

# 基于 SystemC 语言实现 UHF RFID 系统自顶向下设计

戚皖青, 卜刚, 李姝萱

(南京航空航天大学 电子信息工程学院, 江苏 南京 211106)

**摘要:** 为了满足对于集成电路的复杂设计需求, 继承了 C++ 扩展库的 SystemC 的开发与设计应运而生。SystemC 可以满足对于软硬件协同设计的要求, 在设计的过程中, 可以进行快速仿真和验证。针对于通信协议(ISO/IEC 18000-6C)进行较高层次的建模设计, 采用函数调用的方式实现询问机和标签之间的协议通信。针对于 UHF RFID(Ultra High Frequency Radio Frequency Identification)通信协议, 从系统级设计到行为级设计, 实现该协议的自顶向下的设计, 完成了标签识别层和基带通信链路层的设计。最后采用 Vivado HLS 综合软件将 SystemC 源代码转化成 Verilog 等硬件描述语言, 软件描述的系统级综合成 RTL 级代码。针对标签基带链路 ENCODE\_T 模块, 在 Microsoft Visual C++ 6.0 中对数据“1001001001011001”进行 fm0\miller 编码仿真之后, 在 Modelsim 中完成了波形验证, 并通过 Vivado HLS 综合软件将其转化为 RTL 级电路。

**关键词:** 软硬件; 协同设计; 高层次; 协议通信; 自顶向下

中图分类号: TN402

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.201117

中文引用格式: 戚皖青, 卜刚, 李姝萱. 基于 SystemC 语言实现 UHF RFID 系统自顶向下设计[J]. 电子技术应用, 2021, 47(5): 45-49.

英文引用格式: Qi Wanqing, Bu Gang, Li Shuxuan. Top down design of UHF RFID tag based on SystemC[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(5): 45-49.

## Top down design of UHF RFID tag based on SystemC

Qi Wanqing, Bu Gang, Li Shuxuan

(School of Electronic Information Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China)

**Abstract:** With the development of science and technology, the design of integrated circuit becomes more and more complex. In the design process, the division of hardware and software also produces more choices. In order to meet the complex design requirements for integrated circuits, the development and design of SystemC, which inherits the C++ extension library, came into being. SystemC can meet the requirements of hardware and software codesign, and can be quickly simulated and verified in the design process. In this paper, the communication protocol(ISO/IEC 18000-6C) is modeled and designed at a higher level. The protocol communication between interrogator and tag is realized by function call. For UHF RFID(Ultra High Frequency Radio Frequency Identification)communication protocol, from system level design to behavior level design, the top-down design of the protocol is realized, and the design of tag identification layer and baseband communication link layer is completed. Finally, the source code of this systemc is transformed into Verilog and other hardware description languages by using Vivado HLS synthesis software, and the software description of system level is synthesized into RTL code. This paper focuses on label baseband link encode\_T module, after FM0 / Miller coding simulation of data "1001001001011001" in Microsoft Visual C++ 6.0, the waveform verification is completed in Modelsim, and it is transformed into RTL level circuit by Vivado HLS integrated software.

**Key words:** software and hardware; collaborative design; high level; protocol communication; top-down

## 0 引言

随着科技的发展, 集成电路的规模变得庞大和复杂, 电子系统设计(Electronic System Level, ESL)流程是目前最先进的片上系统设计流程方法。

SystemC 和 Verilog/SystemC Verilog 相互结合的方法学为越来越复杂的片上系统设计提供了一套从系统级(system)到 RTL 级设计的可行性方案。相比于传统的设

计流程, 首先采用高级语言来对系统进行设计, 之后再采用硬件描述语言对寄存器传输级进行设计。应用以上的方法学, 使得片上系统的设计过程变得简单和高效。

射频识别技术 RFID 的原理为阅读器(reader)与标签(tager)之间以进行非接触式的数据通信的方式来起到标签识别目标的作用。

UHF RFID 的工作频率为 860 MHz~960 MHz, 而 UHF

RFID 空中接口协议 ISO/IEC18000-6C 是相关标准化组织制定的最新版本<sup>[1]</sup>。

UHF RFID 技术凭借其识别距离远、传输可靠且安全、数据传输速率高等优势,在业界得到广泛关注<sup>[2]</sup>。

## 1 电子系统设计(ESL)方法学

在整个的电子系统设计流程中,首先以电子系统级设计为起点,其中包括的项目分别是选择体系架构、制定产品规范以及虚拟软件执行平台的开发。电子系统设计流程的益处是硬件和软件能够并行开发,既继承已有逻辑设计模块,又为待设计的新逻辑模块提供详细的规格,并提供事物处理级的虚拟模型,为软件开发任务提供执行平台原型,而逻辑模块也可以基于此原型进行验证<sup>[3-5]</sup>。在完成电子系统级的设计之后,可以进行 RTL 的设计和验证工作,与此同时软件开发任务也可以同时进行。在上述设计流程中,可以采用高层次综合工具 CatapultC 或者 Vivado HLS 等产生的硬件模型进行 RTL 级的设计。在此过程中,CatapultC 或者 Vivado HLS 可以直接将高层次设计综合成 RTL 级代码。

## 2 SystemC 介绍

SystemC 是以通过采用系统级设计的思想,在结合了软件算法和硬件实现的优势之后,对项目工程进行系统级设计,使得系统设计的效率和准确性得到有效提高。SystemC 类库添加进 C++ 之后,对系统级模型开发的实现提供了充分的代码设计基础,同时可以快速实现设计的仿真和验证<sup>[6-7]</sup>。

SystemC 语言包括端口、信号、模块和进程等,而这些都是硬件描述语言应该具备的基本条件。同时由于特殊库函数对于时钟信号的描述, SystemC 语言简化了对时钟信号的定义<sup>[8-9]</sup>。

## 3 系统模型以及标签不同层次的设计

### 3.1 系统模型

基于已有的设计理念,一个 SoC 系统的设计可以划分为硬件设计模块和软件设计模块。本文根据 UHF RFID 协议,针对物理层的数据传递以及标签识别层的信息交互,结合 ESL 软硬件协同设计的理念以及 SoC 的设计方法,设计了整个 UHF RFID 系统模型<sup>[10-11]</sup>。

基带通信链路设计模块则是实现物理层相关功能的实现,鉴于 SystemC 的自顶向下的设计优势,采用 SystemC 语言设计实现阅读器的识别层与标签的识别层的信息交互,以及阅读器和标签的之间的通信链路的设计。

### 3.2 标签的不同层次的设计

根据 UHF RFID 的协议标准,对于协议的设计可以分为物理层结构设计和标签识别层结构设计。在物理层结构的设计过程中,首先实现基带编码,生成符合 UHF RFID 的协议标准的数据包,并且规定数据包格式、数据校验及编解码方式、射频调制方法、射频包络参数设定、数据传输速率等问题;而主要处理阅读器与标签信息交

互的各种命令,则是在标签识别层结构的设计中完成,以函数调用的方式实现命令传递,并且通过选择、盘存和访问来进行管理标签群。在协议标签识别层结构的设计中主要是处理 UHF RFID 协议的命令体系,标签相应状态转化<sup>[12-13]</sup>。协议中不仅对规定的命令和规范做了介绍,还可以保证用户在预留的空间内,进行自定义相关命令和规范<sup>[14]</sup>。阅读器与标签之间的对应的基本管理操作如图 1 所示。

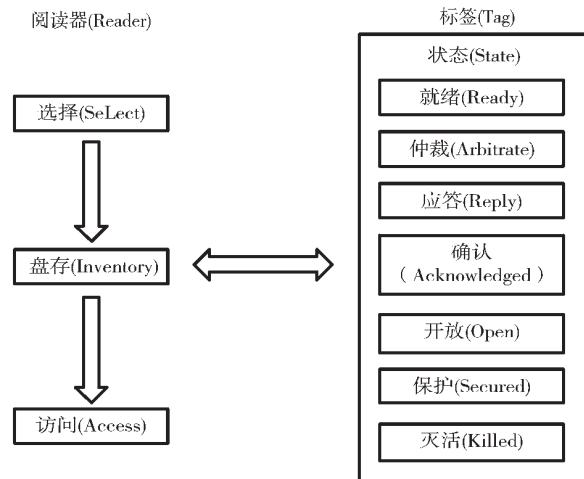


图 1 阅读器与标签之间的基本管理操作

### 3.2.1 标签识别层设计

根据已有的 UHF RFID 的协议标准,标签识别层设计的思路首先是遵循阅读器的命令,标签调整到相应状态,同时对阅读器作出应答。在两者通信过程中,阅读器处于主动地位,阅读器主要实现链路时序控制部分。在实现标签识别层的过程中,可以采用设计状态机的方式进行状态之间的转换,具体标签状态之间的转换图如图 2 所示。

按照状态图的转换过程进行 SystemC 建模仿真,分别编写 reader.cpp 以及 tag.cpp 文件,在顶层文件里面进行例化和调用,标签识别层状态转换模型图如图 3 所示,实现标签的不同的状态之间的转换,标签识别层状态转换仿真图如图 4 所示。

### 3.2.2 标签链路层设计

标签数字基带发送链路,主要实现的是标签发送信息,阅读器接收并处理。按照标准协议,标签的数字基带部分将处理器要发送的信息编码为特定的格式传输到射频端。同样在发送信息的过程中,处理器在数字基带模块的寄存器写进将要发送的数据,数字基带模块接收数据和使能信号后按照协议处理数据。发送链路需要产生标签反向散射频率、数据格式转化、生成 CRC 校验码、FIFO 缓存、FMO 编码和 Miller 编码、添加同步码等模型功能。鉴于以上的设计思路,标签的数字基带发送链路模型设计如图 5 所示。

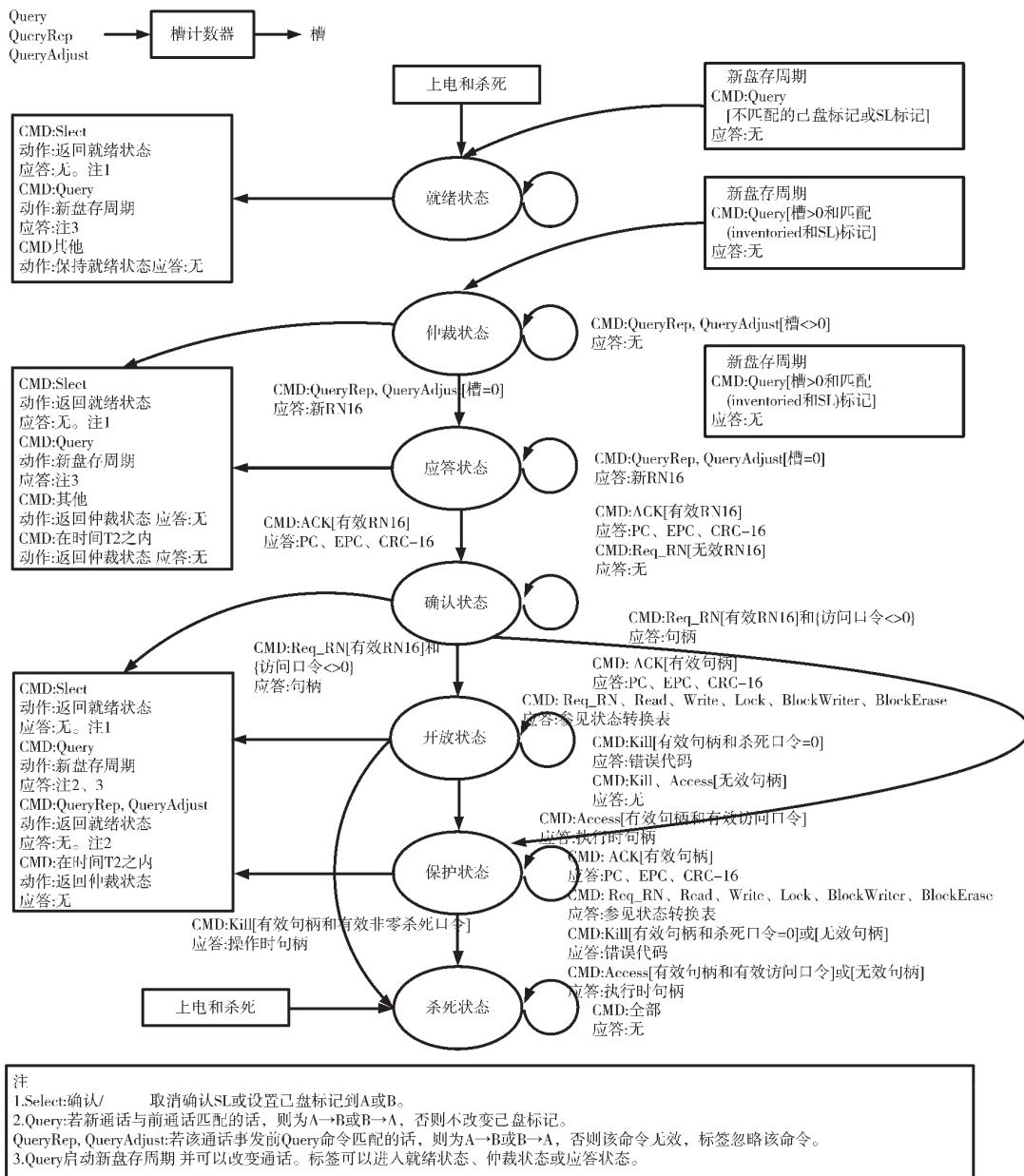


图 2 标签状态转换图

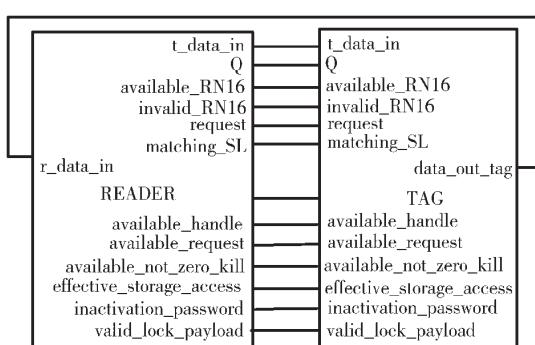


图 3 标签识别层状态转换模型图

阅读器数字基带发送链路将数据发送到射频端后，由射频模块发送出去，标签数字基带接收链路实现射频

信号接收并处理。接收链路需要对接收到数据实现检测、PIE 解码、校验、格式转化等操作<sup>[15]</sup>。

图 6 为标签基带链路 ENCODE\_T 模块，在 Microsoft Visual C++ 6.0 中对数据“1001001001011001”进行 fm0\miller 编码仿真之后，在 Modelsim 中查看的仿真波形图。

#### 4 高层次 Vivado HLS 综合

Vivado 工具为 Xilinx 公司推出的一款设计套件，主要任务是针对于 FPGA 开发板的集成化一体式设计。Vivado 工具包含了所有产品系列的开发环境，例如芯片级 IP 核、交叉编译工具等，开发人员的工作量得到极大的减少，项目开发效率也得到提升<sup>[16]</sup>。

Vivado HLS 是一款高层次综合工具，可以将 C、C++ 以及 SystemC 等高级语言综合成 Verilog HDL(HardDescrip-

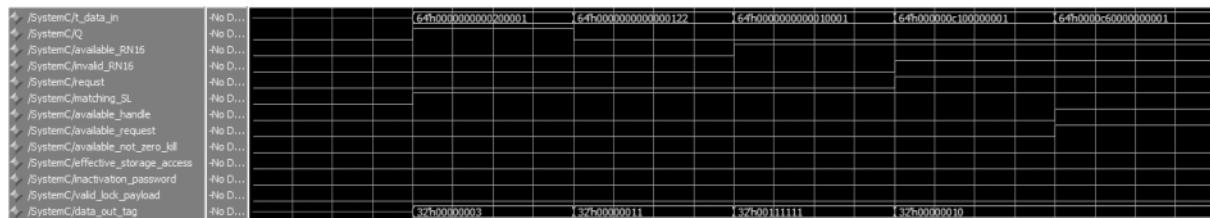


图 4 标签识别层状态转换仿真图

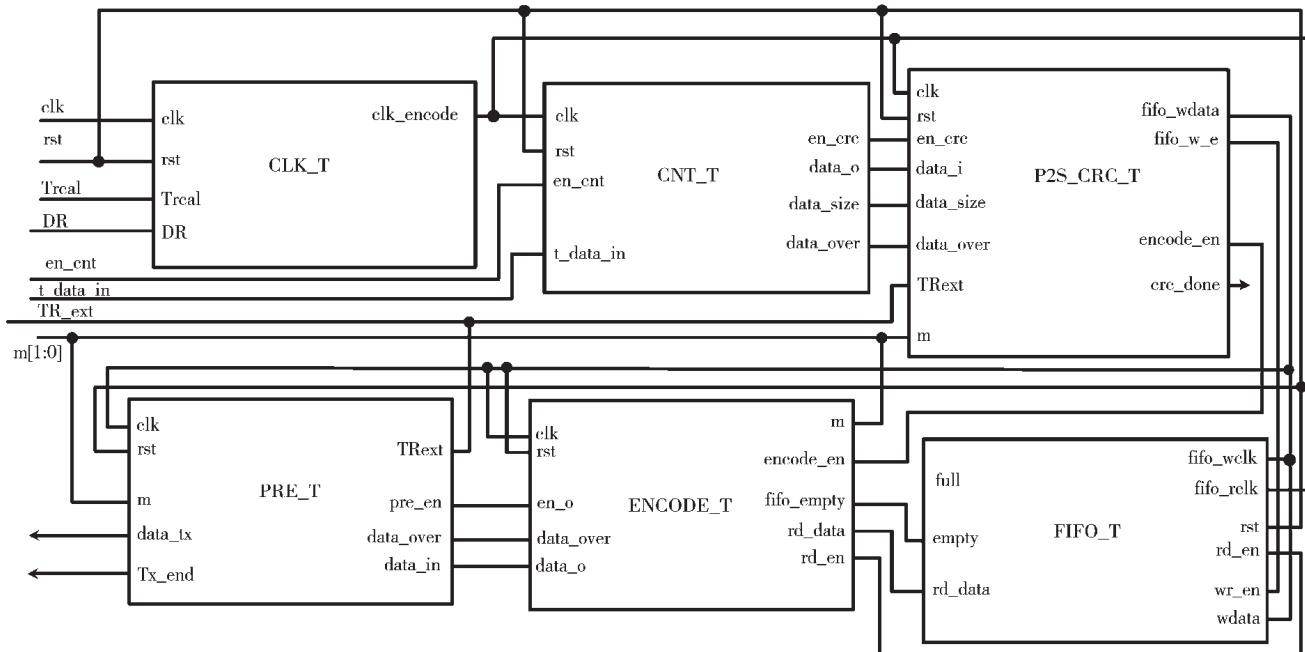


图 5 标签基带发送链路

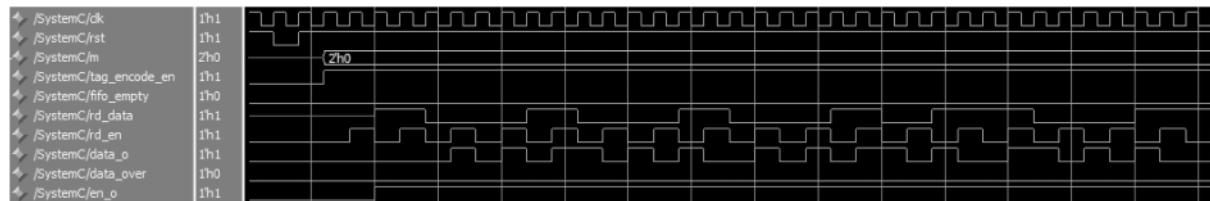


图 6 标签基带链路 ENCODE\_T 模块波形仿真图

tion Language)或VHDL(Very-High-Speed Integrated Circuit Hardware Description Language)等语言,软件描述的系统模型综合成RTL(Register Transfer Level)级的代码。与此同时也大大降低了开发人员的开发设计难度,并且有效地缩短设计周期<sup>[17]</sup>。

Vivado HLS设计流程如图7所示,第一步设计具有预期功能的C测试平台和源代码。第二步使用C仿真器,例如Microsoft Visual C++ 6.0来验证程序实现的函数是否满足预期的要求。如果C仿真器仿真出的结果满足当初的设计要求,Vivado HLS工具可以将C生成的算法转换为相应的RTL级模块。具体Vivado HLS综合流程如图7所示。

根据程序对算法的编译生成的RTL\_Schematic如图8所示。

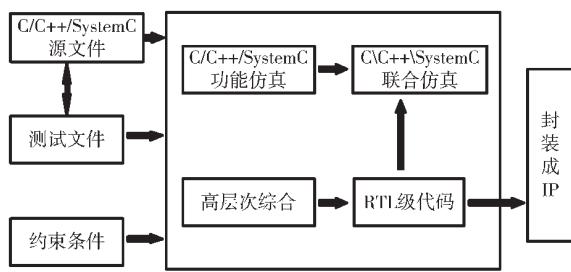


图 7 Vivado HLS 综合流程图

## 5 结论

ESL设计方法学为规模越来越庞大的集成电路设计提供了有效设计思路和解决方法,具有建模层次高、仿真速度快等优点。采用高层次建模,对UHF RFID标准协议进行从识别层到链路层的设计。首先对识别层和链

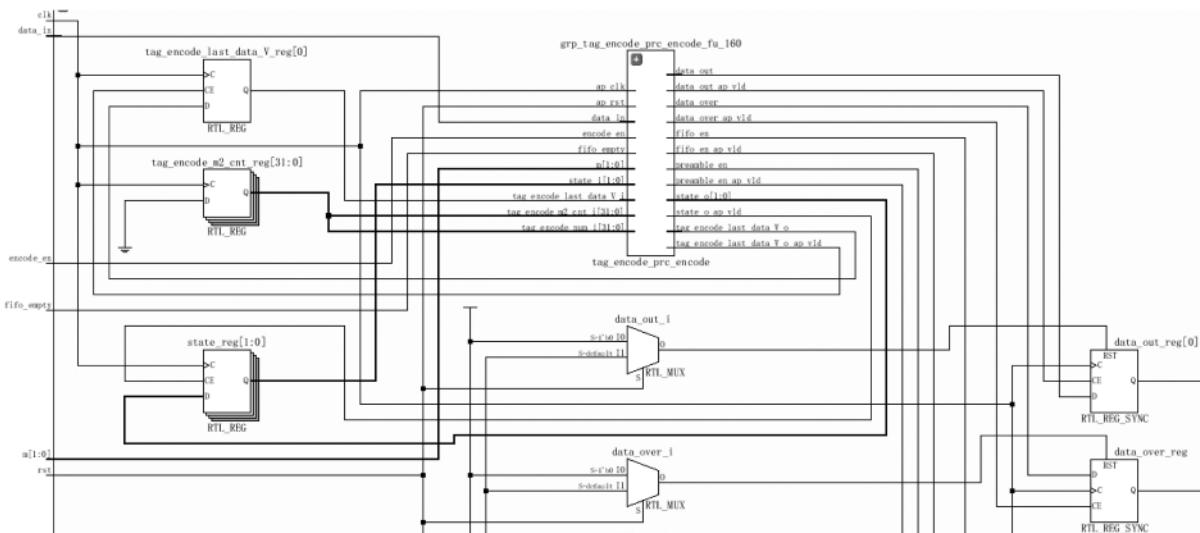


图 8 ENCODE\_T 模块 Vivado HLS 仿真图

路层采用 SystemC 语言建模，并通过 Microsoft Visual C++ 6.0 中对数据“1001001001011001”进行 fm0\miller 编码仿真之后，在 Modelsim 中查看的仿真波形，如图 5 所示，结果满足编码设计要求。完成 SystemC 设计之后将 ENCODE\_T 模块导入到 Vivado HLS 中转换成 RTL 电路，实现从高层建模、逐步细化的工作要求。

#### 参考文献

- [1] 鞠晓杰, 吴华森, 张有光. 国际 RFID 技术标准研究系列报道(九)——ISO/IECRFID 基础技术标准体系研究[J]. 信息技术与标准化, 2010 (7): 45–48.
- [2] 马伟濠. 符合多协议的 UHF RFID 读写器软件系统的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2016.
- [3] 李挥, 陈曦. SystemC 电子系统级设计[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [4] 陶耕. 基于 ESL 设计方法学的雷达信号产生与处理技术[D]. 南京: 南京理工大学, 2009.
- [5] 刘昊. 基于 ESL 设计的 AVS 解码器 SoC 设计与帧内预测硬件实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [6] 仵林博, 陈小红, 彭艳红, 等. 基于 SysML 的嵌入式软件系统建模与验证方法研究[J]. 计算机工程, 2019, 45(1): 1–8.
- [7] 吴垣甫. 基于 SystemC 的片上系统交易级设计与实现[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [8] 叶友鹏. UHF RFID 数字基带系统的软硬件协同设计[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2019.
- [9] 夏宇闻, 甘伟. SystemC 入门[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [10] ORUKLU E, HANLEY R, ASLAN S, et al. System-on-chip design using high-level synthesis tools[J]. Circuits and Systems, 2012, 3(1).
- [11] FLYNN M J, LUK N W. Computer system design: system-on-chip[M]. Wiley, 2011.
- [12] 郭振军, 孙应飞. UHF RFID 读写器系统的设计与实现[J]. 中国科学院大学学报, 2017, 34(1): 124–127.
- [13] 张志栋. UHF RFID 读写器系统的设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014.
- [14] BS ISO/IEC 18000-6. Information technology. Radio frequency identification for item management. Part 6. Parameters for air interface communications at 860 MHz to 960 MHz: BS 08/30165875 DC[S]. 2008.
- [15] 徐海飞. 基于 ISO 18000-6C 标准的 UHF RFID 读写器设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [16] 孙跃祥. 基于 ZynQ 嵌入式平台的工控通信单元设计与实现[D]. 沈阳: 中国科学院大学(中国科学院沈阳计算技术研究所), 2020.
- [17] 王春林. 基于 ZYNQ 的卷积神经网络软硬件协同设计研究与实现[D]. 大连: 大连海事大学, 2020.

(收稿日期: 2020-11-15)

#### 作者简介:

戚皖青(1994-), 通信作者, 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 数字 IC 设计, E-mail: 18883285805@163.com。

卜刚(1969-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 集成电路设计。

李姝萱(1997-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 数字 IC 设计。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所