

# 一种机载大容量总线监控器的设计研究

陈瑜, 李爱军, 王雯, 周前柏

(中国航空计算技术研究所, 西安 710119)

**摘要:** 飞机上多种总线交错复杂的工作方式, 决定了在飞行过程中需要强有力的保障措施, 对飞机的工作状态进行健康监控; 介绍一种机载大容量总线监控器的设计与实现方法, 从应用的角度出发, 阐述了其特点、主要功能、硬件系统及软件设计等; 在软件设计的过程中采用基于实时多任务操作系统和 FPGA 开发环境, 对设备工作中的 1553B 总线、CAN 总线和 HB6096 总线的线上数据进行监控并记录; 最后在实验室环境下对设备进行测试验证, 验证结果满足功能性能要求。

**关键词:** 总线监控; 记录; 1553B 总线; CAN 总线; HB6096 总线

## Design and Implementation of On-board Multi-bus Monitor with Mass Storage Capacity

Chen Yu, Li Aijun, Wang Wen, Zhou Qianbai

(China Aeronautics Computing Technique Research Institute, Xi'an 710119, China)

**Abstract:** The complexity introduced by interactions among heterogeneous types of on-board buses requires comprehensive health monitoring on aircraft's status. In this paper, we introduce a multi-bus monitor system with huge storage capacity with details about the features, major functions and hardware/software design. The system supports to monitor and record 1553B bus, CAN bus and HB6096 bus at the same time. Real-time multitask OS and FPGA has been used in the system to achieve high monitoring/storage performance and reliability.

**Key words:** multi-bus monitor; recorder; 1553B bus; CAN bus; HB6096 bus

### 0 引言

随着航空电子技术的发展, 机载系统日益综合, 机载设备日益复杂。航空总线作为飞机的神经网络, 起到重要的作用。为了有效地提高飞机的健康监控性能, 机载总线监控器根据需求而研发并投入使用, 总线监控器具有故障记录和数据下载功能, 便于飞机地面维护人员的地面维护。总线监控设备已经成为飞机必不可少的保障设备, 根据国外针对航空总线测试技术进行的研究, 具有多总线监控功能、可靠性稳定的机载总线监控设备越来越受欢迎, 已应用在多种军用机型上。可见功能集成、使用便捷、运行稳定已成了总线监控设备的主要具备设计要求。

### 1 任务特性

该总线监控器通过监控飞机机电系统多种总线, 完成对飞机在飞行或地面维护状态下机电系统功能的监控和记录。各总线标准之间的差异对总线监控器提出了新的要求, 即具备高复杂度、综合调度功能的总线监控记录设备<sup>[1]</sup>。总线监控器监控的总线包括 1 路双余度 1553B 总线、1 路双余度 CAN 总线、5 路单余度 CAN 总线和 22 路 HB6096 数据总线输入接口。

根据解析出的以上各种总线数据内容, 在飞机地面维护的情况下, 可将数据与相应的 ICD 对比、分析, 判断飞机在飞行的过程中总线数据是否按照 ICD 要求传输, 是否存在缺陷,

可检查各系统交互运行是否准确无误。总线监控器的任务控制流程如图 1 所示。

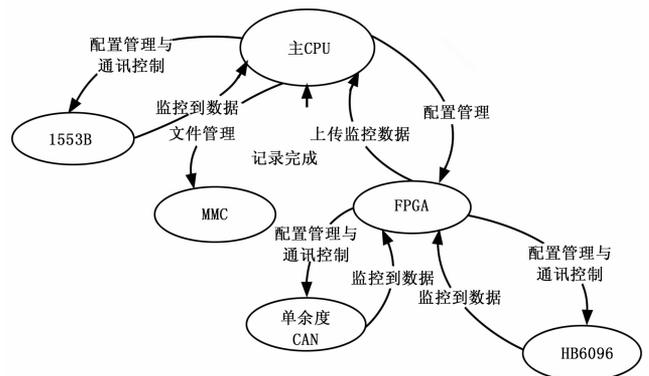


图 1 总线监控器的任务控制流程

主 CPU 面向用户, 负责对各种总线的监控和记录调度。其中, 1553B 总线信息和电子盘的文件管理由主 CPU 直接管理, 对 CAN 总线和 HB6096 总线的信息由 FPGA 直接管理, FPGA 作为主 CPU 的从设备, 通过 PCI 总线上传主 CPU 监控到的 CAN 总线和 HB6096 总线的的数据。文件的记录管理任务由主 CPU 负责完成, 总线监控器工作任务采用双层控制流程, 每一级分工明确, 控制条理清晰有效。

### 2 总体设计

#### 2.1 硬件系统设计

总线监控器硬件外形是一个采用密闭结构的 SRU 模块, 由内部的组合模块和结构件组成, 结构件主要用于散热。总线

收稿日期: 2014-01-06; 修回日期: 2014-03-21。

作者简介: 陈瑜(1981-), 女, 陕西镇坪人, 工程师, 主要从事航空机载、弹载计算机接口技术和测试模拟技术研究。

监控器采用高密度组装形式，物理构造由基板加功能子卡的形式组成。总体构架示意图如图 2 所示。

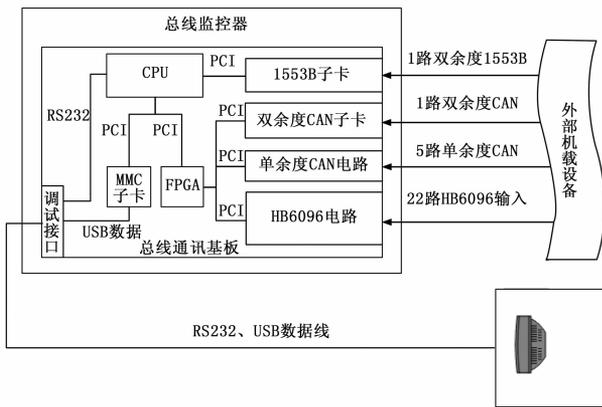


图 2 总线监控器总体构架示意图

总线监控器工作电压 28 V，上电后自动进行监控和记录任务，使用的子卡包括 CPU 子卡，双余度 CAN 子卡，双余度 1553B 子卡和 MMC 子卡（大容量电子盘）。这 4 种子卡安装在总线通讯基板上。总线通讯基板采用具有处理器内核的 FPGA 技术，实现高速信号采集、信息共享和集中管理。基板上设计 PCI 主桥，FPGA 的内核处理器通过 PCI 主桥访问 CAN 子卡内的双口 RAM，对 HB6096 电路和单余度 CAN 总线电路进行通讯控制，将相应的控制命令和通讯数据通过 PCI 总线对下级从设备进行访问，实现 FPGA 和子卡之间的数据交换。CPU 主处理器驻留用户应用程序，用户通过运行应用程序的调用，实现对 FPGA 内双口 RAM 的访问，从而实现 CPU 和 FPGA 之间的数据交互。

总线通讯基板由处理器电路、复位电路、时钟电路、电源转换电路、HB6096 接口电路、CAN 接口电路和 A/D 转换电路及 BIT 激励电路等组成。总线通讯基板逻辑结构如图 3 所示。

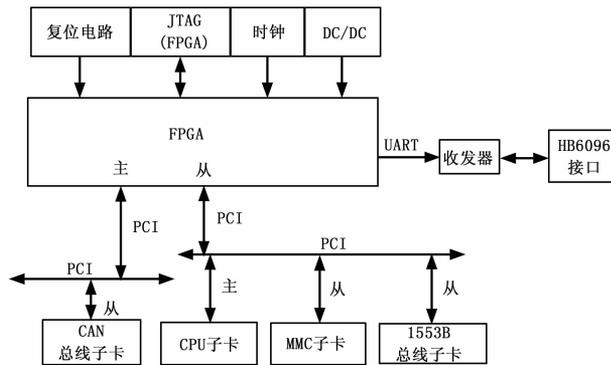


图 3 总线通讯基板逻辑结构图

总线通讯基板采用具有处理器内核的 FPGA 技术，实现高速信号采集、信息共享和集中管理。基板上设计 PCI 主桥，FPGA 的内核处理器通过 PCI 主桥访问各种总线接口子卡模块（CAN 子卡和 1553B 子卡）内的双口 RAM，将相应的控制命令和通讯数据放入或取出双口 RAM，实现 FPGA 和子卡之间的数据交换。CPU 主处理器通过基板上的 PCI 从桥访问 FPGA 内的双口 RAM，从而

实现 CPU 和 FPGA 之间的数据交互。

1553B 子卡是一智能化、通用化和标准化的多路传输总线通信接口。航空电子通信系统分为 5 层，分别为物理层、数据链路层、传输层、驱动层和应用层<sup>[2]</sup>。按照技术协议要求，1553B 子卡设计有 1 路独立的 1553B 总线接口。

MMC 子卡包括存储器访问控制器，其内部逻辑实现 PCI 接口、Flash 控制器、USB-PCI 协议转换。

CAN 子卡可以划分为 3 个功能区，分别为 PCI 总线接口部分、CAN 总线接口部分和通讯控制部分。CAN 总线接口电路采用标准 CAN 总线接口电路，由 CAN 控制器、CAN 收发接口、2 套独立光电耦合电路和 DC-DC 转换，从而实现和 CAN 总线的通信。

### 2.2 软件功能设计

总线监控器系统软件采用实时多任务操作系统，该操作系统应具有的主要功能有：应用程序提供 APEX 应用程序接口、周期任务调度与管理、文件系统管理和系统设备管理等。总线监控器系统软件设计遵循自顶向下的设计理念，对各个层次的过程细节和数据细节逐层细化，直到用程序设计语言的语句能够实现为止，从而最后确立整个系统的体系结构。总线监控器系统软件设计时遵循模块化的设计理念，每个模块只涉及软件要求的具体的子功能，而和其它模块的接口是简单的，设计完成的软件模块是高内聚低耦合的模块<sup>[3]</sup>。总线监控器系统软件组成结构如图 4 所示。

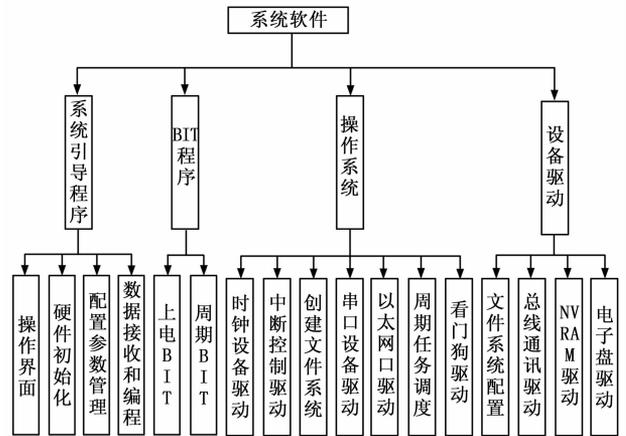


图 4 总线监控器系统软件组成结构

总线监控器软件包括系统软件提供标准 API 接口，应用软件通过调用 API 函数控制、使用、管理总线监控器的资源，总线监控器系统软件是总线监控器的核心程序，由实时多任务操作系统、设备驱动软件、周期任务调度软件、BIT 软件组成，负责控制管理总线监控器资源，使整个系统安全、可靠、正常地运行，为总线监控器应用软件的运行提供支持。

总线监控器加电或复位后，系统软件处理流程如图 5 所示。

总线监控器加电或复位后，系统引导程序首先工作，进行目标机硬件初始化。程序将代码、数据从 Flash 搬家到内存中后，开始执行。FPGA 中驻留软件开发环境需要宿主机及目标机的支持，程序最终将在目标机上运行。所有的开发工具驻留于宿主机，并连到目标机服务器上，目标机服务器完成与目标机的通信。

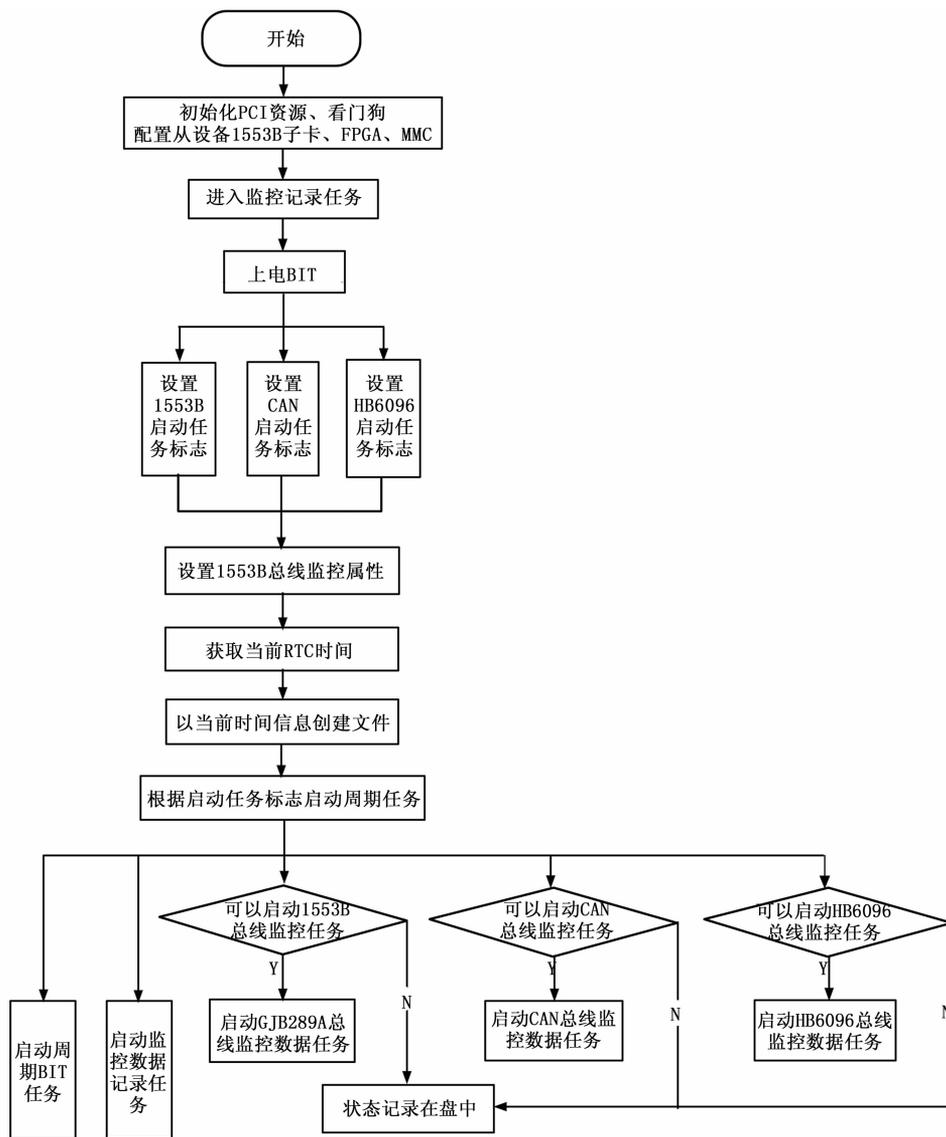


图 5 系统软件处理流程

总线监控器在每次上电后进行系统资源初始化, 包括各种总线的初始化和文件初始化。文件初始化根据总线信号的类型和数量创建最新文件, 文件名称包含总线类型和当前创建的时间信息。总线监控器监控的 1553B 总线数据包括总线上所有数据的属性和内容, 从属性中可以解出源节点、目的节点、RT 地址、RTC 时间、数据长度和数据内容并记录到大容量存储器中。总线监控器监控的 CAN 总线数据包括 ID 号和数据内容, CAN 总线每一包数共由 8 个字组成, 分别是 1 个 ID 号和 8 个数据字, 根据解析出的 ID 号, 可以分析出数据包的类型 (CAN 总线数据包类型包括 EEC、NSC、TMC 和 NOC)。总线监控器监控的 HB6096 总线数据包括数据内容, HB6096 总线每一包数由 1 个字组成, 根据数据可以解析出 LAB 号和数据内容。

### 3 关键技术

总线监控器研究主要关键技术包括:

1) 高密度组装的 SRU 结构设计技术: 采用了高密度组装

的 SRU 模块散热技术、电磁兼容性技术等, 本阶段该技术已通过实验室验证和系统联试。

2) 基于 FPGA 的高复杂度接口高性能处理模块技术: 在模块基板中使用 FPGA 接口电路, 由 FPGA 配合逻辑加软件的形式完成部分总线模块的采集处理和通讯任务。集成了以往机载计算机的数据处理、数据存储/记录、高速网络通信、电源转换及 I/O 接口的所有功能, 实现了系统功能的高度综合及模块化设计。

3) 双余度 CAN 总线配置管理及应用技术: 通过对 CAN 总线相关技术进行研究、仿真, 最终形成 CAN 总线接口设计标准和顶层通讯协议以适应机电管理需求<sup>[4]</sup>。完成双余度 CAN 总线配置管理工作。

4) 文件系统: 支持总线监控器 (容量不小于 32GB) 基于实时多任务操作系统的文件打开、关闭及读写等管理功能。对系统性能要求有直接影响, 具有文件打开、关闭及读写等管理功能, 提供系统使用。

(下转第 1820 页)

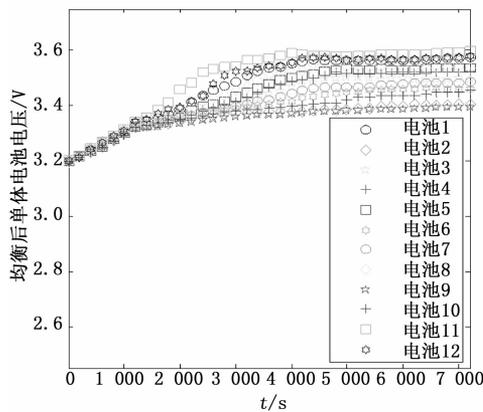


图 4 均衡后各单体电压变化值

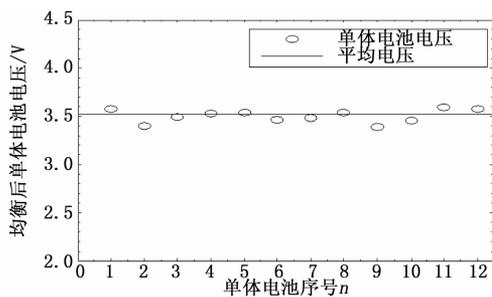


图 5 均衡后各单体电池的电压值

单, 能够灵活地控制能量的转移方向, 满足均衡的目的。同时, 运用马尔可夫决策算法, 对转移方向提前预测, 缩短了均衡时间。实验结果证明, 该均衡电路和均衡策略组成的均衡模块使电池组各单体电池间最大电压差明显减小, 均衡效果良好, 电池组容量得到很好的利用, 从而有利于电池组使用寿命的延长。但是均衡充电过程中, 均衡变量电池端电压的准确性直接影响马尔可夫算法预测转移方向的好坏, 所以如何保证均衡充电过程中电池端电压的精确度, 有待进一步研究。

参考文献:

[1] 谭晓军. 电动汽车动力电池管理系统设计 [M]. 广州: 中山大学出版社, 2011.  
 [2] 韩广欣, 韩金东, 张秀军, 等. 锂离子电池组均衡充电的研究进展 [J]. 电池工业, 2009, 14 (1): 65-68.  
 [3] Park H S, Kim C E, Moon G W. Charge equalization with series coupling of multiple primary windings for hybrid electric vehicle Li-ion battery system [J]. IEEE, 2007, (6): 266-271.  
 [4] 张金龙, 夏超英. 双向无损蓄电池均衡系统的设计与实现 [J]. 电工电能新技术, 2012, 31 (2): 15-19.  
 [5] 郭军, 刘和平, 徐伟, 等. 纯电动汽车动力电池均衡充电的研究 [J]. 电源技术, 2012, 36 (4): 479-482.  
 [6] 刘克. 实用马尔可夫决策过程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

~~~~~  
 (上接第 1817 页)

表 1 监控记录数据结果

| 消息号 | 消息名称   | 发送地址      | 发送周期 (ms) | 终端地址      | 消息内容   |
|-----|--------|-----------|-----------|-----------|--------|
| 1   | 除冰状态   | RT3.4     | 200       | BC.32     | 除冰工作启动 |
| 2   | 起落架状态  | RT7.2     | 200       | BC.25     | 起落架放下  |
| 3   | 防火状态   | BC.68     | 200       | RT1.8     | 防火启动   |
| 4   | 舱门状态   | RT1.6     | 200       | RT4.3     | 左舱门关闭  |
| 5   | 舱门状态   | RT11.9    | 200       | RT1.2     | 右舱门关闭  |
| 6   | 环控状态   | BC.56     | 200       | RT12.11   | 环控启动   |
| 7   | APU 状态 | RT4.4     | 200       | RT8.5     | APU 启动 |
| 8   | 刹车状态   | RT9.8     | 50        | BC.35     | 左刹停止   |
| 9   | 油温状态   | RT4.5     | 100       | RT3.1     | 油温正常   |
| 10  | 环控状态   | BC.3      | 200       | RT10.7    | 环控失效   |
| 11  | 刹车状态   | RT1.5     | 50        | RT3.6     | 右刹停止   |
| 12  | 气压状态   | HB6096.6  | 100       | HB6096.19 | 气压正常   |
| 13  | 舱门状态   | HB6096.2  | 100       | HB6096.7  | 驾驶舱门关闭 |
| 14  | 应急电源状态 | HB6096.15 | 100       | HB6096.3  | 应急电源启动 |
| 15  | 液压状态   | HB6096.9  | 100       | HB6096.11 | 液压启动   |
| 16  | 转速状态   | HB6096.4  | 100       | HB6096.8  | 转速正常   |
| 17  | 发动机状态  | NOC       | 200       | NULL      | 左发正常   |
| 18  | 发动机状态  | EEC       | 200       | NULL      | 右发正常   |
| 19  | 转速状态   | EEC       | 200       | NULL      | 转速正常   |
| 20  | APU 状态 | NSC       | 200       | NULL      | APU 启动 |
| 21  | 应急电源状态 | NSC       | 200       | NULL      | 应急电源关闭 |
| 22  | 气压状态   | TMC       | 200       | NULL      | 气压正常   |
| 23  | 油温状态   | TMC       | 200       | NULL      | 油温正常   |

4 实验结果

实验中, 外部接入 1 路双余度 1553B 总线、1 路双余度 CAN 总线、5 路单余度 CAN 总线和 22 路 HB6096 数据总线输入接口, 通过对监控记录数据的分析, 确定总线监控器的性能指标, 如表 1 所示。

5 结论

为了有效地提高飞机的健康监控性能, 国内外对机载记录仪的研究十分广泛, 但多数产品都受制于存储容量小、连续记录时间短及记录数据种类单一等限制。本文正基于此提出了一种新的航空机载高、复杂度大、容量多的总线监控器的设计及实现技术。总线监控器是一种在不干扰外部系统正常工作的前提下, 能实时主动地记录 1553B 总线、CAN 总线和 HB6096 总线的线上数据进行监控并记录到大容量电子盘中。总线监控器的设计, 极大地提高了飞机维护 and 保障性能。

参考文献:

[1] 周精华, 翟正军. 航电 1553B 总线监控系统的设计与实现 [J]. 测控技术, 2009, 28 (1): 58-61.  
 [2] 张晓斌, 李璨, 郑先成, 飞机分布式配电系统总线监控器的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (6): 1113-1115.  
 [3] 王黎明, 夏立, 邵英, CAN 现场总线系统的设计与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 25-108.  
 [4] 宁伟. 通用航空总线实时测试与分析技术研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2006.