

# SoC 芯片中 SRIO 接口的 FPGA 验证平台设计验证

曹朋朋, 田 泽, 赵 强, 李 攀, 王 泉

(西安航空计算技术研究所 集成电路与微系统设计航空科技重点实验室,  
陕西 西安 710068)

**摘 要:** SRIO 接口基于串行包交换协议, 包含 SRIO 接口的高性能处理器已广泛应用于航空嵌入式系统中, SRIO 高速接口功能与性能的验证是整个系统设计的关键, 设计可靠完备的验证平台对芯片 SRIO 接口的验证至关重要。文中基于对 RapidIO 协议的理解, 基于一款 SoC 芯片设计并搭建了 FPGA 验证平台, 策划 FPGA 功能验证点, 完成对 SRIO 核的验证。基于文中的验证平台可完成 SRIO 接口不同线速率, 不同线宽, 以及 SRIO 不同包类型的覆盖验证, 测试内容已覆盖 SRIO 协议中规定的内容。

**关键词:** SRIO; FPGA 平台; 设计; 验证

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2016)06-0183-03

doi: 10. 3969/j. issn. 1673-629X. 2016. 06. 041

## Design and Verification of SRIO in SoC Based on FPGA

CAO Peng-peng, TIAN Ze, ZHAO Qiang, LI Pan, WANG Quan

(Key Laboratory of Aeronautics Science and Technology of Integrate Circuit and Micro-system Design,  
AVIC Computing Technique Research Institute, Xi'an 710068, China)

**Abstract:** SRIO interface is based on serial packet switch protocol. High-performance embedded CPU with SRIO interface is widely used in avionics embedded system. The verification of SRIO interface is particularly important for the design of the system. A reliable and complete verification platform for SRIO interface is very important. Based on the understanding of RapidIO protocol in this paper, a FPGA verification platform is designed and implemented based on SoC, planing functional test point and accomplishing the verification of SRIO IP core. The verification platform described in this paper can test SRIO interface with different line rates, different line width, and different package types. The content of the test has been covered by the SRIO protocol.

**Key words:** SRIO; FPGA platform; design; verification

## 0 引 言

随着嵌入式系统互连技术的发展, 系统对数据传输和处理的速率也有了越来越来高的要求, I/O 子系统的性能直接关系到系统的性能<sup>[1]</sup>。Rapid IO 作为新一代总线, 其目标应用就是高性能嵌入式系统间的互连通信, 已在航空、航天、电信、通讯等领域的嵌入式系统中得到广泛应用, 包括连接多处理器、存储器、网络设备<sup>[2]</sup>。

SRIO 是 Serial RapidIO 的简称, 是一种高性能、低引脚数、基于包交换互连技术的高速串行的通信协议, 主要作为系统内部互连, 支持芯片到芯片和板到板的通信。支持 SRIO 的微处理器及 DSP 的产品越来越

多, 在现代高性能的 SoC 产品中, SRIO 作为一种常用接口, 与其他嵌入式系统进行通信<sup>[3]</sup>。对 SRIO 设备的有效、完整、可靠的测试直接决定了产品的质量。构建可复用的 SRIO 验证平台是 SoC 设计中值得关注的重要问题之一<sup>[4]</sup>。

文中在一款 SoC 芯片研发过程的基础上, 对 SRIO 协议进行研究, 构建 SRIO 接口的 FPGA 验证平台, 并利用 SRIO 主机模块, 完成了 SRIO 接口的验证, 达到了较理想的功能覆盖率, 有效提高了验证效率, 保证了流片前对 RapidIO IP 核的充分验证<sup>[5]</sup>。构建的验证平台具有可重用性, 并可用于芯片样片测试时 SRIO 接口的测试。

收稿日期: 2015-08-31

修回日期: 2015-12-09

网络出版时间: 2016-05-25

基金项目: 航空科学基金(2015ZC51036)

作者简介: 曹朋朋(1984-), 男, 硕士, 研究方向为集成电路设计; 田 泽, 博士, 研究员, 中国航空工业集团首席技术专家, 研究方向为 SoC 设计、嵌入式系统设计、VLSI 设计等。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160525.1700.002.html>

### 1 SRIO 协议概述

SRIO 采用的分层体系结构使其可扩展性、模块化以及重用机制成为可能。协议采用三层分级体系结构,分别为:逻辑层、传输层和物理层。其层次结构如图 1 所示<sup>[6]</sup>。

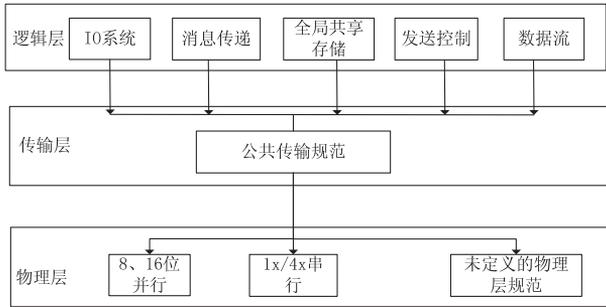


图 1 SRIO 分层协议

(1)逻辑层规范位于最高层,定义全部协议和包的格式,为端点器件发起和完成事务提供必要的信息。目前逻辑层已支持五种规范:存储器映射的 I/O 系统、消息传递、全局共享存储模式、流控制和数据流。

(2)传输层规范在中间层,定义了 RapidIO 数据传输的地址空间和端点器件间传输包所需的路由信息,数据包从端点器件经过交换器件,根据目的器件 ID 到达目的端点。目前 SRIO 支持 8 位小系统的地址空间和 16 位的大系统地址空间。

(3)物理层规范在整个分级结构的底部,物理层描述设备级接口,明确说明报文传输机制、流量控制机制、电器特性和底层错误处理。

文中涉及的 SRIO 核兼容 RapidIO V1.3 规范,可以支持 1.25 Gbps、2.5 Gbps 和 3.125 Gbps 等信号速率。支持 NWRITE、NREAD 等 IO 逻辑操作;支持维护操作,可以实现主机对 RapidIO 接口的配置;支持门铃操作,支持 8 位、16 位设备 ID 的大小系统。

### 2 FPGA 验证平台搭建

FPGA 验证是通过模拟 SoC 芯片的实际工作情况,一定程度上可以加速芯片设计验证过程。验证时需要考虑效率因素及验证的全面性,同时由于验证平台十分昂贵,需要考虑验证的可重用性<sup>[7]</sup>。

#### (1)验证平台。

文中基于大规模 FPGA 与高性能 DSP 处理器 TMS320C6455(或 MPC8548 系列处理器板),组合构建 SoC 的 SRIO 接口验证平台 FPGA 型号选择支持 SRIO 协议的 Xilinx V5 系列的 XC5VLX330T,主机 DSP 或 CPU 板为本单位成熟的子卡,板间连接器选择高速信号连接为 SEAF 的连接器以便后续兼容其他如 PCIe 等接口的测试,SRIO 外部信号通过板间连接器连接。如图 2 所示,SRIO 模块的所有代码,除 Serdes 模块单独验证外,IP 核的所有代码均可通过 FPGA 综合实现。在 FPGA 验证时,利用 Xilinx FPGA 的 GTP 模块替代 SoC 芯片中的 Serdes 功能<sup>[8]</sup>。在 FPGA 测试时,SRIO 使用 156.25 MHz 的差分时钟可分别在 1.256、2.5 和 3.125 G 波特率进行 4x、2x、1x 速率 SRIO 接口的测试,大小系统选择控制信号通过 FPGA 外部开关选择<sup>[9]</sup>。

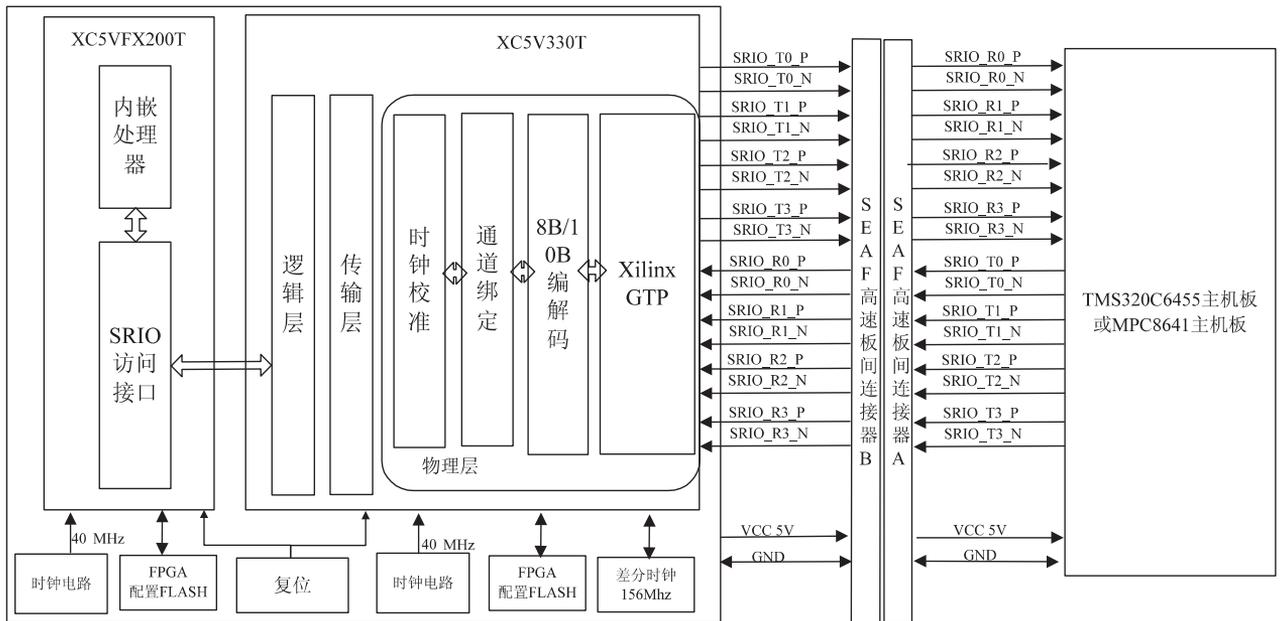


图 2 SRIO FPGA 验证平台

#### (2)软件验证环境。

TMS320C6455 DSP 主机验证环境为 Code Composer Studio 3.3;

MPC8641 主机验证环境基于 VxWorks 操作系统,调试环境为 Tornado2.2;

内嵌处理器验证环境为: Xilinx Software Develop-

ment Kit( ISE12.4)。

### 3 SRIO 测试

对 SoC 芯片的逻辑代码通过 ISE 综合后生成配置逻辑,通过 Xilinx 线缆和 ISE 将器件配置逻辑下载到 FPGA 中,通过 FPGA 验证 SRIO 核与商用 SRIO 设备的兼容性<sup>[10]</sup>。

#### (1) 包类型测试。

SRIO 操作是基于请求和响应事务的,通过发起器件或主控器件产生一个请求事务,发出的请求包通过交换器件发送到目标器件<sup>[11]</sup>。目标器件于是产生一个响应事务(读响应)返回至发起器件完成该次操作。文中涉及的 SRIO 的包类型如表 1 所示。以 DSP 为例,可发起表中的包类型对待测 SRIO 的测试,在 DSP 中包类型由 Ftype 及 Ttype 决定<sup>[12]</sup>。

表 1 SRIO 包类型定义

Ftype	Ttype	Packet Type
Ftype=2	Ttype=0100b	NREAD
Ftype=5	Ttype=0100b	NWRITE
Ftype=5	Ttype=0101b	NWRITE_R
Ftype=6	--	SWRITE
Ftype=8	Ttype=0000b	Maintenance read
Ftype=8	Ttype=0001b	Maintenance write
Ftype=10	--	Doorbell

#### (2) 线速率测试。

为完成 SRIO 不同线速率的测试,需主机测试板与 FPGA 逻辑的线速率相同,才能正常建立链路。待测 SRIO 逻辑的线速率通过不同的逻辑综合实现,主机 DSP 的线速率通过物理层 Serdes 的 PLL 配置不同的速率,其中 1G 模式可在 2G 模式的条件下配置为半速即可。

#### (3) 通道宽度测试。

SRIO 可支持 4x、1x 模式,且可进行 4x、1x 模式的切换,1x 模式可以是单独的 lane0 或 lane2。待测 SRIO 为自适应的,根据主机的不同配置,链路训练成功后宽度不同。主机通过配置其端口配置寄存器完成,PORT\_WIDTH 字段对应 1x 或 4x 选择,PORT\_WIDTH\_OVERRIDE 字段配置 1x 时配置为单独的 lane0 或 lane2。

#### (4) 中断测试。

SRIO 通过发送门铃包实现中断的功能,可分别测试主机到待测 SRIO 模块的中断,以及 SRIO 模块到主

机的门铃中断。中断控制器收到门铃中断后,进入中断服务程序,对门铃信息进行判断,门铃信息与发送节点发送的门铃信息一致,则测试通过。

#### (5) 性能测试。

SRIO 接口通信性能的测试,需组合 SRIO 三种速率,1G、2G、3.125G,以及不同的通道宽度,共六种模式下,写性能与读性能。

### 4 结束语

结合项目实际,文中构建了高速总线 SRIO 测试平台。利用商用成熟 SRIO 完成 SoC 芯片中 SRIO 接口的互操作测试,对 SRIO 接口的验证较为全面,对类似 SoC 芯片的开发测试具有较好的参考价值<sup>[13-14]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 王 齐. PCI Express 体系结构导读[M]. 北京:机械工业出版社,2010:350-362.
- [2] 王玉欢,田 泽,蔡叶芳. RapidIO IP 核的验证方法研究[J]. 计算机技术与发展,2011,21(7):183-185.
- [3] 邓 豹. RapidIO 交换互连与配置管理研究[J]. 航空计算技术,2014,44(2):124-127.
- [4] 蔡叶芳,田 泽,李 攀,等. 一种 RapidIO IP 核的设计与验证[J]. 计算机技术与发展,2014,24(10):97-100.
- [5] 郭 亮,李 玲,田 泽,等. ARINC 659 总线接口芯片的 FPGA 原型验证[J]. 计算机技术与发展,2009,19(12):240-242.
- [6] 秦 明,雷 刚,闫海峰. SRIO 设备互操作性测试流程及平台构建[J]. 计算机工程,2012,38(21):257-260.
- [7] RapidIO Trade Association. RapidIO interconnect specification Rev. 2.3[S/OL]. 2012. <http://www.rapidio.org>.
- [8] Xilinx Corporation. Serial RapidIO user guide v5.1 UG503[M]. [s. l.]:Xilinx Corporation,2008.
- [9] Tundra Semiconductor Corporation. Tsi578 serial rapid IO switch user manual[M]. [s. l.]:Tundra Semiconductor Corporation,2008.
- [10] Texas Instruments Incorporated. TMS320 C645x DSP serial RapidIO[M]. [s. l.]:Texas Instruments Incorporated,2009.
- [11] 孙灯亮. RapidIO 测试思路和方法[J]. 电子质量,2009(11):17-20.
- [12] 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):9-12.
- [13] 陈 佳,田 泽,黎小玉,等. H.264/AVC 视频编码核基于 FPGA 验证的设计与实现[J]. 计算机技术与发展,2013,23(7):10-13.
- [14] 韩 霞,杨洪斌,吴 悦. 面向 SoC 的事务级验证研究[J]. 计算机技术与发展,2007,17(3):33-36.