

基于 1553B 总线的飞行器电气综合系统管理设计

陈春燕, 杨友超, 张翔, 姜爽, 李海伟

(中国运载火箭技术研究院 研发中心, 北京 100076)

摘要: 为了简化飞行器日益发展电气设备而造成的复杂连接关系, 并实现电气综合系统的自主管理; 通过对两种典型总线比较, 采用了一种基于 1553B 总线、冗余的飞行器电气综合系统模块化设计方法, 主要通过总线控制器备份控制方式, 在主计算机出现故障的时候, 备份计算机能完全接替总线控制权; 该方法在满足实时性和可靠性需求同时, 可以针对不同的电气系统设计构架, 快速进行系统重构, 具有很强的可配置性, 而且大大减小了系统的体积和重量, 适应电气综合系统构架的发展方向。

关键词: 1553B 总线; 电气综合系统; 数据交换; 冗余管理

Design of Electrical Integrated System Management Based on Bus 1553B for Aerial Vehicle

Chen Chunyan, Yang Youchao, Zhang Xiang, Jiang Shuang, Li Haiwei

(R&D Center, China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

Abstract: This paper develops a design based on 1553B bus to simplify Complex connection relationship and realize nonautonomous management on developing electrical devices for Aerial Vehicle by comparing of two typical bus, Realtime and reliable Management of Electrical Integrated System has been implement due to BC's redundancy when the failure of Main control computer occurs. This design can realize rapidly system building for different electrical system. Which also can decrease the volume and weight. So it meets lines of development for the electrical Integrated System.

Key words: bus 1553B; electrical integrated system; data exchange; redundancy management

0 引言

电气综合系统是由飞行器上导航、飞行控制、电子任务管理和通信等诸多电子设备组成的。目前为了提高电气系统的可靠性, 满足功能多、性能先进、适应性强等要求, 飞行器上出现了越来越多的电气系统设备, 具备从传感器、信号采集、信号处理、信息下传与控制, 并向飞行器平台和其它系统提供飞行控制、飞行姿态和导航信息等一套完整且独立的功能。因此各系统之间需要共享、处理的数据及其类型越来越多且复杂, 产生了复杂的连接关系和繁杂电缆网等问题, 而采用数据总线技术, 使用模块化开放式的结构方式, 可以有效地解决这些问题。

1 1553B 和 CAN 总线比较

MIL-STD-1553B 是为数据总线定义的军方标准。这种数据总线被用来为各种系统之间的数据和信息的交换提供媒介, 是一种满足实时性、数据完整性和系统高可靠性要求的通用机载串行多路总线标准。1973 年美国军方和政府公布了 MIL-STD-1553 标准, 军方首次在 F-16 战斗机中采用了此标准。1978 年又公布了 MIL-STD-1553B 标准, 该标准

一直引用到现在^[1]。

1553B 总线是一种广播式分布处理的计算机网络, 网络上可挂接 32 个终端, 所有的终端(节点)共享一条消息通路, 任意时刻网络中只有一个终端在发送消息, 传送中的消息可以被所有终端接收, 实际接收的终端通过地址来识别。网络结构简单, 终端的扩展十分方便, 任一终端(除总线控制器外)的故障都不会造成整个网络的故障, 总线控制器则可以通过备份来提高可靠性。强调了实时性, 1553B 总线的传输码速率为 1 Mb/s, 每条消息最多包含 32 个字(每个字 16 位), 因此传输一条消息的时间比较短^[2]。1553B 总线按指令/响应的方式异步操作, 即总线上所有消息传输都有总线控制器发出的指令来控制, 相关终端对指令应给予回答(响应)并执行操作。这种方式非常适合集中控制的分布式处理系统。兼顾实时性的条件下, 采用了合理的差错控制措施, 即反馈重传方法。由于 1553B 具有以上特点, 抗干扰能力非常强, 具有很高的可靠性, 因而在国内外的很多航空、航天及舰船产品上得到了广泛应用。

CAN 总线是德国 Bosch 公司在 20 世纪 80 年代为解决现代汽车中众多的控制与测试仪器之间的数据交换而开发的一种串行数据通信总线, 由于 CAN 总线强调了实时性, 又具有极高的可靠性和独特的设计, 特别适合工业过程监控设备的互联, 因此越来越受到工业界的重视, 得到了广泛的应用, 发展前景十分广阔。值得注意的是国际上已准备将 CAN 总线应用

收稿日期: 2014-01-04; 修回日期: 2014-03-21。

作者简介: 陈春燕(1982-), 女, 江西人, 工程师, 工学硕士, 主要从事飞行器电气设计及相关技术的研究。

于航空领域的倾向。

CAN 总线是一种多主站的总线式网络，任一个子系统都可作为主站获得总线控制权进行通信。通信介质可以是双绞线、同轴电缆或光纤。通信速率可达 1 Mb/s。CAN 总线通信控制器中集成了 CAN 协议的物理层和数据链路层功能，可完成对通信数据的成帧处理。

表 1 CAN 总线与 1553B 总线对比

内容	CAN	1553B
主要应用	汽车工业及航天	航空及航天
总线类型	现场总线	命令响应式串行总线
工作方式	多主方式	有主控 CTU
通讯速率	1Mbps	1Mbps
传输介质	同轴电缆,双绞线,光缆	双绞线
校验	CRC 校验	奇偶校验
总线隔离	错误严重后自动关闭输出	通过变压器耦合,某个 RT 短路后对总线无影响
冗余	双冗余	双冗余
性价比	性价比高,器件容易购置	器件为国外进口,存在进货及价格问题
器件形式	只有扩展工业级	军级
是否需要二次筛选	需进行二次筛选	不需要进行
占 PCB 面积	小,DIP 封装	大,包括耦合器
缓存	64 字节	4 K 字
控制方式	很方便与 16 位,8 位计算机连接	与 16 位计算机方便,与 8 位计算机如(8031)困难
占用计算机资源	缓存较小,计算机需不停响应中断,占计算机资源大	缓存大,占用计算机资源较少

通过综合比较考虑，选用航空航天使用较多、可靠性更高的 1553B 总线。

2 1553B 通信方式

1553B 总线是多冗余、主从式时分多路复用串行总线，采用异步、半双工的传输技术。它定义了总线的命令/响应模式、时间分割方式、数据格式等技术，并且定义了数据总线的接口、耦合变压器、特性阻抗以及传输电缆等的详细电气特性。从物理上看，基于 1553B 总线的系统是由一条主总线电缆、一至多条冗余总线电缆、1~31 个终端以及端接电阻等组成。任何情况下，系统中只有一个活动总线控制器 BC、1~30 个远程终端 RT 和总线监视器 BM。BC 控制总线上所有数据的传输，RT 在 BC 的控制下有序地进行数据的收发，而 BM 监视并记录总线上所有的数据传输情况。所有终端都首选主总线传输数据，只有当主总线出现故障时才通过冗余总线传输数据，系统的可靠性得到了充分的保障^[3]。

1553B 总线上的数据传输是以消息形式进行的，分为数据传输、方式控制和广播消息 3 类，包括 BC~RT、RT~BC 和 RT~RT 等 10 种交互形式^[3]。

1553B 总线定义了指令字、数据字及状态字 3 种字格式，如图 1 所示。



图 1 1553B 消息传递字

1) 指令字是由 BC 发出的控制 RT 操作的命令字。它由同步头、远程终端地址字段、发送/接收位 T/R、子地址/方式字段、奇偶校验位 P 组成。

2) 数据字由同步头、数据字段和奇偶校验位组成。同步头为 3 bit 时，与指令字同步头的波形反相，同步头之后的 16 bit 是数据内容，最后 1 bit 为奇偶校验位。

3) 状态字是由接收到指令字的 RT 发出，表示数据传输及 RT 状况的响应字。由同步头、远程终端地址字段、消息差错位、测试手段位、服务请求位和备用位等组成，其中同步头和奇偶校验位与指令字的对应位相同。

3 基于 1553B 电气综合系统管理设计

飞行器的电气综合系统通常包括飞控计算机、各类传感器、导航系统、执行机构、供电系统及无线数据链终端^[4]，如图 2 所示。基于 1553B 总线式电气综合系统是一种分级分布式集散控制系统，处于中心地位的飞行控制计算机（FCC）作为 BC 采用二余度设计，各飞行控制计算机内对应独立控制通道及冗余管理模块组成。每个单独的控制通道之间有内部总线链路实现数据共享。整个电气系统由两层数据通信总线组成，一层为飞行控制计算机间的数据通信，另一层，完成主 BC、备份 BC（BBC）和各类传感器、导航系统、执行机构、供电系统、无线数据链终端等的通信，这些电气负载都是通过双冗余接口分别接入 2 条 1553B 总线中。

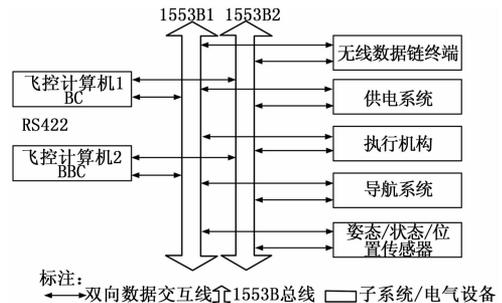


图 2 基于 1553B 总线电气管理构架

正常情况下 FCC1 作为主 BC 工作，处于总线的主控地位，完成飞行控制、导航、任务设备管理等任务，而 FCC2 处于热备份状态只作为一个总线的终端，接收整个电气系统的状态数据和无线数据链终端的数据，并对这些数据进行综合分析和解算，但是并不输出这些数据到数据通信总线。同时主、备之间通过内部总线相互检测，当主 BC 出现故障后，BBC 就会取得总线的控制权，取代 BC 进行整个电气系统的监控。

主 BC 正常时, 由主 BC 完成对整个电气系统的监控与管理, 备份计算机只是接收系统的状态信息进行处理, 同时监视主 BC 的工作状态, 但是并不对整个电气系统进行控制和管理; 即主 BC 正常时, 接收来自总线上的测量数据以及发送控制执行指令给飞行器执行控制器。同时通过总线接收遥控/遥测无线链路接收地面控制站的控制导航数据, 同时流通在总线上的飞行器电气系统的各类状态数据通过无线数据链传送给地面, BBC 只接收无线链路接收地面控制导航数据进行处理, 并不给遥控/遥测终端发送数据。

总线的切换依据主要来自电气综合系统的自检数据, 总线控制器工作方式为主热备份, 正常工作时, 由 FCC1 承担 BC 工作, FCC2 作为 BBC) 状态, 主 BC 负责总线通信工作, BBC 工作方式为主线监视器方式, 监听 BC 通信信息。每个分系统的自检数据通过总线传给主 BC、BBC, 主 BC、BBC 还要完成对系统主、备总线的状态检测以及自身工作状态的检测。而且主 BC 定时将系统状态及自身状态通内部通讯总线发送给备份 BC。

当主 BC 或总线出现故障时, 主 BC 发送故障字给 BBC, 通知 BBC 故障信息, BBC 则立即接管总线控制权, 并对主 BC 返回接管总线的成功信息, 主 BC 接到此信息后, 则退出对总线的控制权。

当主 BC 出现完全故障的情况时, 就不能将自检状态信息发给 BBC。当 FCC2 总线监听到 FCC1 故障时或固定时间内(几毫秒内)接收不到心跳信号时, 经过故障判断和处理, FCC2, 切断 FCC1, 接管 BC 的工作, 完成对整个电气系统的控制。

由于在整个系统的运行过程中, 即使是对主 BC 控制整个

系统, 但是 BBC 仍然接收地面站的遥控信息和整个航电系统的信息, 并对这些数据进行处理(整个处理过程和主 BC 完全相同), 只是不把处理的结果及控制发送到总线上。而这个发送过程是由一个单独的数据发送任务来完成, 如备份 BC 掌握总线控制权后, 就会释放该信息量使数据发送任务就绪运行, 这就保证了系统的平滑过渡和成功重构。

4 结束语

由于 1553B 总线有卓越的特性以及极高的可靠性, 在航空航天领域得到了越来越广泛的应用, 本文基于 1553B 总线高速平台的飞行器电气综合系统管理设计方法, 能够适应现代飞行器电气设备的发展要求, 具有很高的实时性和可靠性, 并且对于不同的系统设计, 只需要对逻辑控制做修改就可进行系统重新构建, 具有很强的可配置性。另外, 这种设计减少了外围电子元件的数量, 大大减小了系统的体积和重量, 适应电气综合系统构架的发展方向和潮流^[4]。

参考文献:

- [1] 熊华钢. 1553B 总线通信技术应用发展 [J]. 电子技术应用, 1997, 23 (8): 14-20.
- [2] 郭延源, 牛跃华, 王红光. 基于单片机的 1553B 总线数据交换设备设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (1): 195-196.
- [3] 徐贵贤. 1553B 总线简介及其实现 [J]. 通信技术, 2011, 44 (5): 166-167.
- [4] 吴建军, 濮思方, 严静妮, 等. 基于 CAN/LIN 总线的无人飞行器航电系统研究 [A]. 北京: 中国无人机大会 [C]. 2006: 495-503.
- [5] 熊华钢. 1553B 总线通信技术应用发展 [J]. 电子技术应用, 1997, 23 (8): 14-20.
- [6] Allerton D J, Jia H. Distributed data fusion algorithms for inertial network system [J]. IET Radar Sonar Navigation, 2008, 2 (1): 51-62.
- [7] Bancroft J B. Multiple IMU Integration for Vehicular Navigation [A]. Proceedings of ION GNSS 2009 [C]. The Institute of navigation, Savannah, GA, 2009: 1-13.
- [8] Bancroft J B, Lachapelle G. Data fusion algorithms for multiple inertial measurement units [J]. Sensors, 2011, 11: 6771-6798.
- [9] 崔平远, 郑黎方, 裴福俊. 车载 GPS/DR 组合导航系统自适应信息融合算法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (12): 1807-1809.
- [10] Allerton D J, Jia H. Redundant Multi-mode Filter for a Navigation System [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2007, 43 (1): 371-391.
- [11] 刘锡祥, 徐晓苏, 王立辉. 基于 H ∞ 滤波的主/子惯导组合中挠曲变形补偿算法 [J]. 中国惯性技术学报, 2012, 20 (1): 74-78.
- [12] 柳爱利, 戴洪德. 基于惯性传感器输出匹配的舰船变形估计方法 [J]. 传感技术学报, 2011, 24 (1): 145-148.

(上接第 1855 页)

4 结论

本文给出了一种基于惯性网络的分布式信息融合算法。分析了惯性网络的结构构成, 设计了惯性测量阶段和惯性分段阶段的分布式信息融合算法。仿真结果表明, 采用本文所述的分布式信息融合算法, 可以充分利用惯性网络中各节点的信息, 提高惯导节点导航状态的估计精度, 同时, 也能提高整个惯性网络的性能和故障容错能力。

参考文献:

- [1] Kelly R T, Carlson N A, Berning S. Integrated inertial network [A]. Proceedings of IEEE PLANS 1994 [C]. Las Vegas, NV, 1994: 439-446.
- [2] Kaiser J, Beck G, Berning S. Vital advanced inertial network [A]. Proceedings of IEEE PLANS 1998 [C]. Palm Springs, CA, 1998: 61-68.
- [3] Shim D S, Yang C K. Optimal configuration of redundant inertial sensors for navigation and FDI performance [J]. Sensors, 2010,