

实时反射内存网络在试飞实时监控中的应用

盛勇, 白光丰, 范旭明

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

摘要: 围绕试飞实时监控系统的结构和现代飞机试飞和航空武器试验的特点, 为满足实时监控时更高的实时性、可靠性要求, 文章给出了基于实时反射内存网络的实时网络解决方案, 并对实时反射内存网络与传统计算机网络进行了对比分析, 通过试飞试验验证, 证明是一种成熟、有效的试飞实时监控系统的体系结构。

关键词: 实时网络; 试飞监控; 实时反射内存网; 飞行试验;

Application of Reflective Memory Network in Flight Real-time Monitoring System

Sheng Yong, Bai Guangfeng, Fan Xuming

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: Around flight real-time monitoring system of structure and modern aircraft flight and aviation weapons test of features, to meet the real-time monitoring of real-time high reliability requirements, this to out has based on real-time reflection memory network of real-time network settlement program, and on real-time reflection memory network and traditional computer network for has contrast analysis, through flight test validation, proved is a mature, and effective of flight real-time monitoring system of system structure.

Keywords: real-time network; flight monitoring; real-time reflective memory network; flight test

0 引言

现代飞机和航空武器的试验中, 需通过试飞实时监控系統及时了解飞机及其系统状态, 监督试飞员的操作和操纵, 发现问题及时提醒试飞员, 以一个技术团队的力量支持试飞员试飞, 这对于保证试飞安全具有重大意义。大量事例表明, 试飞实时监控系統有助于保障试飞安全, 有助于提高试飞质量, 有助于加快试飞进度。

试飞实时监控系統是飞行试验任务执行过程中实现地面实时指挥控制的自动化平台, 系统集实时数据处理与显示、指挥与监控、事后回放演播等多功能于一体, 是直接面向指挥员及各类技术、保障人员的决策支持系统。系统建设对于丰富指挥手段、改进试验方法、提高试验效率和确保试飞安全等具有重要意义。

1 试飞实时监控系统的结构及原理

试飞实时监控系統实时接收飞机上加装的机载采集设备传输的遥测数据(PCM、视频), 对接收到的遥测数据进行数据提取、工程量解算、导出参数计算, 并与地面测试设备的多路多种类数据同步处理和实时记录, 同时将所有处理后的飞行数据以三维视景、电子地图、仪表、平显、曲线、图表、文字等多种方式进行显示。试飞实时监控系統为试飞工程师和指挥员提供丰富、直观的决策信息;

试飞实时监控系統从功能上划分主要由遥测数据接收, 综合数据处理, 实时数据监控等3个部分组成, 整个系統以网络为基础, 构成了一个开放式的体系结构, 参见图1所示。

(1) 遥测数据接收: 由自动跟踪天线, 天线控制器, 遥测接收机等设备组成, 完成天线自动跟踪控制, 遥测 PCM 数据

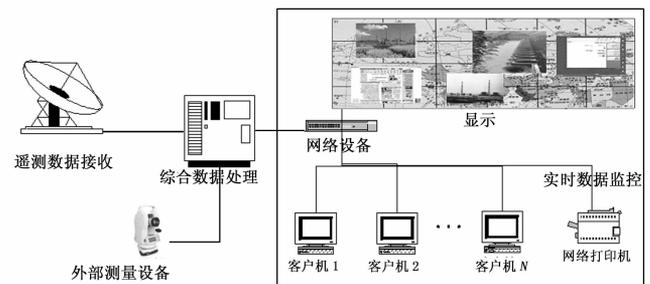


图1 试飞实时监控系统的体系结构示意图

和视频图像、以及卫星数据的接收。

(2) 综合数据处理: 由嵌入式遥测前端处理器, 控制台终端等设备组成, 完成多路 PCM 数据的分路、采集、工程单位转换、与其它数据流参数(外部测量参数、GPS 数据)的融合处理(时间协调、合并)、以及数据传输等任务。

(3) 实时数据监控: 由多台 PC 机、条图仪、大屏幕投影仪、监控台、视频、音频等设备组成, 形成一个现代化的监控大厅, 是实时监控和事后数据处理, 试飞工程师和试飞指挥人员的重要工作场所。

试飞实时监控系統在执行飞行试验任务时, 需要处理大量的飞行数据处理, 飞行数据包括机载数据(传感器、总线、音频、视频等)和来自外部测量数据(雷达、光电经纬仪、GPS 等)的多路多种类数据, 试飞过程中在进行实时处理的同时还必须将这些不同类型的多路数据进行采集、记录以及综合处理, 试飞实时监控系統还要承担事后多路数据的同步回放, 重现试飞过程、评估试飞状态。试飞实时监控系統需要承担的任务如图2所示, 从图中可知试飞实时监控系統的体系结构和实时数据处理软件是试飞实时监控系統系统的灵魂, 体现试飞实时处理技术水平高低和功能强弱, 而体系结构则是整个系統的基础, 合理的设计不仅使试飞实时监控系統研制起点高, 风险

收稿日期: 2014-03-02; 修回日期: 2014-04-10。

作者简介: 盛勇(1969-), 男, 浙江宁波人, 高级工程师, 主要从事遥测监控技术方向的研究。

小，投资少，收效快，而且还能使系统更加具有生命力。

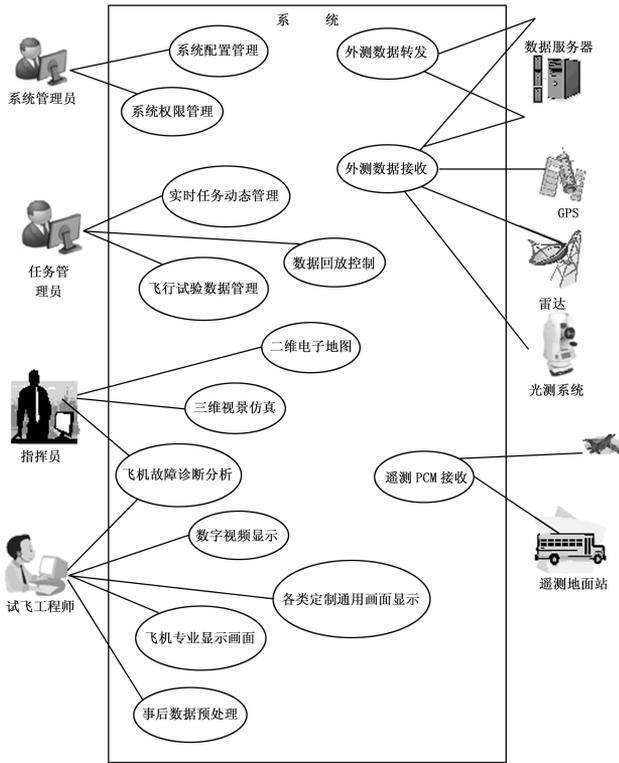


图 2 试飞实时监控系统的处理任务示意图

随着现代飞机飞行试验向综合试飞、多机协同试飞的模式发展变化，使得确保试飞安全和提高试飞效率成为试飞实时监控系统的任务。随着试飞任务监控从当前试飞动作效果监视到试飞动作的过程监控和动作效果准实时评估的方向发展，对试飞实时监控系统的实时性有很高的要求。

试飞实时监控系统的实时性是一个基于网络平台的系统，传统的网络技术，如基于 TCP/IP 协议的以太网、FDDI 等在实时处理应用中普遍存在以下几个方面的缺点：数据传输率低；当网络负载较大时，网络传输延迟明显加剧，且延迟具有不可预测性；网络通信需要借助多种网络协议完成，软件开销大，降低了通信的效率。针对上述缺陷，我们采用一种基于实时反射内存网的试飞实时监控系统的网络通信解决方案，可以较好地减轻网络延迟的影响。

2 试飞实时监控系统的硬件设计

2.1 反射内存通讯原理

实时反射内存网 (RMN, Reflective Memory Network) 是一种高速的实时网络，由反射内存卡通过光纤等传输介质连接而成。每个反射内存卡都有一段内存地址。网上的任何一台计算机向本地反射内存卡写数据时，该数据和相应的内存地址将在极短的时间内广播到网上所有的反射内存卡并存储在相同的偏移位置上，于是网络上的所有计算机都可以访问这个新数据。反射内存使用简单的读写方式，实时网络的反射内存卡上的数据传输是纯硬件操作，不需要考虑网络的通信协议，其网络延迟仅仅是节点数 n 和所用宽带比例 $B\%$ 的函数，有： $t=f(n, B\%)$ ，因此它与以太网等其他传统网络相比具有更低的数据传输延迟、更快的传输速度，更简单灵活的使用操作，可

以满足实时系统快速反应周期的要求，而采用其他网络就很难满足这种要求。

2.2 实时反射内存网技术优势

实时反射内存网与以太网的技术进步首先在数据通信的实现上，以太网采用软件的方法实现 OSI 模型中各相邻层间的数据通信，整个过程要占用机器的 CPU 时间，且数据包一般较大，因此以太网的通信方式有利于提高效率和带宽，但不利于量小而突发性强的实时数据传输；而实时反射内存网采用硬件方法实现数据通信，它并不附着冗长的协议信息，不使用国际标准化组织 (ISO) 的七层通信模型，不再需要建立在消息传递网络上的笨重的、费时的和非确定性的协议，通信完全不占用 CPU 时间，且数据包非常小，有利于突发性的数据传输，可以满足实时应用。

实时反射内存网的确定性和可预测性以及支持中断信号传输是实时反射内存网与以太网相比的主要优势。以太网的 CSMA/CD (载波监听多路访问/冲突检测) 的传输机制决定了其很难保证传输延迟的确定性。中断信号是实时系统中非常重要的功能，可用于系统中的同步和事件响应。另外实时反射内存网和以太网相比具有更为可靠完善的硬件错误诊断和处理机制。它还支持不同总线结构的计算机系统，通过光纤相连，通信速度高达 2.1G 波特率，具有很强的纠错能力，很低的软件开销，且可以使用不同的操作系统来共享数据。

表 1 实时反射内存网技术优势示意图

特性	实时反射内存	10/100 以太网	千兆位以太网
传输速度	2.2/4/8 Gbaud/s	10/100 Mbit/s	1 000 Mbit/s
数据传输速度	170/350/700 MB/s	1/10 MB/s	100 MB/s
字节数据转换	是	否	否
软件透明	是	否	否
媒介	光学纤维	同轴电缆, 双绞线	光学纤维
拓扑结构	环形	环形, 集线器	环形
网络数据传输/确定接收?	是	否	否
网络传送方案	数据插入	载波监听多路访问冲突检测	令牌传递
内在映射访问共享数据?	是	无传报应用必须建立	无传报应用必须建立
必须构建应用共享数据?	否	是一传报应用	是一传报应用
应用必须编码/解码信息?	否	是	是
应用必须执行错误检核/处理再发送?	否	是	是
CPU 溢出支持共享数据功能?	否	是	是
CPU 溢出需要传输硬件接口?	否	是	是

2.3 实时反射内存网在实时监控系统中的实现

试飞实时监控系统的实时性采用实时网络体系结构后，不需要开发额外通讯软件，省去软件开发开销和周期，利于提高系统的可靠性；同时由于网上的所有数据可以实时共享，因此网上的每

一台计算机即可承担处理计算, 亦可承担数据实时监控, 弱化了以太网体系架构的服务器和客户机的分工, 使得试飞实时监控系统的管理变得简单, 系统可靠性增强, 同时飞行试验的专业化处理实现更容易。

试飞实时监控采用 GE 公司的 VMI-5565 实时反射内存卡, 采用星型的网络结构模式, 通过网络集线器的自动旁路功能, 网络上任何节点的断开 (节点计算机不启动) 不会影响其它节点和整个实时网络的正常运行, 这样便于系统的调试, 更有利于提高系统的运行可靠性和简易性。

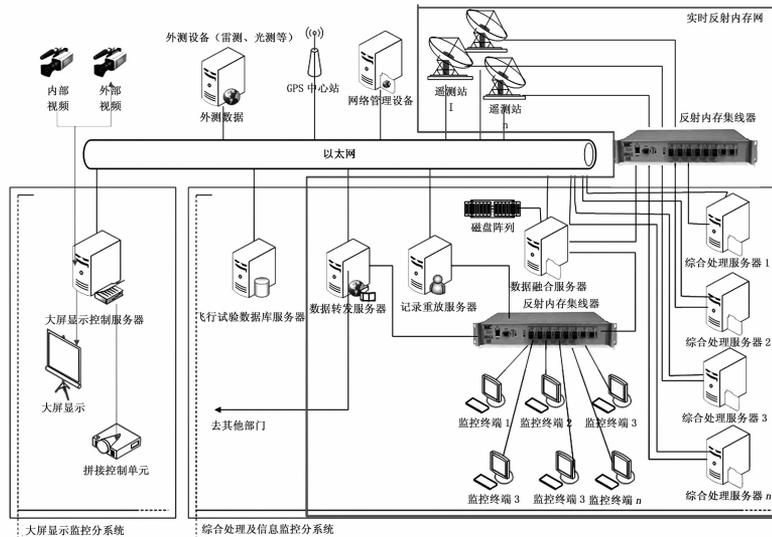


图 3 基于实时反射内存网的网络结构示意图

在图 3 中, 右上侧红框区域的将所有监控终端、数据存储回放服务器、数据转发服务器等设备加入到实时反射内存网中, 即满足多数据流同步处理的实时性要求, 也满足了实时监控的实时性要求, 为了与以往系统的兼容, 这些设备也同时与以太网相连接。

3 试飞监控系统的软件实现

飞行数据种类多 (包括 PCM、视频、音频、雷测、光测...)、数据量大、参数个数多, 单个服务器已无法满足当前数据实时处理的要求, 如果用分散的服务器处理指定的数据流, 又会造成数据流之间的同步、融合的困难, 通过我们的独特软件设计, 实现了多个处理服务器之间任务的自动均衡调度、集中配置管理, 满足了实时数据处理要求。

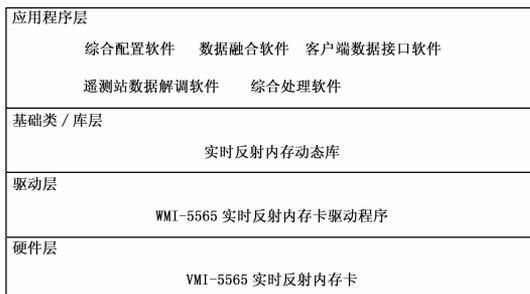


图 4 试飞监控系统软件结构示意图

试飞监控系统软件可以分为四层结构, 分别是硬件层、驱动层、基础类/库层和应用程序层, 如图 4 所示。其中硬件层

与驱动层是采购的产品, 由厂家提供, 软件设计师只需要完成基础类/库层和应用程序层的设计和开发。

3.1 驱动层

(1) 实时反射内存动态库: 该动态库使用 C++ 语言开发, 封装了反射内存卡原驱动程序提供的的数据接口, 是板卡驱动程序与应用程序之间的纽带。该动态库为应用程序提供了直接数据调用接口, 应用程序不需要考虑反射内存区地址的分配以及反射内存区域中复杂的数据结构, 只根据需要调用响应的数据读取或者数据写入函数即可。比如: 综合配置软件要获取某一条数据流的时间信息, 直接调用下面的函数即可。

```
BOOL GetStreamTime ( int iStreamNo,
DWORD * dwTimeData);
```

在调用过程中, 综合配置软件不需要知道时间信息保存在哪个地址段上, 也不需要知道反射内存中时间信息的保存结构是什么样的, 从而大大简化应用程序的反射内存数据接口。

3.2 应用层

(1) 遥测站数据解调软件, 运行在遥测站上, 解调 PCM 数据, 形成数据包, 通过反射内存发送给综合处理服务器。

(2) 综合处理软件, 运行在各综合处理服务器上, 自动与其他综合处理服务器均衡负担处理任务, 负责所有数据流的数据接收、参数解算、视频提取、音频提取、异步块提取等, 将结果数据写入反射内存相应区域;

(3) 综合配置软件, 运行在任何一台综合处理服务器上, 负责对 SETUP 文件的下载、任务计划配置、数据源配置等, 形成配置文件保存在反射内存的指定区域, 其他服务器可以共享这些信息, 从而实现各个服务器之间的调度与协调工作;

(4) 数据融合软件, 运行在数据融合服务器上, 负责对所有数据流的结果数据进行同步、融合, 形成工程数据包、视频数据包、音频数据包、异步块数据包等, 通过反射内存发送到监控终端。

(5) 客户端数据接口软件, 运行在各个监控终端上, 通过反射内存接收工程数据、视频数据、音频数据和异步块数据等, 对这些数据进行分类处理后, 将需要的信息传递给各种显示画面, 实现数据的可视化显示。

各软件模块之间关系如图 5 所示。

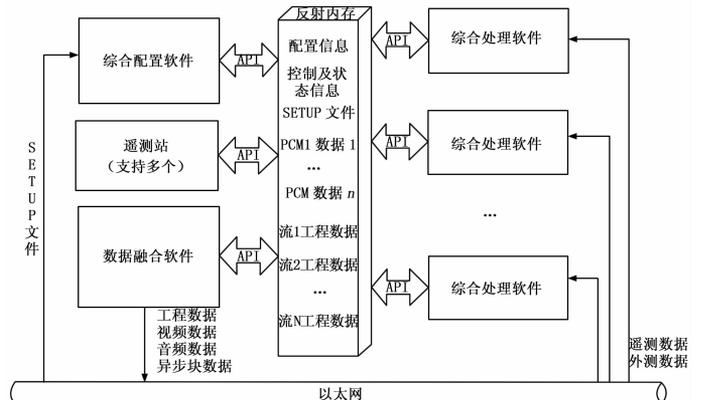


图 5 在综合服务器组内建立实时反射内存网的软件模块结构示意图

建立这样完整的实时反射内存网后，系统内的设备间数据通信都是直接通过反射内存写入、读取数据，与以往从以太网通过 UDP 来接收数据相比，实时性有了很大提高。系统设备间数据流示意图如图 6 所示。

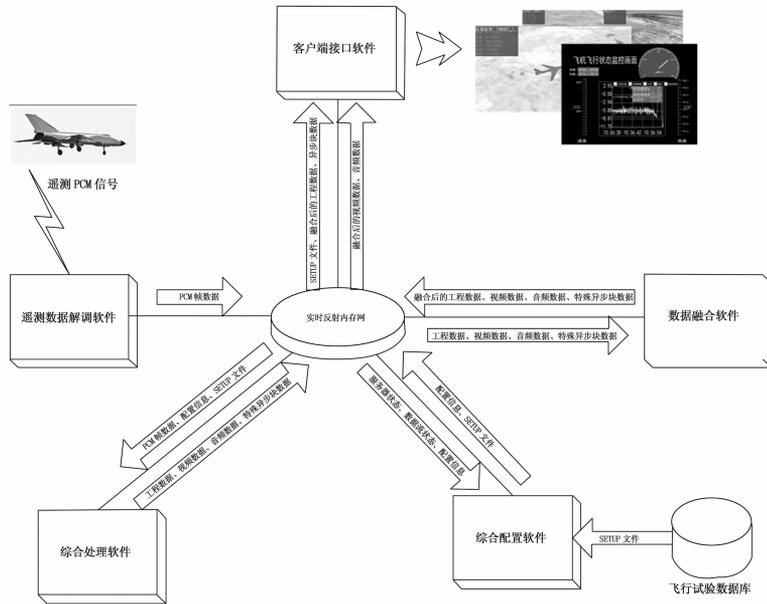


图 6 数据流示意图

4 系统的应用与分析

由实时反射内存网络技术构建起来的试飞实时监控系统是

一种能够在确定的时间内执行计算或处理功能并对外部的异步事件做出响应的试飞实时监控系统，其通信的确定性和可预测性，使得能够设计出系统延迟时间短、运行效率高，实时性能好的监控系统。实时反射内存网的诸多技术优势使其成为实现试飞实时监控系统的一种理想技术，非常适合用于构建良好的分布式试飞实时监控系统。

采用该项技术进行设计的试飞实时监控已在某基地飞行试验中应用，经验证，该系统具有通信实时性好，数据传输速度快（传统采用以太网的监控系统数据延迟（从解调后到显示到画面）为 200 ms 以上，而采用实时反射内存网的监控系统，数据延迟只有 70 ms），传输可靠性高的特点，满足飞行试验和武器试验的需要，取得了良好的效果，实践证明是一种成熟、有效的试飞实时监控系统。

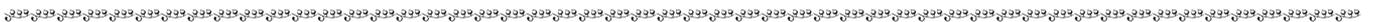
参考文献：

[1] 周自全. 飞行试验工程 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2010

[2] 白效贤, 杨廷梧, 等. 航空飞行试验遥测技术发展趋势与对策 [J]. 测控技术, 2010, 29 (11): 6-9.

[3] VMIPCI/SW-RFM1-ABC-940 Driver for the PCI bus, Reflective Memory Interfaces on the Windows NT 4.0, Windows 2000 and Windows XP Operating Systems, User's Manual [Z]. VMIC, 2002.

[4] VMIPCI-5565, Ultrahigh-Speed Fiber-Optic, Reflective Memory with Interrupts [Z].



(上接第 2296 页)

2 再生制动能量电阻吸收系统应用效果

通过试验线列车再生制动试验测试，广州地铁 5 号线车辆的试验中对电阻吸收系统的 DC1500V 系统进行验证，完成 4 列车的动态试验，在列车 60 km/h、100%电制动时吸收电流 800 A、网压 1 735 V，吸收功率约 1 500 kW；北京地铁 8 号线车辆的试验中对吸收系统的 DC750V 系统进行验证，在列车 60 km/h 电制动投入时吸收电流 1 885 A、网压 850 V，吸收功率约 1 600 kW。列车再生制动时，再生电流回馈至电网会使网压升高，经检测控制系统判定网流方向反向和网压到达斩波器的启动电压（1 700 V/850 V）时，IGBT 开通，吸收支路吸收制动电流并使网压下降。调节过程中 IGBT 由 PWM 信号发生器产生的 PWM 脉冲驱动，其中 PWM 脉冲的占空比是通过 PID 调节器得到的，当网压大于斩波器关断电压（1 620 V/810 V）时，占空比才大于零，否则为零，占空比的大小与网压成正比，同时 PWM 信号发生器会产生相应占空比的 PWM 脉冲控制 IGBT 的通断，但 IGBT 要在网压大于斩波器的启动电压和网流反向时才开通，开通后即对电网电压进行调节。从列车试验测试结果可知，吸收装置根据设置参数或测定参数要求，能够快速地进行电流跟踪和恒压运算，当车辆制动级位较低时，即回馈电流较小，经控制单元运算后调节斩波器的导通

比，使斩波器处于低开通状态；随着制动极位的增加，控制系统经 PID 实时运算，快速调节斩波器导通比，以维持网压的相对稳定，直至网压低于设定的吸收电压值关闭斩波器。整个吸收过程可以根据网压变化及再生功率大小实现实时控制。达到了预期的吸收效果，满足了地铁车辆再生制动工况试验要求。

3 结论

再生制动能量电阻吸收系统解决了列车再生制动试验时向线网回馈能量造成网压过高致使列车 VVVF 过压保护无法完成再生制动试验的问题，同时也解决了车载制动电阻发热造成车载设备温升高的问题。目前，电阻吸收系统在公司内动态试验线已投入使用，实现了列车再生制动能量自动跟踪吸收，提高了列车试验能力和试验工艺水平。

参考文献：

[1] 王彦峥、苏鹏程. 城市轨道交通再生电能回收技术方案的研究 [J]. 电气化铁道, 2004, (2): 37-40.

[2] 孙延焕. 再生制动吸收设备的应用介绍 [J]. 电气化铁道, 2005, (3): 40-43.

[3] 刘培栋、王卫东. 再生制动吸收装置在重庆轻轨中的应用 [J]. 都市轨道交通, 2006, 19 (3): 84-86.