

机载千兆网络数据记录器设计与实现

霍建华, 王留全, 王亮, 邢达波

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

摘要: 为了满足对新一代网络化机载测试系统输出的海量高速网络化测试数据记录的需要, 设计并实现了一种基于 COMe 主控模块和工业级通用固态硬盘的机载千兆网络数据记录器; 该记录器使用集成有英特尔处理器、板载 DDR3 内存和 FLASH 存储器的 COMe 主控模块, 可进行 IRIG-B-AC 时间码授时的底板和作为数据存取介质的固态硬盘构成硬件系统平台, 并采用 Linux 嵌入式操作系统和优化的数据存贮算法程序, 完成了一路千兆机载测试网络数据流的接收、打包和记录; 试验室和飞机上大量实验结果表明该记录器工作性能稳定, 无误码和丢包现象, 可以大量应用在使用环境复杂的飞机网络化机载测试系统中。

关键词: 机载测试系统; 网络数据记录; 千兆网络; 固态硬盘

Development of aircraft Gigabit Network Data Recorder

Huo Jianhua, Wang Liuquan, Wang Liang, Xing Dabo

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

Abstract: In order to meet the requirement of high-speed and high-capacity network data recorder for new network Airborne test system, this paper developed a gigabit network data recorder based on COMe module and SSD. The COMe module which had an Intel processor, DDR3 chipsets and FLASH, Solid State Disk and Motherboard integrated system hardware platform that used Linux embedded operating system. Application tests and experiments show that the recorder is high degree of reliability, no bit error, no packet loss and wide application aircraft network test system.

Keywords: airborne test system; network data record; gigabit network; solid state disk

0 引言

随着飞行试验试飞科目和课题的日益复杂, 被测参数的种类和数量的成倍增加, 飞机机载测试系统测试参数容量和传输带宽的要求也在逐日提高。传统以 PCM 为架构的机载测试系统已逐渐被以网络为架构的机载测试系统所取代, 成为机载测试系统的发展趋势^[1-2]。尤其在以 A380, C919 等大型飞机的飞行试验中已经成功应用了网络化机载测试系统, 在科研试飞领域带来重大影响^[3-4]。

文中主要阐述了机载网络化测试系统中需要解决的一个问题^[5], 即对测试系统中输出的网络化数据流的接收和记录。本文以工业中常用的基于 X86 架构的 COMe 工控主板模块作为核心控制模块, 以 SSD 标准固态硬盘作为数据记录盘, 以精心裁简后的 LINUX 为嵌入式操作系统, 结合独自设计的 IRIG-B-AC 时间码解码授时系统, 实现了一路高达千兆的网络数据流的接收和记录, 并以通用的标准 PCAP 包格式存储在固态硬盘中, 为网络化机载测试系统高速大容量数据记录提供了可靠, 方便和经济的解决方法。

1 总体方案设计

在飞机飞行前, 测试人员插入 SSD 固态记录盘, 检查该记录器显示的网络连接、记录容量、实时时间等各种状态信息, 飞行过程中该记录器对测试系统输出的网络数据流进行自动记录, 飞行后测试人员拔出记录盘送到地面站进行数据卸载

并处理分析; 因此其总体方案组成主要由 COMe 主板模块、显示控制模块电路、IRIG-B 授时模块电路、电源模块电路、设备壳体以及可拆卸的 SSD 固态硬盘等组成, 其系统组成示意图如图 1 所示。

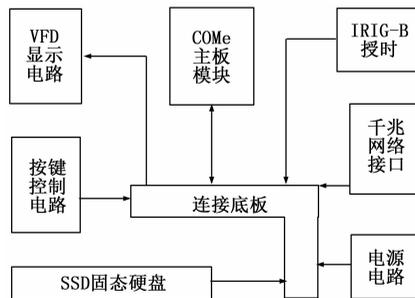


图 1 系统组成示意图

COMe 主板模块、千兆网络接口、IRIG-B 授时模块、显示控制模块和电源模块通过底板连接在一起。系统上电工作时, SSD 固态记录盘插入到底板上的 SATA 接口上, COMe 主板模块完成系统启动, IRIG-B 时间授时及设备自检后, 在 VFD 显示屏显示检测的设备状态信息和时间信息; 如果记录开关打开, 则对网络数据流开始进行打包记录。整个飞行试验完成后, 测试人员将 SSD 固态记录盘取下, 在地面处理机房将设备与台式机或笔记本通过 SATA 接口连接, 进行数据卸载和事后分析处理工作。

2 硬件设计

2.1 COMe 主板模块

COMe 主板模块作为记录器的核心控制模块, 需要具有包括千兆网络接口、串口、SATA 接口、USB 接口和 VGA 接口

收稿日期: 2015-10-29; 修回日期: 2015-12-07。

作者简介: 霍建华(1984-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事飞行试验、遥测系统方向的研究。

等一般工控主板常用的功能接口；同时根据机载使用环境的要求，需要该主控板具有板载的大容量 FLASH 程序芯片和 DDR 内存芯片。因此这里选用了研华公司最新推出的型号为 SOM-7562 的 COM Express 微型工控主板模块，其结构如图 2 所示。

具下进行的，主要使用 Verilog-HDL 语言编写的状态机完成了时间信息解算和秒脉冲输出软件的开发。FPGA 利用包含了时间信息的 B 码码元解算，形成秒、分、时、天、年 BCD 时间信息和秒脉冲输出。其主要是设计不同的计数器对低电平脉冲宽度进行判别^[8]。其程序流程图如图 4 所示。

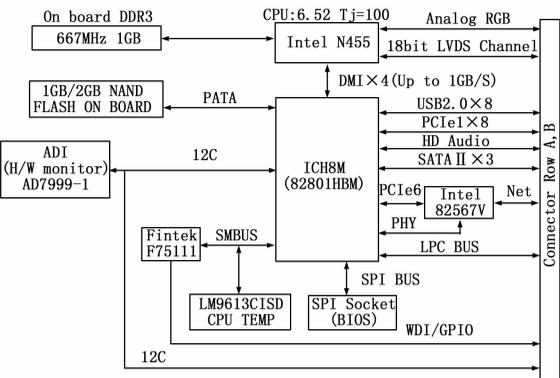


图 2 主控板结构图

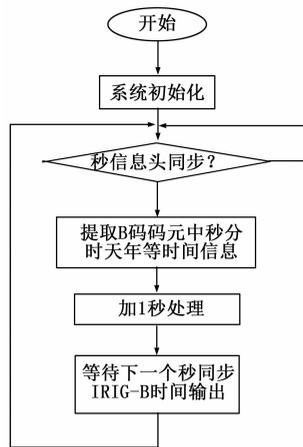


图 4 IRIG-B 码解码程序流程图

2.2 时间解码授时模块电路

授时模块电路主要由 FPGA、MCU 和 SUPERIO 芯片以 LPC 总线接口与 COMe 主控模块电路进行通信，采用从设备通信模式。本系统中，FPGA 实现高精度的 IRIG-B-AC 时间码解码电路，并将解码好的时间信息发送到 MCU 中，并发送 1 路 1PPS 信号到 MCU 内。MCU 控制电路实现时间信息和主控模块电路的 LINUX 系统授时，实现 ms 精度级别的系统时间，满足本系统中 PCAP 数据包内所要求的时间参考^[6-7]。其原理示意图如图 3 所示。

3.2 Linux 系统移植和编程

基于 LINUX 的嵌入式操作系统开发需要预先搭建基于 PC 机的 Linux 操作系统与相关环境，利用虚拟机自带的 VM-wareTools 和 Linux 下 Samba 服务功能，可方便实现 Linux 与 Windows 之间共享^[9-10]。Linux 内核采用了模块机制运行，为了提高执行效率和可靠性，仅保留了该记录器必须的相关代码，而其他非必须的部分代码则进行了适当的裁减。在裁减好的 LINUX 操作系统中进行了应用程序的设计。

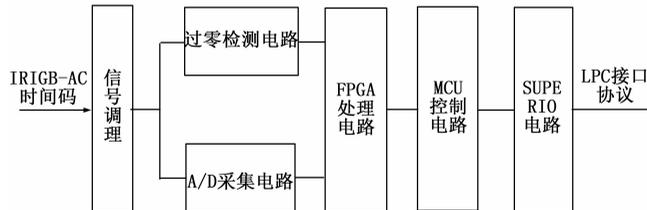


图 3 时间解码电路原理图

嵌入式应用程序主要完成设备硬件自检，系统授时，网络的通讯协议建立，数据记录和文件格式的管理等功能。其概要流程图如图 5 所示。

2.3 显示控制模块电路

显示控制模块电路主要由 VFD 显示屏和壳体上的按键组成，VFD 显示屏显示包括时间、网络连接、记录盘容量等工作状态信息，并配合按键进行简单的功能操作。该设计主要注意两点，一是为了应用在复杂的机载环境中，要求注意显示屏温度范围和显示亮度，另一个是对按键电路进行去干扰和防抖动设计。本模块电路设计选用了高亮和宽温的 VFD 显示屏，并在硬件和软件同时进行了按键的防干扰和防抖动设计。

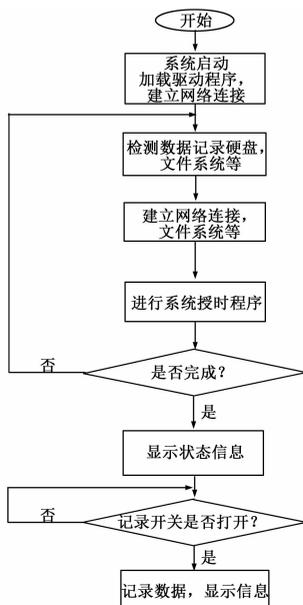


图 5 主控程序流程图

3 软件设计

根据不同的功能应用要求，对现场可编程门阵列 FPGA、微控制器 MCU 和 Linux 操作系统进行不同的功能程序设计。系统软件设计的整体思路采用模块化、结构化的编程方法，设计了 IRIG-B-AC 码解码程序，在主板模块系统中移植了裁简后的 LINUX 嵌入式操作系统和应用程序设计。

3.1 IRIB 时间码解码程序设计

对 FPGA 芯片进行的程序设计是在 QUARTUSII 开发工