

AFDX-ES SoC 虚拟仿真平台的构建与应用

田靖, 田泽

(中国航空计算技术研究所, 陕西 西安 710068)

摘要:随着集成电路技术的快速发展, SoC 设计的规模、复杂度和集成度日益增加, 给 SoC 设计的仿真验证提出了巨大挑战。简要介绍了 AFDX 网络, 并结合 AFDX 终端系统 SoC 的设计, 阐述了软硬件协同设计方法, 提出了一种基于虚拟仿真平台的验证方法, 详细论述了该平台的构建过程并举例说明了该平台的实际仿真验证应用方式。在芯片设计验证过程中, 利用该平台有效地验证了芯片逻辑功能的正确性, 保证了仿真验证的覆盖率, 缩短了 SoC 设计验证开发周期, 流片结果进一步证明了该方法的正确性, 对类似 SoC 设计具有一定的参考价值。

关键词: SoC; AFDX; 仿真; 平台

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)08-0192-03

Implementation and Application of AFDX-ES SoC Virtual Simulation Platform

TIAN Jing, TIAN Ze

(Aeronautics Computing Technique Research Institute, Xi'an 710068, China)

Abstract: With the rapid development of IC technology, SoC design size, complexity and the integration increasing, presented a great challenge to SoC simulation. Briefly describe the AFDX network, combined with AFDX end system SoC design, described hardware and software co-design methodology, illuminated the construction of virtual simulation platform and the application process in detail. The platform can effectively verify SoC logic functionality, guaranteed the coverage of HDL code and functionality, shorten SoC design and verification cycle, and the validity of this method is proved by tape-out results farther, so the virtual simulation platform had great value for the similar SoC design.

Key words: SoC; AFDX; simulation; platform

0 引言

随着集成电路设计能力和工艺技术的快速发展, 集微电子、计算机、系统设计技术为一体的 SoC 设计技术已经成为一种发展趋势。SoC 具有低功耗、低成本、系统小型化以及功能集成度高的优点, 可以极大地提升和改善系统整体性能。在 SoC 发展过程中, 为了不断满足市场需求, SoC 设计的规模和功能复杂度也在不断增加, 使得 SoC 设计的验证日益重要^[1]。

目前芯片一次投片成功率只有 35% 左右, 造成芯片重复投片的主要原因就是验证不够充分。SoC 设计验证需要投入的资源已占整个设计资源的 60% 到

80%。验证已经成为整个 SoC 设计流程的瓶颈, 而其中的前端逻辑仿真验证最为关键, 向业界提出了巨大挑战。

虽然近几年 SoC 验证研究领域在验证技术、验证方法学、测试码提取、验证描述语言、IP 核重用验证、验证流程及验证评估等方面取得了长足进步, 但从总体而言, 仿真验证技术已经落后于设计和制造能力, 仿真验证工作已成为 SoC 发展迫切需要解决的问题之一。因此, 如何结合实际设计构建一个高效可复用的仿真平台已被越来越多的相关人士所关注。

1 AFDX 概述

航空全双工交换式以太网 AFDX (Avionics Full DupleX Switched Ethernet) 定义了一个航空子系统之间数据通信的标准, AFDX 网络主要包含了 End System (终端)、Switch (交换机)、Virtual Link (虚拟链路) 三个部分^[2]。它基于成熟的以太网概念, 在这个网络

收稿日期: 2010-03-16; 修回日期: 2010-06-22

基金项目: “十一五”总装微电子预研项目 (51308010511); 总装预研重点基金项目 (9140A160107HK61)

作者简介: 田靖 (1981-), 男, 陕西西安人, 硕士, 研究方向为 SoC 设计; 田泽, 博士, 研究员, 研究方向为 SoC 设计、嵌入式系统设计、VLSI 设计。

上有交换机和终端两种设备,终端之间的数据信息交换是通过 VL 进行的,VL 实现了从一个唯一的源端到一个或多个目的端逻辑上的单向链接。

AFDX 网络采用全双工结构、星形布局,所有终端通过双绞线分别连接到一个交换机端口上,发送和接收通道相互独立。交换机内置一个复杂的交换阵列,任何两个端口之间都可以建立起一个传输信道。每一个交换机最多能连接 24 个终端。交换机之间可以通过级联的方式很方便地进行网络扩展。每个终端系统都采用两路独立的接口,与终端系统一路连接的链路或交换机故障不会导致网络上传输数据的丢失,从而实现双冗余度,保证了终端系统之间可靠的数据通信。AFDX 网络结构如图 1 所示。

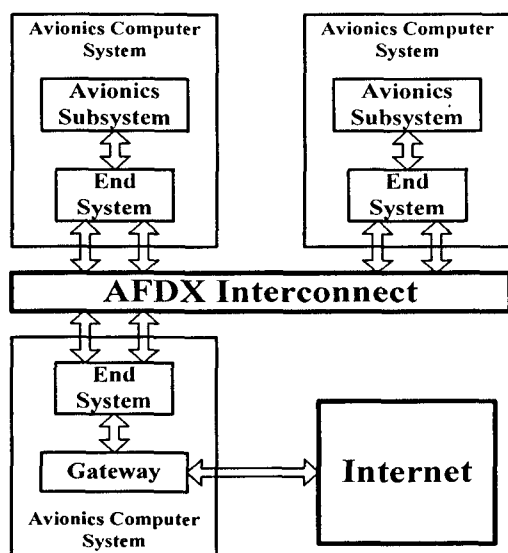


图 1 AFDX 网络

2 基于虚拟仿真平台软硬件协同仿真验证

验证就是证明一个设计的功能是否正确。在传统的设计中,软件和硬件部分是分为两个部分独立地进行开发和验证的。缺乏系统层面的考虑,因此验证不够充分,往往在投片之后才发现设计中存在的问题,导致系统稳定性差、性能下降,甚至出现严重缺陷。而随着 SoC 的出现,整个复杂的系统功能被集成在一个芯片上,传统的软硬件开发和仿真验证方法已无法保证 SoC 芯片功能的正确性,因此软硬件协同设计仿真验证方法便由此而生。

软硬件协同设计仿真验证是指在芯片还未设计完成之前,就同时开始进行软件和硬件的协同设计和验证工作。即在用软件验证硬件的同时用硬件测试软件。这样既缩短了开发周期,又可以在设计初期对芯片系统功能进行充分验证^[3]。

所谓虚拟仿真平台,就是通过开发相应的验证模

型来模拟芯片实际工作时的周边设备,然后把验证模型同 RTL 代码集成到一起,形成一个可以模拟芯片内部工作过程的仿真平台。与 FPGA 原型仿真平台相比,虚拟仿真平台成本低,便于观测性和操作,可以快速发现和定位错误并纠正,可移植性强,很好地弥补了 FPGA 原型仿真平台的不足。

而基于虚拟平台的软硬件协同仿真验证主要可用于验证芯片的一些系统级特性,如模块间的互联、访问控制及数据流是否正确等。软件设计人员也可以在虚拟平台的基础上开发一些测试程序和相关应用程序,然后在虚拟平台上去验证。这样在验证硬件设计的同时也验证了软件设计的正确性。

3 虚拟仿真平台的构建

基于虚拟仿真平台的验证系统主要由测试程序、软件编译工具、硬件 RTL 设计代码和验证组件模型组成,如图 2 所示。其中软件编译可根据处理器的不同选择相应的软件编译工具来完成^[4]。

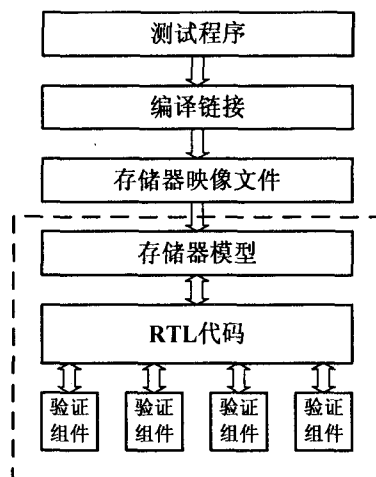


图 2 软硬件协同验证

虚拟仿真平台运行时,测试程序首先经过软件编译工具编译链接,生成存储器映像文件,然后将映像文件加载到存储器模型中。处理器模型上电复位后就可以从存储器模型中取指令并执行。

3.1 基于虚拟平台的验证软件开发

基于虚拟平台的验证软件开发工作主要分为四个部分,内容包括编写启动加载程序、中断服务程序、调试程序和测试程序,并通过编译工具把这些程序转化成处理器核能执行的二进制文件^[5]。

启动加载程序负责完成虚拟平台复位后的一系列相关操作过程,是整个虚拟平台能够顺利运行的基本保证。

中断服务程序用来响应设备产生的中断,在中断服务程序中完成相应的处理后,清除产生的中断。

调试程序主要包括一些调试中所使用的通用函数,比如打印函数等,这样可以方便验证人员及时发现和定位设计中的错误。

测试程序是针对于特定测试用例开发的,主要用来测试虚拟原型验证中的基本资源、基本功能和一些芯片系统级特性。

在虚拟仿真平台中所用到的软件程序,有些只需做简单的修改,比如地址空间分配,可以快速移植到 FPGA 原型仿真平台中进行相应模块的 FPGA 原型验证,一定程度上提高了芯片 FPGA 原型的验证效率^[6]。

3.2 基于虚拟平台的仿真功能模型的开发

在虚拟仿真平台的搭建中,硬件方面需要开发各种仿真验证组件,即各个模块的功能模型(BFM),如图 3 所示。这些功能模型挂载在 SoC 的外部接口上,主要用于产生现实中可能出现的各种激励,同时接收 SoC 发出的信号和数据,来模拟 SoC 实际工作时的周边环境^[7,8]。

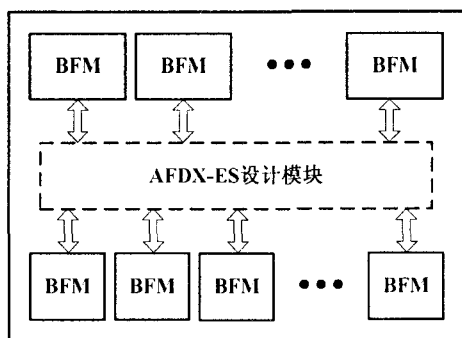


图 3 虚拟仿真平台

根据 AFDX 网络的特点,在功能模型的开发中,除了串口控制器、通用输入输出接口等典型的 SoC 功能模型外,还需要开发复杂主机接口功能模型和 AFDX 网络功能模型。主机接口功能模型用来模拟 PCI 总线上的信号和数据流,AFDX 网络功能模型用来模拟 AFDX 网络的数据通信,主要功能是接收和发送数据帧。虽然这在一定程度上增加了设计难度和工作量,但却可以在芯片设计完成之前就将 SoC 置于实际的工作环境中进行功能仿真和性能评估,从而为后续的软硬件设计开发提供可靠的依据。

4 虚拟仿真平台的典型应用

虚拟仿真平台的典型工作过程如下:首先把编译好的软件程序写入 Flash 中,上电复位后处理器核通过外部总线接口读取程序,然后处理器核根据程序内容依次对相关设备进行读写操作。与此同时,针对所加载的软件程序,各个外部功能模型也分别产生所需的测试激励^[9]。这样,AFDX-ES SoC 的各个设计模

块就可以在测试程序和测试激励的共同驱动下,进行逻辑动作。仿真结束后,可以通过仿真波形和日志文件来检查 SoC 是否能正常工作、功能是否正确以及性能如何等设计目标^[10]。

在整个 AFDX-ES SoC 的仿真验证中,共使用了近四百个项测试用例来完成相应的基本功能测试,下面列举一种虚拟仿真平台的典型应用。此项测试用例主要是用来验证 AFDX-ES SoC 是否能够正确地发送一帧 AFDX 网络数据。

软件测试程序采用 C 语言来编写,首先配置 AFDX-ES SoC 相关寄存器,包括初始化中断、写发送配置寄存器、写以太网配置寄存器等等。然后构造一帧 AFDX 网络数据包的包头,并将包头和数据一起写入 DPRAM 中。再为该帧配置 FN 号,将帧长和 FN 号写入发送寄存器。此时,AFDX-ES SoC 便开始发送 AFDX 网络数据帧,数据帧通过虚拟仿真平台传输给 AFDX 网络功能模型,AFDX 网络功能模型接收到一帧数据后,一边将接收到的数据与软件测试程序中发送的数据自动进行比较,一边同时通过虚拟仿真平台调用通用输入输出模块的功能模型,把接收到的数据显示出来,便于验证人员观测。最后,AFDX 网络功能模型判断出 AFDX-ES SoC 发送的数据与其接收的数据一致,说明了 AFDX-ES SoC 能够正确发送一帧 AFDX 网络数据,仿正常结束。

该虚拟仿真平台不仅可以进行 RTL 仿真,而且只需用将 RTL 代码替换为门级网表和 SDF 文件后,就可以进行芯片门级仿真和后仿真,具有很高的实用性。与此同时,利用该虚拟仿真平台还可以对验证的完备性进行分析,主要包括代码覆盖和功能覆盖。对于代码覆盖,主要是由仿真工具自动生成报告,然后借助虚拟仿真平台,根据覆盖率报告调整软件程序和测试激励,从而提高代码覆盖率。对于功能覆盖,首先列出功能需求,并针对不同的功能开发特定的测试用例,然后在虚拟仿真平台上进行仿真验证,确保每一个功能与预期设计一致,保证验证覆盖率^[11,12]。经过该虚拟仿真平台和仿真验证方法验证的 AFDX-ES SoC 最终一次性流片成功,功能正确,性能达到设计需求,进一步证明了该仿真验证方法的正确性。虽然验证是一个复杂的反复迭代的过程,但是有了虚拟仿真平台,就可模拟芯片工作时可能出现的各种激励,便于在投片前迅速发现问题、定位问题和解决问题,提高投片成功率。

5 结束语

文中提出了一种基于 AFDX 标准的终端 SoC 芯

(下转第 198 页)

此, XML 存储方式适用于该系统。

3.4.2 与数据库存储方式的比较

若单纯考虑对数据的组织、存储和管理,数据库管理系统无疑是最好的选择。但针对 EPON 网管系统而言,负责数据的采集和管理的 SNMPAgent 程序是运行在嵌入式操作系统之下的 OLT 单板上。由于单板上软硬件资源有限,因此在满足软件安全、准确、稳定可靠运行需要的前提下,还必须要求最大限度的优化系统软硬件资源。为了提高执行速度,OLT 单板上的软件是固化在 FLASH 中的,目标板启动时,运行其中的代码,而不是像 PC 那样从硬盘存储器中读取程序。FLASH 容量相比 PC 硬盘非常有限,因此软件体积大小成为单板程序的一大限制,同时由于嵌入式软件的实时性要求,对软件的运行速度也提出了很高要求^[12]。相较前面提到的两种文件存储方式,目前流行的众多数据库系统明显在体积和运行速度方面存在劣势,故在 EPON 网元管理系统中不宜采用数据库存储的方式。

4 结束语

这种利用 XML 文件实现配置存储的机制在实际开发与测试中被证明是一种行之有效的解决方案,可以较好地解决 EPON 系统的配置保存与恢复问题。文中采用的 DOM 解析方式虽然存在对内存要求高及对复杂树遍历的时耗问题等缺点,但 DOM 解析的树型思想符合了 EPON 系统中的树型 MIB 结构,且在文档解析过程中具有和 SNMP 标准操作类似的函数操作,同时随着计算机硬件技术的发展,内存要求和时耗

问题也将逐步克服。

参考文献:

- [1] Zhang Li, Liu Deming, Zhang Chuanhao, et al. Technology for extending transmission distance of EPON system[J]. Frontiers of Optoelectronics in China, 2009(9): 318 - 322.
- [2] 俞 斌,熊齐帮. 基于 XML 的网络配置管理的研究与实现方案[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(2): 168 - 171.
- [3] 王 峰,张 曙,方 曦. EPON 网管系统中代理端的设计与实现[J]. 计算机与现代化, 2009(8): 54 - 57.
- [4] 郝春辉,邹 静. 基于 XML Schema 的 XML 存储[J]. 计算机工程与应用, 2006(11): 173 - 175.
- [5] Clark J. XML Path Language[EB/OL]. 1999. <http://www.w3.org/TR/1999/REC-xpath-19991116>.
- [6] Marx M. Reasoning Web. Semantic Technologies for Information Systems[M]. Berlin/Heidelberg: Springer, 2009: 111 - 157.
- [7] 周爱武,李孙长,程 博,等. XML 数据库的研究与应用[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(9): 218 - 221.
- [8] Farfán F, Hristidis V, Rangaswami R. Database and Expert Systems Applications[M]. Berlin/Heidelberg: Springer, 2007: 75 - 86.
- [9] 蔚晓娟,冉 静,李爱华,等. 基于 DOM 的 XML 解析与应用[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(4): 86 - 88.
- [10] 邱 鑫,林 颖,王保保. 基于 XML 的嵌入式系统日志解决方案[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(5): 52 - 55.
- [11] 钟 华,李海燕,马家宇. XML 在嵌入式系统中的应用[J]. 南华大学学报:自然科学版, 2009, 23(9): 43 - 45.
- [12] 龚星宇,许 佳,龚尚福. 嵌入式数据库的研究[J]. 现代电子技术, 2007(9): 62 - 66.

(上接第 194 页)

片虚拟仿真平台的构建方法以及应用过程。该仿真平台可以有效地验证芯片系统功能,快速定位设计中存在的问题,提高验证效率,缩短开发周期,最终流片结果也进一步证明了该方法的正确性,对类似 SoC 设计具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] Rashinkar P, Paterson P. System on a Chip Verification: Methodology and Techniques[M]. [s. l.]: Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [2] AEEC. Draft3 of Project Paper 664: Aircraft Data Network, Part7 - Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX) Network[EB/OL]. 2004. <http://www.arinc.com/aeeec>.
- [3] Andrews J R. Co-verification of hardware and software for ARM SoC design[M]. America: America Elsevier Inc, 2005.
- [4] 吴昌平,姚放吾. 基于 SystemC 的 SoC 设计方法的研究[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(10): 243 - 246.

- [5] 郭 蒙,田 泽,蔡叶芳,等. 1553B 总线接口 SoC 设计与实现[J]. 航空计算技术, 2008, 38(6): 99 - 101.
- [6] 张花娟,龚龙庆. 面向 SoC 开发的协同验证平台的实现方法[J]. 现代电子技术, 2007(5): 149 - 151.
- [7] ARM. AMBA Specification, Revision2. 0[EB/OL]. 1999. <http://www.arm.com>.
- [8] Furber S. ARM SoC 体系结构[M]. 田 泽,于敦山,盛世敏,译. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002.
- [9] 申 敏,曹聪玲. 基于 SoC 设计的软硬件协同验证技术研究[J]. 电子测试, 2009, 3(3): 9 - 12.
- [10] 蔡叶芳,田 泽,杨海波,等. 基于 SOPC 的 FC-2 层协议设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(8): 224 - 227.
- [11] 杨海波,田 泽,蔡叶芳,等. FC IP 软核的仿真与验证[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(9): 168 - 172.
- [12] 李 攀,田 泽,蔡叶芳,等. 基于 SOPC 的 PCI 通信接口设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(9): 211 - 214.