

一种基于虚拟机的处理器高效原型验证方法

赵君建,张盛兵,黄小平

(西北工业大学 航空微电子中心,陕西 西安 710072)

摘 要: 针对传统微处理器 FPGA 验证难以快速精确的定位错误的问题,提出了一种基于 Simics 虚拟机的高效原型验证方法,使用 Simics 辅助 FPGA 验证,快速定位错误来源.该方法已在龙腾 R 的 FPGA 验证平台中得到了应用.实践表明,该方法可以有效缩短问题查找时间,同时 Simics 仿真结果也能提供解决问题的思路.

关键词: FPGA;原型验证;Simics;微处理器

中图分类号: TN407

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)07-0094-03

An Efficient Microprocessor Prototype Verification Methodology Based on Simics

ZHAO Jun-jian, ZHANG Sheng-bing, HUANG Xiao-ping

(Aviation Microelectronic Center, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The traditional microprocessor FPGA verification methodology can not fix the sources of errors quickly and accurately. Aiming at solving this problem, also combining the verification requirements of Longtium R microprocessors, a Simics-based prototype verification methodology, is proposed. Using this contrastive verification flow, the overall time consumption was reduced. The Simics's simulation results could also provide more clues, which can make it easy to solve the problems.

Key words: FPGA; prototype verification; Simics; microprocessor

1 引言

随着工艺制程的进化,现代微处理器的集成度越来越高,系统结构也越来越复杂.微处理器设计人员不但要考虑设计出可行的高性能体系结构,同时也要关注如何保证设计的正确性,即微处理器验证.验证工作通常占项目时间的 40%~70%^[1].目前硬件的验证方法主要有三类:形式化验证、基于仿真的验证和 FPGA 原型验证.设计后期一般采用 FPGA 原型验证和后仿真来保证设计功能和时序正确.FPGA 原型验证由于相对于后仿真,耗时短,同时也能保证一定的错误覆盖率,效率高,被广泛采用.

传统微处理器 FPGA 验证采用 FPGA 厂商提供的软逻辑分析仪抓取设计的内部信号,出现问题

后,分析信号波形,定位错误.由于缺乏正确的参考对象,验证人员必须充分熟悉设计,掌握设计中预期的指令执行序列和内部寄存器变化,分析信号的工作量太大,效率低下,因此亟需一种有效的方法快速定位错误.

本文介绍了一种采用 Simics 全系统仿真平台和 FPGA 验证平台相结合,比照验证的方法,该方法可以加速查找问题的过程,为项目节约时间.

2 传统 FPGA 验证

传统处理器的 FPGA 原型验证流程图如图 1 所示,处理器 RTL 编码完成之后进行 FPGA 原型验证,此处测试激励以 VxWorks 操作系统为例.FPGA 验证平台执行操作系统出错后,首先根据错误现象

收稿日期: 2009-06-12; 修回日期: 2009-08-12

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(60736012);国家自然科学基金项目(60773223)

分析可能的原因,然后有针对性的抓取 FPGA 内部信号进行观察,设置触发条件查找定位错误位置.

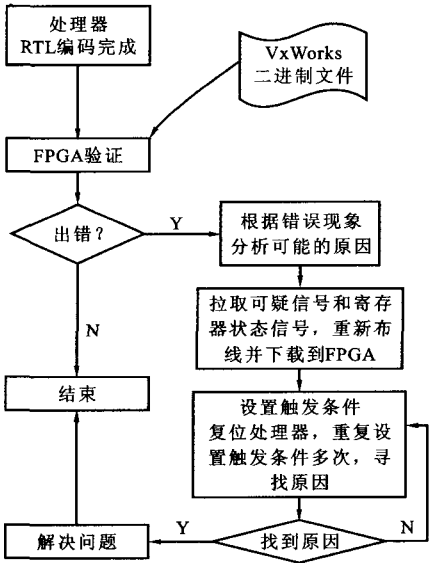


图 1 传统处理器 FPGA 验证流程

这种方法的缺点是定位错误的过程效率低,通常需要多次布局布线,而且要求验证人员对测试激励及预期响应非常熟悉,对于小型设计的验证,这种方法可以满足需要,但是对于大型设计,例如微处理器,涉及到操作系统级验证,要求验证人员熟悉处理器设计细节和操作系统执行细节不现实.下文将深入讨论这一问题,并基于龙腾 R 处理器的 FPGA 原型验证平台提出了一种新的高效验证方法.

3 龙腾 R 处理器 FPGA 验证平台

龙腾 R 系列微处理器是西北工业大学航空微电子中心自行设计的 32 位 RISC 处理器,基于 PowerPC 体系结构.目前最新版龙腾 R2 处理器完全兼容 PowerPC750 指令集,采用 FPGA 作为主要验证方法.

龙腾 R2 处理器的 FPGA 验证平台建立在 Altera Stratix II EP2S180 DSP 开发板上,主要对处理器进行操作系统级验证,验证过程采用嵌入式商用实时操作系统 VxWorks,并通过 Tornado 集成开发环境验证用户编写的应用程序.

图 2 给出该验证平台的基本结构. VxWorks 操作系统对应 PowerPC 体系结构的 bootrom 和 ram 文件预先使用 Altera Flash Programmer 烧写到 FPGA 板上的 Flash 中,龙腾 R 处理器取指的入口地址为 bootrom 首地址.目标板上电后,处理器首先执行 bootrom 指令,将 VxWorks 操作系统的二进制指令搬运至板上的 SDRAM 中;搬运完毕,处理器跳转到 SDRAM 地址开始执行操作系统指令^[2].验证平台中宿主机(HOST)和目标板(TARGET)使用两个串口通信,UART1 用来打印 VxWorks 操作系统执行中的输出信息,通过超级终端显示在宿主机屏幕上;UART2 供 Tornado 调试软件使用,下载用户编写的程序,并控制目标板上程序的运行.超级终端中打印的信息可以通过其捕获功能保存到文件中,用以分析执行过程,排查错误.

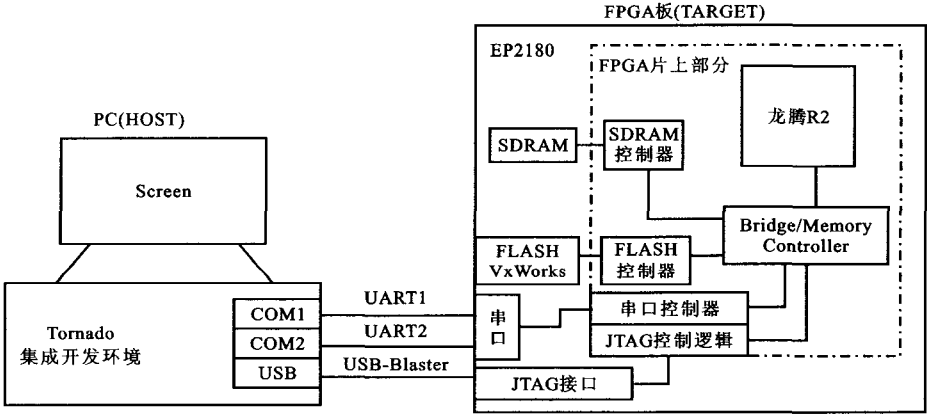


图 2 龙腾 R 处理器 FPGA 验证平台

4 Simics 仿真器

Simics 是由 Virtutech 公司开发的全系统仿真平台,是一种高效的系统级指令集仿真器. Simics 在操作系统级对目标系统进行建模,支持建模总线接口、中断控制器、磁盘、视频存储等.这意味着 Simics

可以运行任何真实系统中可以运行的应用. Simics 可启动完全未经过修改的内核,它在指令级进行抽象,因而具有很好的性能,并且达到可以运行商用软件的功能精度^[3-4].该平台提供了包括 X86、PowerPC、ARM、Sparc、MIPS 等主流指令集系统的配置,包括处理器和相应外围设备模型,并且可以在仿真

的处理器指令集上运行多种操作系统,例如 MS-DOS、Windows、VxWorks、Solaris、FreeBSD、Linux 等. Simics 主要用来虚拟特定的嵌入式硬件平台来开发相应的软件.

本文主要使用 Simics 构建^[5-6]对比验证平台,使用 Simics 对 PowerPC 体系结构的微处理器进行指令集仿真,运行与 FPGA 平台完全一致的应用,其运行过程中的指令流序列和内部寄存器状态可作为 FPGA 硬件验证平台的参考.

5 使用 Simics 辅助处理器 FPGA 原型验证

FPGA 验证的时间开销主要在布局布线和查找问题,操作系统启动过程执行耗时很短. 龙腾 R 处理器的 FPGA 验证平台上 VxWorks 操作系统启动只需几秒钟. 验证平台使用 Altera 公司产品 EP2S180 开发板,综合与布局布线使用 Altera 公司的 Quartus II 软件,并在布局布线之前使用 Quartus II 内嵌的软逻辑分析仪 SignalTap II 拉出需要观察的信号,由于板子硬件资源有限,布线之前要考虑好拉取什么信号,以节省反复布线耗费的时间.

仅仅依靠 FPGA 有限的信号提取能力,很难精确定位错误,而且效率低下. 因此需要一种更高效的方法. Simics 提供了指令级仿真能力,可以作为 FPGA 验证平台的标准参考. 使用 Simics 模拟真实的 PowerPC 体系结构处理器,并添加必要的外设,添加测试激励(VxWorks 操作系统)后, Simics 仿真平台运行结果就可作为标准参考. 由于 Simics 具有强大调试能力,支持单步执行、设置断点、观察内部寄存器状态等功能,可以快速定位到出错指令流附近,而且利用单步执行,结合内部寄存器状态,同时对比 SignalTap II 抓取的波形,可快速定位错误原因.

图 3 描述了 Simics 辅助微处理器 FPGA 验证的流程. FPGA 验证平台运行 VxWorks 操作系统过程中可能会出现一些问题,根据问题特征进行合理推断后,找出可能出现问题的功能点,在 Simics 仿真平台上可以直接定位到验证点,并对程序运行过程中处理器内部的各种寄存器、存储器、cache 等单元内的数据进行实时观测.

Simics 仿真平台作为参考基准,用来分析 FPGA 验证的出错原因. 在 Simics 仿真平台和 FPGA 验证平台上运行相同的测试功能包,将两者运行结果做比较:如果相同,则认为设计正确;如果不同,则需要找出设计中存在的问题.

Simics 调试验证过程定位错误的方式主要是比

较执行相同指令后的寄存器的状态是否相同. 当 FPGA 验证出错时,首先要定位到出错的函数附近,定位过程要求熟悉 VxWorks 操作系统的启动流程;一旦定位到错误附近,从出错前某地址开始对比 SignalTap II 信号和 Simics 的指令流执行序列及寄存器状态,找到不同之处. 分析可能的出错原因,重新布局布线拉取信号查找原因,定位问题.

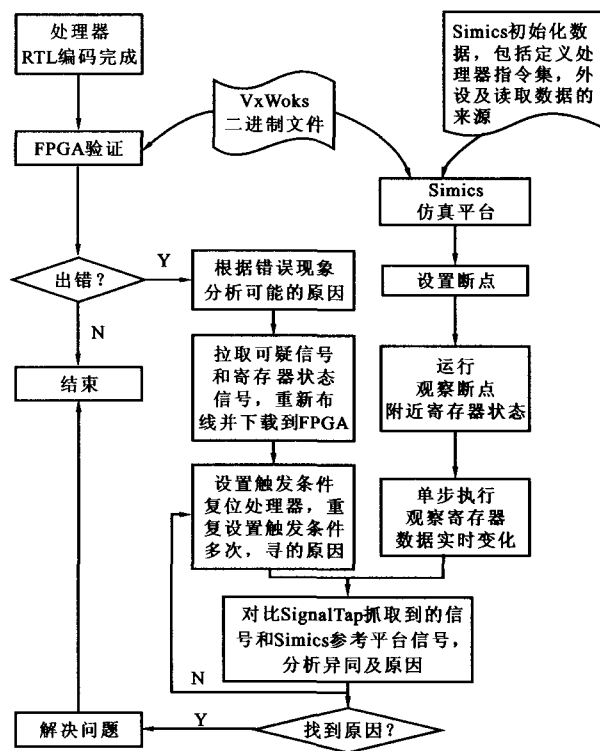


图 3 Simics 辅助微处理器 FPGA 验证流程

6 应用实例

上述所描述的流程和方法已经应用于西北工业大学航空微电子中心龙腾 R 处理器^[7]的 FPGA 验证中,应用该方法加速了处理器原型验证过程中错误定位过程,并利用 Simics 仿真平台的参考寄存器状态辅助分析了出错的原因. Simics 的仿真结果为解决问题提供了一种思路.

7 结束语

本文介绍了一种采用 Simics 仿真平台加速该过程的方法,使用该方法可以缩短问题定位时间,并且 Simics 仿真平台给出的寄存器状态可以辅助分析出错原因,该方法已应用于龙腾 R 处理器的原型验证中,节省了时间,提高了验证效率. 这种方法也可以推广到对处理器进行软件功能仿真过程中,加速验证过程. (下转第 101 页)

分别运行逻辑服务与数据服务,网关服务器运行于一台机器上,考察 1 000/2 000/3 000 并发用户情况下的 CPU 和内存开销;

(3) 测试服务器为 PC 机,CPU 2.4GHz 双核,4GB 内存,Windows 2003 Server,除操作系统外无其他应用程序.

表 1 中给出了本文构建的 MMO 服务器的测试结果.1 000 并发用户时,CPU 开销很低,完全满足长期运行的 CPU 开销;用户量增至 3 000 后,单台服务器的 CPU 开销已经达到 35%,若长期运行,可满足需求,但不能够承载更多的并发用户,否则服务器将处于不稳定状态;多级群组运行服务器情况与单机情况差异不大,证明服务器的网关设计合理.考虑到测试环境采用性能较低的 PC 级,若使用运营级服务器,则可以承载更多的用户或维持更加稳定的运行状态.所以,本文设计的服务器架构在构建

表 1 服务器模拟测试结果

编号	主机	单机用户	CPU/%	内存/Byte
1	1	1 000	8	40 350
2	1	2 000	19	62 600
3	1	3 000	35	100 600
4	2	1 000	10	41 740
5	2	2 000	16	72 480
6	2	3 000	34	130 200

MMO 应用服务时切实可行.

5 结束语

本文归纳了 MMO 软件服务器的特点,并给出总体的设计思路.针对关键的技术问题,结合多种设计模式,详细论述了实现方法:通过 IOCP 机制构建网络通讯模块、通过代理模块实现模块加载的柔性配置、使用共享内存提高服务器运行鲁棒性.算法的优化以及服务器性能的提升将是下一步研究工作的关注点.

参考文献:

[1] 崔金红,王旭.能力共享架构及其在 IM 和 SNS 中的应用研究[J]. 计算机科学,2008,35(12):73-76.
[2] 黄超. Windows 网络编程[M]. 北京:人民邮电出版,2003.
[3] 刘海岩,锁志海,吕青,等.设计模式及其在软件设计中的应用研究[J]. 西安交通大学学报,2005,39(10):1043-1047.
[4] 钟金琴,辜丽川,张友华,等.设计模式的一种形式化描述方法[J]. 微电子学与计算机,2009,26(6):150-154.

作者简介:

李海燕 女,(1973-),硕士,讲师.研究方向为网络通讯及多媒体技术.

(上接第 96 页)

参考文献:

[1] Rashinkar P,Paterson P,Singh L. System on a chip verification methodology and techniques[M]. New York: Kluwer Academic Publishers,2001.
[2] 王继中,樊晓桢,黄小平.“龙腾”处理器 FPGA 验证平台的优化设计[J]. 计算机测量与控制,2009,17(1):170-172.
[3] Magnusson P S,Christenssonagnus,Eskilson J,et al. Simics:a full system simulation platform[EB/OL]. [2009-03-10]. IEEE Computer, <https://www.simics.net/simics/simics-computer-february-2002-wcover.peg>,2002-02.
[4] 吴松林,樊晓桢,安建峰.使用 Simics 模拟器辅助微处理器验证[J]. 科学技术与工程,2008,8(7):1847-1850.
[5] Virtutech AB. Simics/x86 Target Guide[M]. Simics3.0,

2006.

[6] Virtutech AB. Simics user guide for windows[M]. Simics3.0,2006.
[7] 黄小平,樊晓桢,贾琳,等.“龙腾”微处理器流水线的设计及优化[J]. 微电子学与计算机,2006,23(2):144-147.

作者简介:

赵君建 男,(1983-),硕士研究生.研究方向为计算机系统结构、专用集成电路设计.
张盛兵 男,(1968-),教授.研究方向为 VLSI 系统设计、计算机系统结构、电子设计自动化.
黄小平 男,(1979-),博士研究生.研究方向为计算机系统结构、专用集成电路设计.