

AS5643 协议处理 FPGA 的仿真验证

马 宁,田 泽,史嘉涛,赵志强

(中国航空计算技术研究所,陕西 西安 710119)

摘 要:现代 FPGA 设计中,仿真验证是证明 FPGA 设计能正确实现其功能的过程,是保证 FPGA 设计质量的有效手段之一。文中在分析 AS5643 协议的基础上,搭建了有效可靠的虚拟验证平台,重点研究了虚拟验证平台的构建方法,并开发相应的功能模型和测试用例。通过把这些功能模型挂接在 FPGA 的外部接口上,将初始化信息写入到相应的寄存器和配置 DPRAM 中,达到模拟 FPGA 的工作过程来进行各项测试工作。该验证平台适用于 AS5643 协议处理专用 FPGA,验证方法提高了验证效率,缩短了整个设计验证周期。

关键词:AS5643;FPGA;验证平台;仿真验证

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)05-0153-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.05.037

Simulation Verification of AS5643 Protocol Processing FPGA

MA Ning, TIAN Ze, SHI Jia-tao, ZHAO Zhi-qiang

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

Abstract: In modern FPGA design, verification is proof design to achieve its function properly process, and it is one of the effective means to ensure design quality. Based on the analysis of AS5643 protocol, set up the available and reliable simulation verification platform, and research a way implementing simulation verification platform, and exploit corresponding functional module and testcase. Through these functional models attached to the external interface FPGA, write the initialization information to the corresponding register and DPRAM, achieving simulation of FPGA work process for the tests work. This verification platform fits for AS5643 protocol for special FPGA. The result shows that this method improves verification efficiency, shorten the whole verification process.

Key words: AS5643; FPGA; testbench; simulation verification

0 引 言

伴随着集成电路设计的规模越来越大,功能越来越复杂,性能需求也越来越高的现状,FPGA 应用设计的验证工作在整个设计流程中变得越发重要,验证已经成为集成电路设计中开销最大的工作,基本要占用整个设计资源的三分之二^[1-2]。

目前由于设计验证不到位所造成的设计返工率比较高,并且在实际应用测试过程中发现问题时又不能快速定位问题的所在,使得解决问题比较缓慢。尽管 FPGA 应用设计的灵活性很高,比起芯片设计的一次投片代价要小,但重复的设计验证工作延长了整个开发周期,也同样提高了代价。为了克服上述弊端,充分的验证已经成为集成电路设计成功的关键^[3]。如何构建能模拟工作环境、高效可用的设计验证平台是当

前集成电路设计关注的重要问题之一^[4]。

文中结合 AS5643 协议处理 FPGA (以下简称 AS5643-FPGA)应用的具体项目实践,为了充分验证设计功能,构建了一种高效的虚拟验证平台,并在项目实践中取得了较好的验证效果。

1 AS5643-FPGA 概述

随着 IEEE-1394 总线成功应用于航空领域,IEEE-1394 总线已成为新一代机载总线中的一员^[5]。为了使 IEEE-1394 在军事和飞行器中的安全关键系统中应用,通过 AS5643 协议对 IEEE-1394 协议进行了扩展和约束。文中提出一种基于 AS5643 协议的飞行管理系统仿真系统设计方法,应用实践表明了 AS5643 协议在飞管总线中应用的优点。仿真系统硬件通过

收稿日期:2013-06-11

修回日期:2013-09-17

网络出版时间:2014-02-11

基金项目:“十二五”微电子预研(51308010601);中国航空工业集团创新基金(2010BD63111)

作者简介:马 宁(1981-),男,陕西渭南人,硕士,工程师,研究方向为数字集成电路设计与验证;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。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140211.1619.051.html>

AS5643 协议通信卡及工控机实现,软件通过模块化设计方法实现^[6-7]。

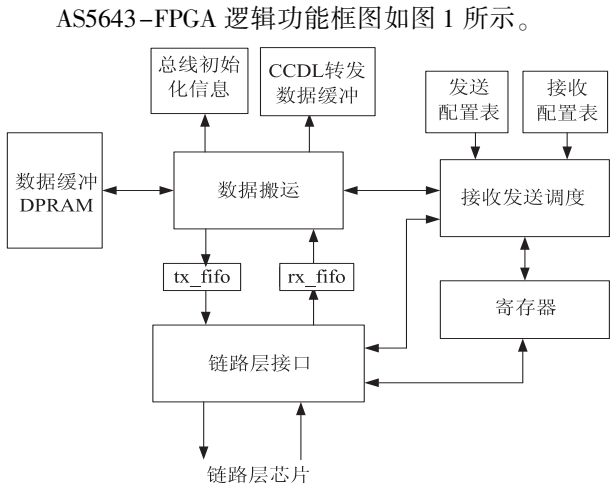


图 1 AS5643-FPGA 逻辑框图

2 AS5643-FPGA 功能验证方法和规范

文中在对 AS5643-FPGA 的验证中采用了业界相对成熟的功能验证方法,即通过 HDL 语言设计实现验证平台 (testbench) 和测试项目 (testcase), 虚拟仿真实际应用环境,对设计施加外部激励并观察其响应,再将响应结果与预期结果进行对比,从而验证 FPGA 设计的正确性^[8]。此外还可以通过 spyglass 检查工具以及其他可综合性工具进行设计检查^[6]。

由于 AS5643-FPGA 需要有正确的配置表才能正常工作,因此在使用 HDL 语言构建验证平台的同时,还需要编译相应的配置表,结合配置信息共同完成对应功能点的验证^[9]。功能验证示意图如图 2 所示。

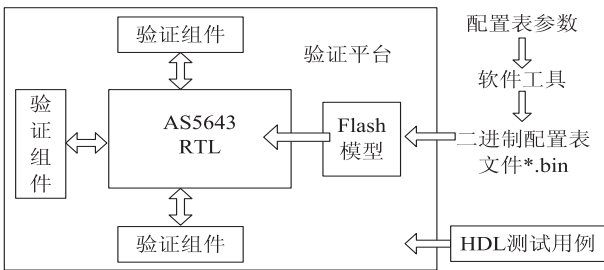


图 2 AS5643-FPGA 验证方法示意图

目前由于大多数 FPGA 设计功能比较复杂,所以在验证之前制定详细的验证计划就变得非常重要^[10]。通过分析 AS5643-FPGA 的体系结构和功能特点,制定出详细的功能验证规范主要包括以下几个方面:

- a. 主机口访问;
- b. 配置表加载;
- c. 基本存储资源;
- d. 寄存器读写及功能位;
- e. 消息收、发;
- f. 错误故障处理。

3 AS5643-FPGA 功能验证平台介绍

要充分完整地按照功能验证规范完成 AS5643-FPGA 的虚拟平台的验证,必须根据其实际工作情况,模拟外围环境来搭建虚拟验证平台^[11]。

如图 3 所示,整个验证平台大致分为两个部分: AS5643-FPGA 的实例化原型以及外围 BFM (总线功能模型)。以下按照从左到右、从上到下的顺序描述各个 BFM 的具体功能。

DPRAM 功能模型,用来实现片外 DPRAM 的存储

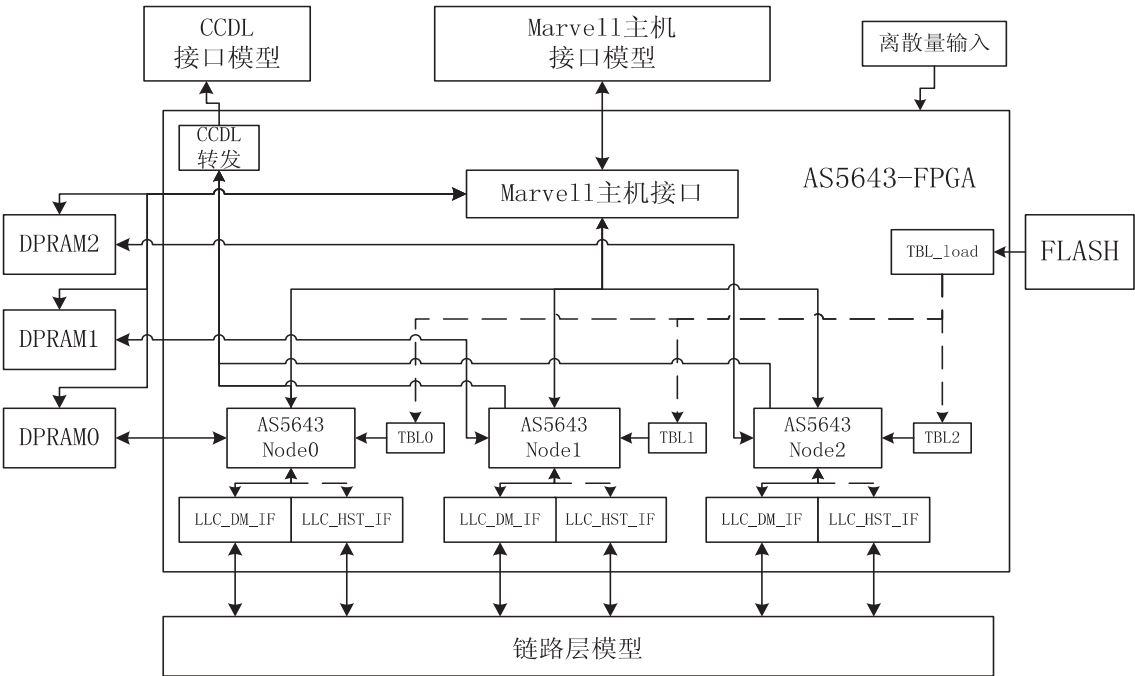


图 3 验证平台示意图

功能,基于 DPRAM 软核实现,主要用于验证消息收发过程中数据的存取。

CCDL 接口模型,作为转发数据接收方的接口及功能模型,模型核心基于 FIFO,可按照约定的转发时序及规则对所转发的数据进行判定,并给出结果。

Marvell 主机接口模型,实现了 Marvell 接口功能,主要用于模拟主机对 AS5643-FPGA 进行读、写访问。采用符合 Marvell 总线桥的标准信号,可完成对 AS5643-FPGA 内部功能寄存器、存储 DPRAM 或其他与 FPGA 互连的外围资源的访问。同时,支持主机接口的单步操作,burst 连续操作两种访问模式。

离散量输入模型,主要模拟由硬件所提供的外部选择控制信号,用于选择不同的初始化模式,从而实现 FPGA 不同工作模式的选择。

片外 FLASH 功能模型,主要作为配置表信息的载体。由配置表生成工具产生正确的二进制配置表文件,仿真验证开始时由 FLASH 功能模型读取载入配置表信息,以供 FPGA 获取。

链路层模型,主要实现链路层接口及功能,包括链路层 DM 接口模型及链路层主机接口模型两部分。链路层 DM 接口模型主要配合 FPGA 实现消息收发过程中的数据交互,模拟链路层向 FPGA 提供有效的握手及控制信号;链路层主机接口主要实现了链路层寄存器及访问寄存器的接口功能,同时可模拟实现对 DM 接口的控制功能^[12]。

4 AS5643-FPGA 仿真验证平台应用

根据 AS5643-FPGA 验证规范中定义验证的各种方面的验证内容和具体实施办法,开发相应的命令表和测试用例(HDL 激励)对被测模块进行验证。配合相应的仿真脚本,运行仿真,观察对应的检查报告、代码覆盖率和仿真波形确定最终仿真的结果^[13]。

在 AS5643-FPGA 仿真验证中共使用了近两百多测试用例来完成相对应的功能测试,下面列举测试用例中的几种典型的操作:

a. 初始化过程验证如下:

```
u_lisan_module. lisan_produce(  
8'h8, //[7:0] cfl_value  
2'h0, //[1:0] tbl_slct  
3'h0, //[2:0] flt_type  
1'b0, //wow  
1'h1, //dif_test  
1'b0, //bit_intlock  
1'b0//gse  
); //离散量配置  
wait(u_mar_bfm. rst_n); //等待主机模型复位结束  
tmp = 0;
```

```
while (! tmp[31])//等待初始化完成  
begin  
mar_r( NODE0_ADDR_BASE+NODE_INISTATE, tmp ); //读取节点状态  
end  
$display( " node initial complete !" );  
//给出初始化结果信息
```

初始化过程包含了 AS5643-FPGA 加载配置表,配置链路层寄存器等操作,主机可通过读取节点状态寄存器及其他标志状态寄存器的值,了解整个初始化结果。

b. 消息收发验证如下所示:

消息发送的验证主要是生成特定配置表,再通过主机接口模型填写待发送消息数据到配置表指定存储区,并配置相关控制寄存器。然后等待 FPGA 将消息通过 DM 口发送到链路层模型,完成之后将链路层模型中收到的数据与源数据进行对比验证。

```
/* 主机接口填写发送数据 */  
for(j=0;j<2;j=j+1)  
begin  
$display( "\nConfig the %0d packet data", j+1 );  
payload_length = 16'h40;  
addr = 32'h800 * j;  
data_base = 32'h0011_0000 * (j+1);  
for(i=0;i<payload_length;i=i+4)  
begin  
mar_write( NODE0_ADDR_BASE+DPRAM_BASE+addr+i,  
data_base+i/4 );  
end  
end  
/* 发送 STOF */  
mar_write( NODE0_ADDR_BASE+STOF_START,32'h1 );
```

消息接收的验证主要是通过配置链路层模型生成消息数据,同时通过主机接口配置 AS5643-FPGA 发送 STOF 消息。链路层模型虚拟远程节点等待主机发送 STOF 消息,之后按照设定的 STOF 偏移将生成的消息通过 DM 口发送给 AS5643-FPGA。完成之后,通过主机接口读取存储消息数据与源数据对比验证。

通过链路层功能模型 u_llc_bfm. pkt_gen 配置包数据。

配置完成后,链路层模型可生成各种类型数据消息,然后根据如下机制进行数据发送。

```
always @ ( negedge stof_flag )  
//STOF 触发机制  
begin  
if( tx_en )  
begin  
#tx_delay; //延时  
for( k=0;k<tx_num;k=k+1 )
```

```
begin
    pkt_rec;//发送一条消息
    #interval;//间隔
end
end
end
```

该验证平台在应用中具有以下优点:建立了一种统一的、可以配置的系统测试环境,通过灵活的配置,在很大程度上提高了验证设计功能的效率。

5 结束语

文中介绍了 AS5643-FPGA 功能验证的方法、验证平台的实现以及验证测试的实施过程,提出了一种验证平台的实现方法,提高了验证的效率,缩短了验证的时间,对于此类设计的验证有较好的参考价值。测试表明,飞行管理系统仿真系统工作正常、性能良好,能实现测试设备之间高速率的数据传输与转换,具备良好的实用价值。

参考文献:

[1] Moir I,Seabridge A. 军用航空电子系统[M]. 吴汉平,译. 北京:电子工业出版社,2008:127-130.

[2] 吴英攀,于立新,薛 可,等. 基于层次化验证平台的存储器控制器功能验证[J]. 微电子学与计算机,2009,26(2): 69-73.

(上接第 152 页)

3 结束语

电视机生产线上设立了很多故障维修点,维修点的工作效率也反映了整个生产线的工作效率。根据所研究的数据挖掘模型导出的规则,当出现某一故障现象之后,能够快速地确定故障类型,从而节省了查找故障原因及类型的时间,提高了维修效率。目前模型已经通过往年已存在数据的验证,正在进行当前数据的验证。

通过研究发现,在构建决策树模型到产生规则的整个过程中,有些情况下,重要属性关联性较高,就会出现缺失重要属性拆分问题;同时由于训练数据集的噪音,出现过拟合问题。下一步,将针对这些问题对模型进行不断的优化,以期使模型能够发挥更大的作用^[11]。

参考文献:

[1] 李 华. OLAP 优化技术在生产线质量控制决策支持系统中的应用研究[D]. 贵阳:贵州大学,2012.

[3] 吴一戎,朱敏慧. 合成孔径雷达技术的发展现状与趋势[J]. 遥感技术与应用,2000,15(2):121-123.

[4] 吴晓芳,代大海,王雪松,等. 合成孔径雷达电子对抗技术综述[J]. 信号处理,2010,26(3):424-435.

[5] 蒋庆全. 有源相控阵雷达技术发展趋势[J]. 国防技术基础,2005(4):9-11.

[6] Rashinkar P,Paterson P,Singh L. System on a chip verification - methodology and techniques[M]. New York:Kluwer Academic Publisher,2002:107-115.

[7] Schumacher R,Schiller J. Non-cooperative target identification of battlefield targets classification results based on SAR images[C]//Proc of IEEE international radar conference. USA:IEEE,2005:167-172.

[8] Wang Wenqin, Cai Jingye. A technique for jamming bi- and multistatic SAR systems[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters,2007,4(1):80-82.

[9] The Airlines Electronic Engineering Committee. ARINC specification 659 backplane data bus[S]. USA:Aeronautical Radio,Inc,1993.

[10] 左 航,金玉丰. 一种基于 Vera 的集成电路建模验证方法[J]. 计算机技术与发展,2007,17(1):94-97.

[11] 李鸿儒,朱志强. 数字集成电路验证中的模型使用[J]. 科学技术与工程,2008(2):45-51.

[12] 杨露菁,王德石,李 煜. 多视角 SAR 图像的静态建模与显示仿真[J]. 系统仿真学报,2010,22(2):506-509.

[13] 黄世奇,刘代志,禹春来,等. SAR 图像目标方位角估计与分析[J]. 系统仿真学报,2008,20(7):1795-1799.

[2] 基于朴素贝叶斯分类器的文本分类算法[EB/OL]. 2010-02-21. <http://wenku.baidu.com/view>.

[3] 特征选择常用算法综述[EB/OL]. 2011-01-02. <http://www.cnblogs.com/heaad/archive/1924088.html>.

[4] Inmon W H. Building the data warehouse[M]. 北京:机械工业出版社,2006.

[5] 王丽珍. 数据仓库与数据挖掘原理应用[M]. 北京:科学出版社,2009:212-219.

[6] 陈文伟. 数据仓库与数据挖掘教程[M]. 北京:清华大学出版社,2006:134-137.

[7] 张 宇. 决策树分类及剪枝算法的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2009.

[8] Han Jiawei,Kamber M. Data mining concepts and techniques[M]. 北京:机械工业出版社,2001.

[9] 朱德利. SQL Server 2005 数据挖掘与商业智能完全决策方案[M]. 北京:电子工业出版社,2007:261-264.

[10] 武 彤,王秀坤. 决策树算法在学生成绩预测分析中的应用[J]. 微计算机信息,2010(3):209-211.

[11] 程 辉. 决策树算法在生产线质量控制决策系统的应用研究[D]. 贵阳:贵州大学,2013.

AS5643协议处理FPGA的仿真验证


作者:

[马宁](#), [田泽](#), [史嘉涛](#), [赵志强](#), [MA Ning](#), [TIAN Ze](#), [SHI Jia-tao](#), [ZHAO Zhi-qiang](#)

作者单位:

[中国航空计算技术研究所, 陕西 西安, 710119](#)

刊名:

[计算机技术与发展](#) 

英文刊名:

[Computer Technology and Development](#)

年, 卷(期):

[2014\(5\)](#)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201405037.aspx