

RFID 标签芯片验证平台

李晶晶, 王德明, 胡建国, 谭洪舟
(中山大学 信息科学与技术学院, 广东 广州 510006)

摘 要: RFID(Radio Frequency Identification)标签芯片命令及其帧格式多样,增加了验证的复杂性,而且验证充分性难以得到保障. 为了能够高效地验证 RFID 标签芯片以及解决验证充分性的问题,提出了一种基于覆盖率和受约束的随机激励的面向对象的功能验证平台设计方法. 验证平台不仅能对单条命令进行验证,也能对特定的和随机的命令流进行验证,并自动检查验证结果. 实践表明,该验证平台大大提高了验证生产率,保证了流片后芯片功能的正确性.

关键词: RFID; 覆盖率; 受约束的; 随机激励; 自动检查

中图分类号: TN47

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)10-0144-04

The Verification Platform for RFID Tag Chip

LI Jing-jing, WANG De-ming, HU Jian-guo, TAN Hong-zhou

(College of Information Science and Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The command and format of its frame of RFID (Radio Frequency Identification) tag chip are various which increase the verification complexity and make the verification sufficiency hard to ensure. In this paper, we present an object oriented functional verification platform based on coverage and constrained random stimulus to verify efficiently and solve the sufficiency of the verification of RFID tag chip. This platform can verify a single command as well as directed and random scenarios, and check the verification output automatically. Practice shows that adopting this verification platform greatly enhances the verification productivity, and ensures the function of the chip after tape-out.

Key words: RFID; coverage; constrained; random stimulus; self-check

1 引言

随着芯片制造工艺的不断进步,单位面积上集成的晶体管数量的不断提高,芯片的复杂度成倍增加. 在整个芯片设计流程中,功能验证所占用的时间大约是整个芯片设计时间的 60%~80%^[1]. 验证成为芯片设计中的一个重要环节. 传统的验证方法是验证工程师编写大量的定向激励,通过人工的方法观测和检查仿真结果. 这种验证方法效率低下、可重用性低,而且验证充分性得不到保障.

文中针对 RFID 标签芯片的帧结构和命令格式特点,提出了一种基于覆盖率和受约束的随机激励的功能验证平台设计方法. 验证人员可以在平台上

定制所需要的测试激励,也可以随机生成测试激励. 在验证平台中采用层次化、抽象化的设计技术. 单一的占统治地位的总线功能模型使我们难以添加或结合新的协议层,事务处理器的层次化形成了验证平台各个层次的抽象化,采用事务处理器的层次化模型能促使总线功能模型的突破^[2]. 此外,代码的可重用性高,只需改变或添加几行语句就能完成某个特性的验证. 由于该验证平台可产生随机激励,所以设计了功能覆盖模型,对随机激励的产生进行度量,识别到目前为止哪些测试激励已经自动地产生过了.

2 RFID 标签芯片系统结构及帧格式

RFID 标签芯片的总体结构如图 1 所示,包括

模拟电路和数字电路两个组成部分. 模拟电路输出解调信号(命令)作为数字电路的输入, 数字电路解码、校验该信号后将其送入逻辑控制电路进行处理. 数字电路输出的编码信号(响应)作为模拟电路的一个输入, 模拟电路将该信号经过调制后发送给读写设备.

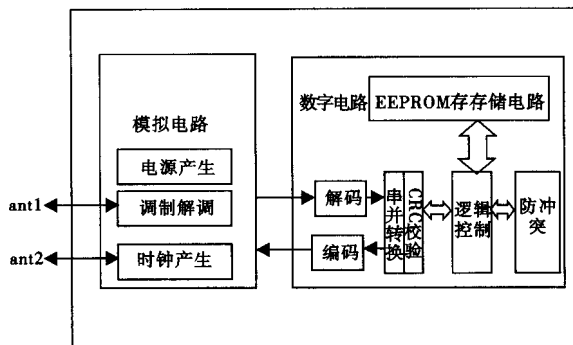


图1 REID 标签芯片总体结构

VCD(Vicinity Coupling Device)到 VICC(Vicinity Card)的命令采用帧的格式发送, 表1所示为命令的格式, 包括帧头 SOF(Start of Frame), 标志(flag), 命令(command), 若干参数以及 CRC(Cyclic Redundancy Check)和帧尾 EOF(End of Frame). 命令和 CRC 之间的数据为可选参数. 除了 EOF, 标志, 命令, CRC 和 EOF 固定外, 每条命令可选参数的个数和意义是不同的.

表1 命令格式

SOF	Flag	Command	...	CRC	EOF
	8 bits	8 bits	...	16 bits	

VICC 到 VCD 的响应也是按照帧格式发送的, 包括帧头 SOF, 响应标志 flag, 若干可选参数, CRC16 和帧尾 EOF.

数字电路的验证包括单元级验证和系统验证级两步. 单元级验证是验证数字电路各个组成模块, 系统级验证的目的是确保这些单元正确连接以及确保设计符合所有的单元接口协议. 由于单元级验证已经完成, 本文只介绍系统级验证.

3 RFID 标签芯片验证平台设计

3.1 验证方法及验证平台结构

传统的芯片验证是设计人员编写大量的定向激励, 施加给被测设计, 并手工检查设计的输出^[3]. 这种验证方法有诸多缺点, 例如仿真速度慢、验证的进程难以衡量、代码重用性低、一些边角情况覆盖不到等.

本验证平台基于 VMM(Verification Methodology Manual)验证方法学设计, 克服了传统验证方法的不足. 随机激励可覆盖到边角情况, 能查找出使用定向激励难以发现的问题, 提高了功能覆盖率. 验证平台的层次结构保证了代码重用性, 一些用于单元级验证的结构可以应用在系统级验证中. 而且验证平台一旦完成, 就能应用在这一系列的芯片当中.

图2为 RFID 标签芯片验证平台框图, 验证环境采用分层次, 自顶向下方式搭建.

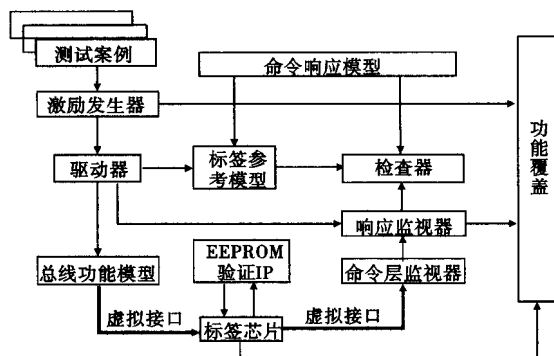


图2 RFID 标签芯片验证平台框图

验证平台最上层是测试层, 主要包括测试案例. 测试案例的实现是下列各种情况的组合: 发生器的附加约束、新的随机场景的定义、创建定向激励、被测设计的状态监控、错误插入使能标志等^[2-3]. 验证平台的重用性之一就是验证人员编写测试案例, 使用同一个验证平台验证被测设计.

验证平台的下一个层次是场景层, 主要包括激励发生器. 激励发生器能够产生单条命令, 也能产生命令序列. 同时激励发生器中包含激励产生决策算法, 保证了何时产生激励以及何时将激励送入驱动器. 驱动器、标签参考模型、检查器、响应监视器位于平台的功能层. 驱动器把从激励发生器取得的事务发送给总线功能模型. 标签参考模型用 systemverilog 编写来重新实现标签芯片的功能. 检查器有两个输入: 响应监视器发送的响应和参考模型发送来的事务, 它用于检查这两个输入是否一致, 据此来判断芯片功能的正确性. 响应监视器接收命令层监视器发送的事务, 并对它进行处理, 然后将其发送给检查器. 接下来的分别是命令层和信号层. 信号层包括标签芯片、虚拟接口和 EEPROM 验证 IP 接口. 虚拟接口提高了平台的可重用性, 减少了验证平台开发的复杂度^[4]. EEPROM 验证 IP 由第三方提供. 命令层包括总线功能模型和命令监视器. 总线功能模型把从驱动器接收的事务, 通过一定的编码方式生成

信号波形,施加于标签芯片.命令层监视器通过虚拟接口连接标签芯片,它包含了一个解码算法,把标签芯片的输出波形还原为数据事务.

3.2 激励产生决策算法

传统验证方法只是使用定向激励,验证层次低,不存在激励产生决策算法.本验证平台采用面向对象的验证平台设计方法,设计了稳定的、特有的激励产生决策算法.图3是本验证平台采用的激励决策算法流程图.算法包含了对单条命令和多条命令序列激励的决策,方便验证平台产生单条命令和多条命令序列.系统复位后,判断是否有新命令产生.如果没有就等待;如果有新命令产生,就判断是否为有效命令.若判断命令无效,就自动丢弃,等待下一条命令的产生;反之,激励发生器就把命令发送给驱动器,驱动器通过总线功能模型把命令发送给标签芯片.下一步就等待 Tag(标签芯片)发出(响应)结束信号.当对单条命令序列决策时,序列个数为 1,Tag 发出响应结束信号后序列个数减 1,接着检查器发出 DONE 信号,仿真环境清除通道内所有事务,仿真周期结束.当对多条命令序列决策时,Tag 发出响应结束信号后,序列个数减 1 后判断不为零,接着进行下一轮命令产生.若序列个数小于 1,检查器没有发出 DONE 信号,则验证环境发出 ERROR 信号,结束仿真.

3.3 自检查结构

本验证平台的一个重要特点就是具有自动检查功能,免去了靠查看波形来查错的繁琐、费时的的工作.一般来说,自检查验证平台有三种类型:黄金向量、参考模型、基于事务的验证^[5].在黄金向量验证环境中,一些有效输出向量的知识库被存储在记分板中.检查器通过访问记分板获得预期的向量,并与 DUT 的结果相比较.考虑到标签芯片命令多,响应不同,不可能在记分板中预先保存所有响应结果.因此,黄金向量方法并不适用.而基于事务的验证环境适用于那些包含可以确认的事务的 DUT,因此这种验证环境也不适用.参考模型是根据输入激励计算出预期的输出,这种验证环境适合标签芯片.因此本验证平台采用基于参考模型的自检查结构.图4是从验证平台里抽出的基于参考模型的自检查结构框图.参看图4,自检查结构包括激励产生、标签参考模型、检查器、监视器.激励发生器的输出一方面作为标签芯片的输入,另一方面有作为标签参考模型的输入.标签参考模型获得激励输入后,输出相应的响应.监视器对标签芯片的输出进行译码后,把数据

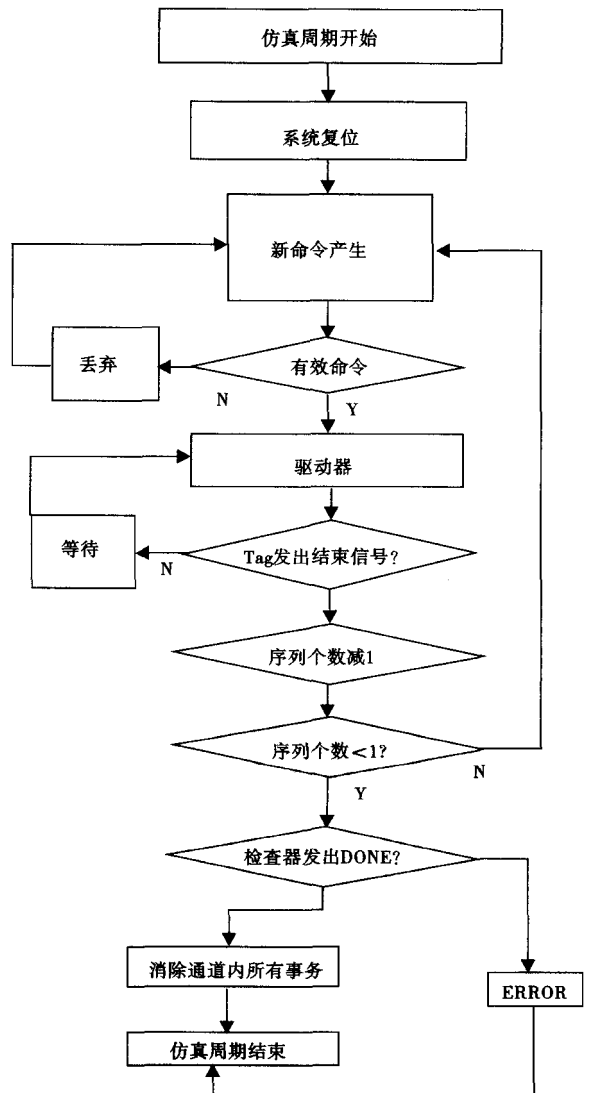


图3 激励决策算法流程

保存为事务格式,通过通道发送给检查器.检查器从标签参考模型和监视器获得输入,并比较二者是否相同.若相同,则匹配计数器加一,否则错误计数器加一.

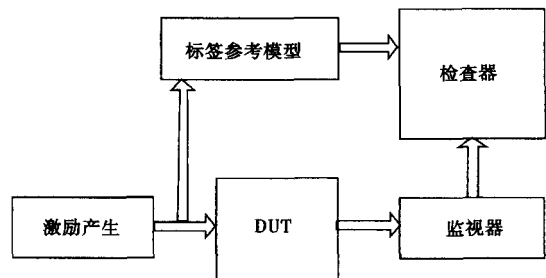


图4 自检查结构

标签芯片验证平台自检查结构主要用于检查以下内容:

- (1) 检查标签芯片的输出是否符合协议要求;

- (2) 检查标签对于无效命令的响应情况;
- (3) 检查标签对有效命令是否响应正确.

4 功能覆盖率模型

度量功能覆盖的目的就是从器件功能角度度量验证进程^[6]. 根据被测设计的特点, 功能覆盖率模型包括两个覆盖率组: command 组和 flag 组. command 组内设置了 20 个仓 (bins), 即对每个命令都建立了一个仓; flag 组包含 7 个仓, 对应 flag 的前 7 个位. 图 5 所示为 command 组中仓的命中情况.

Bins NAME	COUT	AT_EAST
eas_alarm	1	1
lock_eas	1	1
reset_eas	1	1
set_eas	1	1
fas_inv_read	1	1
inv_read	1	1
get_m_blk_sec_st	1	1
get_system_info	1	1
lock_dsfd	1	1
write_dsfd	1	1
lock_afi	1	1
write_afi	1	1
reset_to_ready	1	1
select	1	1
read_multi_block	1	1
lock_block	1	1
write_single_block	1	1
read_single_block	1	1
stay_quiet	1	1
inv	1	1

图 5 command 功能覆盖报告

5 结束语

文中所述的验证平台结构有良好的可重用性.

稍加修改验证平台接口部分, 就可以用来验证符合协议的被测设计. 由于验证平台结构的特点, 也可以经过修改后来验证其他设计, 节省了重新开发验证平台的时间. 本平台已在实际工程中应用, 实践证明, 该平台还具有快速、高效的特点. 在以后, 将加入断言技术, 以使该平台更加完善.

参考文献:

- [1] Janick Bergeron. Writing testbenches using systemverilog [M]. Springer Science + Business Media, Inc, 2006.
- [2] Janick Bergeron, Eduard Cerny, Andrew Nightingale, et al. Verification Methodology Manual for System-Verilog [M]. Berlin: Springer, 2006.
- [3] 吴英攀, 于立新, 薛可. 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): 25-28.
- [4] Mike Mintz, Robert Ekendahl. Hardware Verification with SystemVerilog [M]. Berlin: Springer Science + Business Media, LLC, 2007.
- [5] Bruce Wile, John C Goss, Wolfgang Roesner. Comprehensive Functional Verification: The Complete Industry Cycle [M]. [S. L.]: Morgan Kaufmann Publishers, 2005.
- [6] 朱车壮, 陈岚. 基于覆盖率驱动的 SoC 验证技术研究 [J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(11): 48-51.

作者简介:

李晶晶 男, (1986—), 硕士. 研究方向为嵌入式芯片与系统设计.

王德明 男, (1988—), 博士. 研究方向为 RFID 与 IC 设计.

谭洪舟 男, (1965—), 博士生导师, IEEE 高级会员. 研究方向为 IC 设计、RFID 技术、盲信号处理、智能信息处理及 VLSI 实现.

(上接第 143 页)

- [7] ARM Company. ARM7TDMI (V3) Technical Reference Manual. 2001.
- [8] ARM Company. AMBA Specification (Rev 2.0) Technical Reference Manual. Cambridge: ARM company, 2008

作者简介:

王文丞 男, (1985—), 硕士研究生. 研究方向为基于 ARM 的 SOC 集成电路设计.

王 磊 男, (1973—), 博士, 博士生导师. 研究方向为生物医学系统芯片设计与应用.