

面向星载数据管理系统的 SpaceWire 总线 仿真系统开发

底素然, 张伟功, 巴 峰, 周华章, 陈 川, 王嘉佳
(首都师范大学, 北京 100048)

摘 要: 本文介绍并分析了日本的 X 射线天文卫星 ASTRO-H 中 SpaceWire 的应用模式, 然后结合我国星载数据管理系统建立了 SpaceWire 总线应用的仿真系统, 模拟星载管理单元与设备以及设备与设备间的数据通信, 实现了对系统综合数据业务的统一管理, 对在轨数据系统实施自主管理和冗余容错管理奠定了技术基础。

关键词: SpaceWire 总线; 仿真; 星载数据管理系统; 航天器信息/功能融合

中图分类号: V443

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)01-0164-04

The Development of SpaceWire Simulation System Oriented Onboard Data Management System

DI Su-ran, ZHANG Wei-gong, BA Feng, ZHOU Hua-zhang,
CHEN Chuan, WANG Jia-jia

(Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: This paper described and analyzed the application mode of SpaceWire in ASTRO-H, and then combining China's onboard data management system, established a simulation system where SpaceWire was used for data communication between onboard management unit and equipments simulated, and achieved unified management of the comprehensive data services, which establishes the technical foundation for the onboard system in self-management and the redundancy and fault-tolerant management.

Key words: SpaceWire bus; simulation; onboard housekeeping system; spacecraft message/function fuse

1 引言

航天器利用总线技术来完成航天器整体信息处理与融合是一项划时代的技术变革. 为满足航天在轨数据系统的高速数据传输需要, ESA(欧洲航天局)、NASA(美国国家航空和宇宙航行局)、ROS-COSMOS(俄罗斯航天局)、JAXA(日本宇宙航空研究开发机构)等国际重要航天机构积极合作, 推出了一种面向航天应用的高速串行总线标准——SpaceWire 总线^[1]. 它的提出简化了传感器、大容量存储器、数据处理单元、遥测子系统以及电地支持设备之间的互连^[2]. SpaceWire 设备通过 SpaceWire

链路连接在一起. 应用信息、控制信息 and 时间信息都可以在 SpaceWire 链路上以离散数据包的形式进行传输^[3]. 到目前为止 SpaceWire 已经在月球勘测轨道器 LRO^[4]等十多项航天任务中得到了应用.

建立 SpaceWire 总线技术在航天应用的仿真平台具有重要意义. 基于这个目标, 本文首先分析了日本的 X 射线天文卫星 ASTRO-H 中 SpaceWire 的应用方式, 然后面向国内的星载数据管理系统建立了 SpaceWire 总线应用的半物理仿真系统, 并对仿真系统中的各嵌入式通信节点进行了数据流设计, 最后给出运行结果.

收稿日期: 2011-06-25; 修回日期: 2011-08-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(60873006, 61170009); 北京市高等学校人才强教计划项目

2 SpaceWire 总线在航天器中的应用体系结构

SpaceWire 是由 ESA 最先提出的,其目的是满足航天有效载荷系统和数据通信系统中设备间的高速数据通信. SpaceWire 总线支持多速率连接,不同通信节点可使用 2~400Mbps 之间的不同速率进行通信. 随着 SpaceWire 技术的不断成熟,现在 SpaceWire 总线也被用于控制命令的传输,从而实现航天任务和命令/控制数据配置的整合^[5]. 图 1 为整合后 SpaceWire 技术在航天器中应用实例——ASTRO-H^[6]的结构.

ASTRO-H 是日本开发的一个大规模的、复杂的 X 射线观测卫星,计划于 2014 年发射. 该卫星在卫星控制单元方面的需求比以往的科学卫星要复杂

的多. 此外,该卫星携带 4 种不同的科学有效载荷: X 射线微量热仪、X 射线 CCD 摄像机、硬 X 射线成像光谱仪和软伽玛射线探测器,每种载荷都有各自的不同类型的传感器和机载数据处理方案. 由于项目资源有限,JAXA 选用 SpaceWire 作为信息网络基础,并定义了一个新的系统架构以解决以上问题,该系统架构不仅适用于 ASTRO-H,而且也适用于其他的项目. ASTRO-H 的信息交换框架是完全基于 SpaceWire 的,它由两个物理独立的子网构成:一个是由卫星管理单元控制的数据处理网络,它包括数据记录器和若干远程通信组件;另一个是由姿态轨道控制处理器(AOCP)控制的姿态控制网络(AC). AOCP 也与 DH 网络相连,它不进行 SpaceWire 组包操作,甚至是 TI 数据包,它只是在两个网络间转发数据.

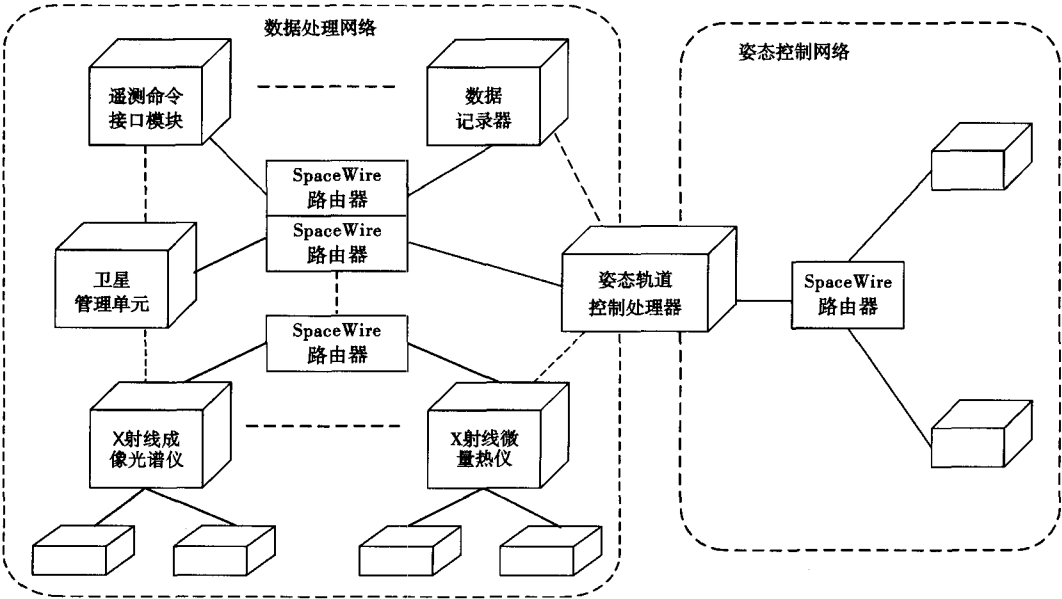


图 1 SpaceWire 驱动的 ASTRO-H 卫星体系结构

3 面向数据管理系统的 SpaceWire 总线仿真系统设计方案

受 ASTRO-H 天文卫星中 SpaceWire 应用设计思想的启发,基于我国星载数据管理系统的需求,设计了 SpaceWire 总线应用的半物理仿真系统. 为提供高速、高可靠的通信平台,该系统采用 SpaceWire 总线提供高速数据通信能力,并且采用 1553 总线为航天器提供一种与传统平台兼容的后备通信能力.

3.1 系统结构

SpaceWire 总线仿真系统由嵌入式仿真平台和

监控演化平台及运行在其上的软件构成. 图 2 是 SpaceWire 总线仿真系统的结构框图.

嵌入式仿真平台由 7 个通信节点和 3 个集成了路由监测模块的 SpaceWire 路由器组成. 为提高系统的可靠性,每个节点都通过其两路冗余 SpaceWire 通信接口分别与两个不同的路由器相连形成网络结构. 监控平台由集成了自主研发的 PCI 信息采集卡的 PC 机实现,主要为达到嵌入式仿真平台的演化重构的目的而提供人机交互调试控制界面.

3.2 系统功能

SpaceWire 总线仿真系统主要完成以下功能:

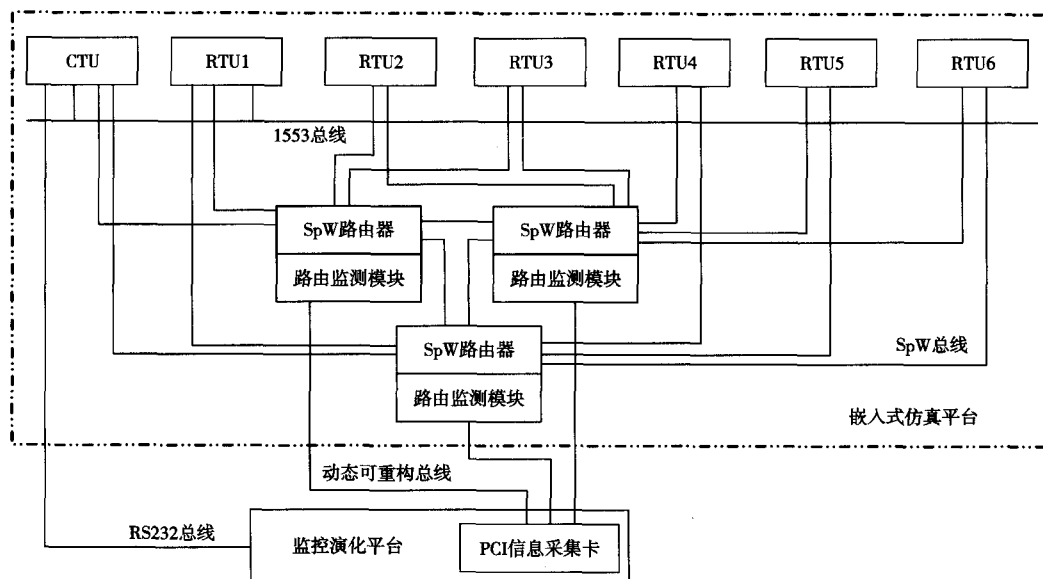


图2 SpaceWire 总线仿真系统结构框图

(1) 星载网络半物理仿真功能

根据卫星系统在轨自修复的需要,采用7个嵌入式通信节点板仿真星载数据管理系统中的各种数据节点,各通信节点板通过SpaceWire路由器实现信息交换.7个通信节点中的任何一个都可作为主控节点CTU,但在实际应用中,为了便于软件开发,可指定其中一个为CTU,用来模拟数据管理系统中的主节点(如SMU);其它为从节点,分别用来模拟卫星在轨数据系统中不同的远程终端单元RTU(如视频控制器、大容量存储器和温度控制单元等).SpaceWire路由器的作用是根据发送节点设备的通信请求,为其导向相应的输出端口.

(2) 网络实时通信工作状态监测功能

为支持系统演化以提高系统的可靠性,需要对嵌入式平台通信状态信息进行监测,这是由集成在SpaceWire路由器上的路由监测模块实现的,主要对经过SpaceWire路由器的通信数据及SpaceWire路由器本身的工作状态信息进行监测.路由监测模块监测的信息经动态可重构总线接口(PCI信息采集卡)传送至监控演化平台,经过分类归纳后通过人机接口界面进行显示,对通信数据、通信状态、工作日志进行分类存储,以便进行事后分析.

(3) 网络演化功能

网络演化功能是监控演化平台与嵌入式平台共同作用的结果.监控演化平台将动态可重构总线接口采集的监测信息进行分析,实现通信网络的自诊断功能,在嵌入式仿真平台出现通信故障

时,能够将相应的对策机制通过RS232传送给CTU,由CTU进行处理,从而实现系统故障重组,达到演化的目的.

此外,本系统还实现了遥控/遥测仿真功能、时间管理功能、总线通信管理功能等.时间管理功能为系统提供准确的仿真星上时统,并完成时间的生成、分发与修正等.总线通信管理功能完成SpaceWire总线和1553总线的调度与管理,通过总线汇集各RTU的遥测数据,并通过总线向各RTU发送指令和数据.

3.3 嵌入式仿真平台中的数据流设计

航天器中的信息类型早已超出了早期航天器传统的遥测、遥控数据的范畴.如载人航天任务要求实现电视、语音、静止图像、科学实验数据和工程测控数据的统一处理和传输.目前国内各种航天器的数据业务类型主要有:航天器遥控/遥测数据、有效载荷业务数据、航天器自主管理数据、语音/视频图像等多媒体数据、航天器平台时间数据等.因此,本系统仿真实现了如下数据类型:

- 系统时间数据:模拟卫星平台时间数据,由PC机产生,并通过RS232总线传送给CTU,再由CTU向各RTU及路由器分发,从而为各分系统提供事件计时,实现本系统与外部时间同步.带宽要求一般在1 Kbps以下,要求可靠传输.

- 指令数据:模拟遥测遥控命令,由CTU产生并分配到各RTU,包括系统校时命令、对各RTU的控制指令、延时指令、周期性地向各RTU采集其

工作状态信息的遥测采集命令. 带宽要求一般在 100Kb 以下,要求可靠传输;

● 温度采集数据和姿态轨道控制数据:模拟航天器平台自主管理的通道 I/O 数据,由一定范围内的随机数据表示. 带宽一般在 1Mb 以下,要求可靠传输;

● 视频数据:模拟电视、视频电话会议、遥控医学等多媒体数据,由 PC 机视频文件作为视频源. 带宽一般在 100Mb 以下,不苛刻要求可靠传输;

● 摄像头数据:模拟有效载荷业务数据,由 USB 摄像头采集产生. 带宽一般在 100Mb 以下,不苛刻要求可靠传输;

系统中仿真的不同类型的数据在可靠性、实时性等方面的要求如表 1 所示. 对于大数据量的传输,需要将其进行分包处理. 本系统中对可靠性要求高的数据在传输时采用带有数据校验的应答机制和重传机制,要求不高的数据只采用数据校验机制即可.

表 1 嵌入式平台数据要求

数据类型	可靠性	优先级 (实时性)	带宽
系统时间数据	高	较高	<1Kb
指令数据	高	中	<1Mb
温度采集数据			
姿态轨道控制数据			
视频数据	低	低	<100Mb
摄像头数据			

4 仿真系统运行结果

本系统采用嵌入式通信节点实现了对星载数据管理系统中 CTU 和 RTU 的模拟与仿真,CTU 模拟节点实现了遥控/遥测仿真功能、时间管理功能,各 RTU 模拟节点分别实现了对温控单元和姿轨控单元代表的航天器平台自主管理数据、视频数据和摄像头数据代表的有效载荷数据的仿真功能. 整个系统的通信速率达 300Mbps,平均命令延时为 9.2 微秒. 节点间的通信以 SpaceWire 总线为主,以 1553B 为辅,系统实现了 SpaceWire 两个接口之间以及 SpaceWire 总线和 1553B 总线之间的故障切换,并在此基础上实现了系统的演化功能,对在轨数据系统实施自主管理和冗余容错管理奠定了技术

基础.

5 结束语

本文综合分析了日本的 X 射线天文卫星 AS-TRO-H 的系统架构,建立了基于国内的星载数据管理系统的 SpaceWire 总线应用的半物理仿真平台,实现了对系统综合数据业务的统一管理,这对 SpaceWire 总线技术在国内航天应用具有重要意义. 另外,该系统实现了演化功能,对在轨数据系统实施自主管理和冗余容错管理奠定了技术基础. 更为重要的是该系统建立了基于 SpaceWire 的适于我国航天器在轨数据处理的体系结构模型,是 SpaceWire 总线技术在国内工程应用方面的一次重要实践.

参考文献:

[1] 李硕佳,王剑峰,王竹平. SpaceWire 路由器动态加权轮询仲裁器的设计与实现[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(11):124-127.

[2] 康咏岐. 面向航天应用的 SpaceWire 节点单元的 IP 核设计与实现[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(9): 120-122.

[3] Wang Tong-huan. China brazil carth resoures cattellite data management system-electronic integration technology in spacecraft applications [J]. Spacecraft Engineering, 2002, 11(2/3):111-116.

[4] Doug Roberts, Steve Parkes. Spacewire missions and applications [C]//Proceedings of The 3th International SpaceWire Conference, St Petersburg, Russia; IEEE, 2010.

[5] Alain Girard, Antoine Provost-Grellier, Jean Nodet, et al. Overview of implementing spacewire in observation satellites from thales alenia space [C]// The 3th International SpaceWire Conference, St Petersburg, Russia; IEEE, 2010.

[6] European Space Agency. Spacewirehome[EB/OL]. [2011-06-25]. <http://www.spacewire/esa/int/content/home/HomeIntro.php>, 2011.

作者简介:

底素然 女,(1981—),硕士研究生. 研究方向为嵌入式应用.

张伟功 男,(1967—),博士,研究员. 研究方向为高可靠嵌入式计算机系统结构与容错技术及 CPU 容错结构与设计方法.

巴 峰 男,(1986—),硕士研究生. 研究方向为嵌入式应用.