按年、月、日、原始共 4 级视图组织数据, 每一级压缩的数据点数控制在 10 万个点以内; 原始数据 8 小时存储一个文件。各级压缩文件在试验目录下独立建目录, 一个视图对应一个压缩文件目录; 指令数据不压缩, 各视图内均保存对应时段内的全部指令数据。启动存储软件时, 可以选择是否采用压缩存储模式。

数据通信服务部件主要实现数据的透传转发、数据的格式转换及转发和数据的挑路等三种功能。数据的透传转发是指接收到数据后不对数据进行处理即转发至目标地址; 数据的转换及转发是指接收到数据后转换为约定格式的数据并转发; 数据的挑路是指从接收到的数据中根据配置挑选参数。

数据存储部件程序框架包括主程序模块、存储控制模块、存储状态管理模块、缓冲区管理模块、数据源模块、数据处理模块、数据文件输出模块、数据压缩模块、底层通用模块、日志模块、配置管理模块、网络收发模块, 共 12 个模块。

数据通信服务部件程序框架包括主程序模块、数据接收模块、缓冲区模块、数据发送模块、数据处理模块、配置管理模块、状态显示模块, 底层通用模块, 共 8 个模块。

3.3 数据判读与分析软件

数据判读与分析软件由基础部件和模块部件两部分组成。

基础部件又由 BaseLib 模块和 DataIP 模块组成。BaseLib 模块定义了全局性的数据、数据类型、公用类(方法), 程序其他模块引用该模块的动态库以调用该模块定义的类型、方法完成功能。DataIP 模块是整个软件的主模块, 软件 main 函数以及主窗体都在该模块中, 该模块会调用其它各模块, 展现出整个软件的全部功能。

模块部件主要由人工判读模块、自动判读模块、自动判读判据编写模块、自动判读结果模块、用户管理模块、曲线绘制模块、判读报告管理模块、访问数据源接口模块、访问接口控制模块组成。

该平台以智能判读内核与结果集为核心, 智能判读内核读取数据源的数据, 并选择判据管理模块中的判据集, 根据判据对输入数据进行判读, 将判读结果保存至结果集中, 数据分析、实时结果监测与报告生成模块均以结果集为输入, 进行数据分析工作。其中, 事后数据分析模块完成数据的表格展现与曲线展现功能, 实现数据的精确分析。实时结果监测模块根据结果集的参数变化实时更新监测结果显示, 以数字刷新与曲线两种方式进行实时监测与判读, 并给出实时判读的结果。报告生成模块根据结果集中给出的结果自动生成判读报告。判据管理模块负责判据的描述、编辑、判据状态管理等。

4 关键技术

4.1 基于插件式架构的总体框架设计

数据处理与发布系统总体框架采用插件式架构, 抽象出数据提取器、帧提取器、数据处理器等多个插件接口, 插件采用统一接口设计, 每一个插件均是实现了标准接口的动态链接库, 由插件管理器进行统一管理, 实现自动识别与加载。实时处理框架根据系统配置创建若干个数据处理线程, 根据配置中插

件的类别, 数据处理线程对象向插件管理器请求创建插件服务, 生成所需的各插件, 各插件相互协作, 完成数据处理与输出的功能。通过系统配置, 每个数据处理线程均可选择已有的合适插件, 使得应用程序在框架与已有构件的基础上配置而成, 可实现“零代码编写”的理想目标。基于插件的设计具有良好的可重用性与可扩展性, 能把扩展功能从框架中剥离出来, 降低框架的复杂度, 让框架更容易实现; 降低扩展功能与框架之间耦合度, 两者在保持接口不变的情况下, 可以独立变化和发布。该架构设计使系统具备了良好的可扩展性, 通过开发和重构插件, 实现新数据类型的处理功能, 满足未来新的靶场试验需求, 插件配置重构时间仅取决于实现新功能的规模和复杂度。

基于插件的扩展性被认为是当前扩展进化一个系统的最具有实践意义的安全方式。插件使得第三方开发人员可以为系统做增值工作, 也可以使其他开发人员增加新的功能而不破坏现有的核心功能。插件还能将关注点分开, 保证隐藏实现细节。

4.2 高码率遥测数据实时处理与存储

高码率遥测数据实时处理与存储主要通过插件式架构和动态内存管理实现。

① 插件式架构

数据处理与发布系统应用插件式架构技术, 实现了对遥测数据全类型数据(缓变、指令、速变、串行数据、总线数据、复用数据等)的实时动态解析, 能够适应不同帧结构、不同数据类型、不同处理方法的重构、解析、处理和分发。

② 动态内存管理

应用内存重构管理技术, 实现了瞬时大数据的实时存储。当前航天飞行器遥测数据量是传统型号数据量的5~10倍, 瞬时数据量可达8 MB/s, 数据管理软件应用了动态内存控制技术实现了全部数据的实时存储, 确保了软件系统的整体处理效率和存储效率。传统模式下, 通常在每次试验结束后, 再启动数据事后处理软件对遥测存盘源码进行回放处理, 处理完毕后才开展数据判读工作。以某固体运载火箭型号靶场试验为例, 时间长度约一千多秒的试验数据从转换处理到生成数据结果的时间为四十分钟左右。数据实时处理与存储技术实现了该火箭型号5 MB/s遥测数据源码的实时处理与数据库存储, 在试验流程结束的同时, 遥测源码数据已完成了转换处理, 具备开展数据判读的条件, 从而省去了数据回放处理所需时间, 能有效提高测试效率。

4.3 飞行器遥测数据自动判读技术

① 遥测数据自动判读

IPL语言是Information Processing Language的缩写, 即信息处理语言, 通过对信息进行处理实现数据的智能判读。该语言是面向特定领域自定义的一门高级计算机语言, 可进行判据描述和自动判读设计, 现已具备较强的判据描述能力及基本的数据计算与分析能力。IPL语言的发展目标是一种面向航天领域的数据分析语言, 与测试数据、自动生成报告实现无缝集成, 为飞行器总体与各系统提供便捷、集成化、自动化的数据分析服务。

应用IPL语言进行自动判读的基本原理是通过数学建模的形式模拟飞行器的实际处理过程, 以飞行器实际输入作为数学模型的输入, 计算得到飞行器输出参数的理论值, 将理论值与弹上输出参数的实际值进行比对判读, 如图6所示。通过设定理论值与实际值差异的阈值, 实现了对数据的自动判读。阈值的选取与被测参数的测量量程相关, 通常情况下选取量程的 $\pm(1\% \sim 2\%)$, 如果差值小于该阈值, 可判定该参数在合格范围。以某固体火箭型号靶场试验为例, 各参试系统测量参数总计三千余项, 在传统的人工数据判读模式下, 单次试验各系统数十名测试人员完成对上述参数的数据判读所需时间约四到五个小时, 应用自动判读系统后, 完成对所有参数的判读仅用时不到一个小时, 数据判读时间缩短为原来的五分之一, 大幅提高了测试效率。另外, 传统模式数据判读的准确度也依赖于测试人员的认真程度和专注度, 容易出现漏判、误判等情况, 自动判读系统通过机器计算和趋势分析, 提高了数据判读的准确率。

② 数据判读报告的自动生成

数据判读与分析系统对自动判读与判读报告生成进行了一体化设计与实现, 完成自动判读后, 系统

自动生成判读结果的报告, 整个过程不需要人工干预, 大大减少了数据判读人员每次编写报告的时间, 将更多的时间与精力放在飞行器遥测数据的深入分析上, 而在传统测试模式下, 每次试验判读报告的编写均需要两个小时左右。

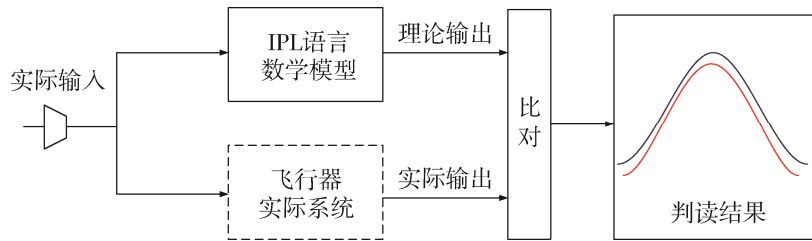


图 6 数据自动判读工作原理

Fig. 6 The principle of data auto interpretation

5 结束语

靶场试验遥测数据处理分析系统在 Windows 7 系统下采用 C++ 语言开发, 研制遵循了通用化、系列化、模块化的设计思想, 其实用性和准确性经过了靶场试验验证。传统试验模式下, 每次全系统测试数据处理和判读均需要 12 小时左右, 数据判读依赖于人工分析计算。该系统应用于靶场试验后, 数据处理及判读时间缩短到一小时以内, 计算机自动判读技术也极大地提高了数据计算分析的准确性, 节省了人力, 压缩了靶场试验周期。该系统的应用提高了飞行器靶场测试的质量和效率, 极大地推动了靶场测试技术的数字化智能化发展, 为靶场试验鉴定评估做出了重要贡献。

参考文献

- [1] 王洪凯, 李东星, 田恒春, 等. 小型空间飞行器通用化遥测系统设计与实现[J]. 遥测遥控, 2021, 42(1): 39–45.
WANG Hongkai, LI Dongxing, TIAN Hengchun, et al. Design and implementation of a modularity telemetry system for small space vehicle[J]. Journal of Telemetry, Tracking and Command, 2021, 42(1): 39–45.
- [2] 尹禄高, 陈志红, 陈策, 等. 一种遥测系统自动化测试平台的设计[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(4): 33–35.
YIN Lugao, CHEN Zhihong, CHEN Ce, et al. Design of automatic test platform for telemetry system[J]. Computer Measurement & Control, 2016, 24(4): 33–35
- [3] 王利伟, 刘春光. 基于 VBScript 的遥测数据处理技术研究[J]. 现代电子技术, 2015(11): 117–118, 122.
WANG Liwei, LIU Chunguang. Research on telemetry data processing technology based on VBScript[J]. Modern Electronics Technique, 2015(11): 117–118, 122
- [4] RICK G, ROBERT S. Oracle 高级编程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 61–109.
- [5] 王军庄, 常鲜戎, 顾卫国. 基于 OCL 技术的 Oracle 数据库数据快速存取研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(9): 53–56.
WANG Junzhuang, CHANG Xianrong, GU Weiguo. Research on quick access in Oracle database based on OCL technology[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(9): 53–56.
- [6] 王昊, 秦莹, 刘志旭. Oracle 数据库装载外部数据工具 SQL*Loader 的应用[J]. 辽宁工业大学学报(自然科学版), 2008, 28(5): 290–292.
WANG Hao, QIN Ying, LIU Zhixu. Application of Oracle's-SQL*Loader[J]. Journal of Liaoning University of Technology (Natural Science Edition), 2008, 28(5): 290–292.
- [7] 李砥擎, 朱维宝, 王庆成, 等. 一种用于航天器数据监视的知识表示方法[J]. 计算机测量与控制, 2006, 14(3): 289–292.
LI Diqing, ZHU Weibao, WANG Qingcheng, et al. Knowledge representation approach to spacecraft data monitoring[J]. Computer Measurement & Control, 2006, 14(3): 289–292.
- [8] 张全寿, 周建峰. 专家系统建造原理及方法[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1992.
- [9] 张炜, 张玉祥. 导弹动力系统故障机理分析与诊断技术[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006.
- [10] 周东华, 叶银忠. 现代故障诊断与容错控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [11] 蔡自兴, 姚莉. 人工智能及其在决策系统中的应用[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2006.

[作者简介]

于 峰 1967 年生, 硕士, 正高级工程师, 主要研究方向为飞行器试验总体。

郭 珈 1983 年生, 博士, 工程师, 主要研究方向为飞行器遥测遥控技术。