

一种非接触式 FPGA 配置 Flash 快速烧写方法

王 博¹ 张瑜莹² 高 鹏¹ 李飞飞¹
WANG Bo ZHANG Yuying GAO Peng LI Feifei

摘 要

文章使用 Xilinx 公司 Artix-7 XC7A100T FPGA 与 Micro 公司 28F00AP30T BPI 配置 Flash 构成 FPGA 配置逻辑,并由 2 片 ESP8266 通讯芯片构建上位机与 FPGA 间的双向无线通信链路,共同组建 Flash 快速烧写实验平台。通过对 Flash 编程特性和无线通讯芯片工作方式的研究,编写基于 FPGA 的 Flash 快速烧写逻辑,设计了一种使用 Wi-Fi 传输的基于 FPGA 的非接触式配置 Flash 快速烧写方法,实现了非接触式更新 FPGA 配置 Flash 中的加载文件,为精简外部接口、提升产品气密性设计提供了一种可借鉴的思路。通过在 Flash 快速烧写实验平台中的验证,文章介绍的非接触式 Flash 快速烧写方法可以高效可靠的完成存储器件中 FPGA 配置文件的更新。

关键词

FPGA; 配置 Flash; 非接触式; 快速烧写

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.03.016

0 引言

随着航空、航天、通信等领域对计算性能和应用灵活性要求的不断提高,FPGA(field-programable gate array)作为一种非传统、可定制的高性能并行计算器件获得了越来越广泛的关注与应用^[1-5]。其中,FPGA 作为易失型计算芯片需要片外存储器件的配合,通常使用 Flash 来存储 FPGA 的配置信息^[6],而如何灵活、高效且快速的更新 Flash 芯片中的内容成为一项关键的课题。

如图 1 所示,传统的使用 iMPACT 或 Vivado 等 FPGA 厂商的开发软件通过 JTAG 端口进行烧写的方式,需要用到上位机、专用烧写软件、FPGA 仿真器和线缆等多种设备和软件^[7-8]。

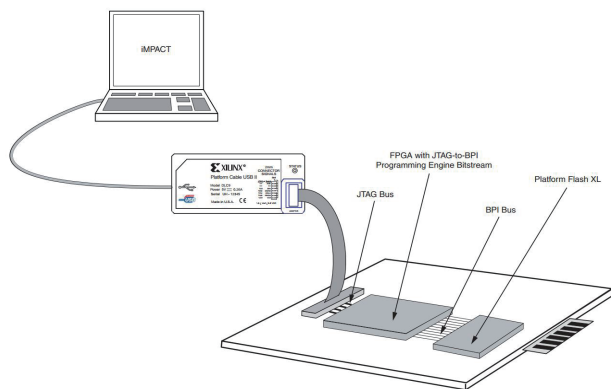


图 1 传统基于 JTAG 端口的 FPGA 编程方式

在开发阶段,该方式因为进行在线调试具有一定的便利性,可以使用成熟的软件和工具快速完成开发任务^[9]。

但这一方式也有不足之处,除需要多种设备和软件配合外,还需要在产品表面添加 6 针/8 针 JTAG 端口,增加了产品引出到外部的端口,不利于产品的气密性设计。当 FPGA 逻辑经过充分验证且功能较为固定后,带有 FPGA 的 PCB 板被装入到产品内,通常还会加上外置罩,使整个产品处于密闭状态。在之后的版本批量升级过程中,如果使用传统 JTAG 端口的方式去烧写 FPGA 的配置 Flash 需要使用的资源开销较大且不够灵活。

本文采用一种基于 Wi-Fi 传输的非接触式 FPGA 配置 Flash 快速烧写方法,可以在产品表面外无实体连接的方式下快速更新 Flash 中存储的配置文件,实现不脱去产品罩子即可快速更新 FPGA 配置加载文件。

1 实验平台设计

如图 2 所示,通过详细研究 Micro 公司 28F00AP30T BPI 配置 Flash 芯片,编写该型 Flash 的 FPGA 烧写校验逻辑,充分利用 Flash 芯片内的 512 字(一字为 16 bit)写缓冲器来进行快速烧写,相比传统字编程的烧写方式大大加速了 Flash 的烧写速率,节省了编程时间。另外,通过建立无线传输数据通道,形成了完整的 FPGA 配置数据下发、校验和烧写完整工作流程。烧写软件的编程基于 XILINX 公司 XC7ASX100T 器件,开发软件使用 Vivado 2016.2 版

1. 中国空空导弹研究院 河南洛阳 471009
2. 中国人民解放军 93160 部队 北京 100071

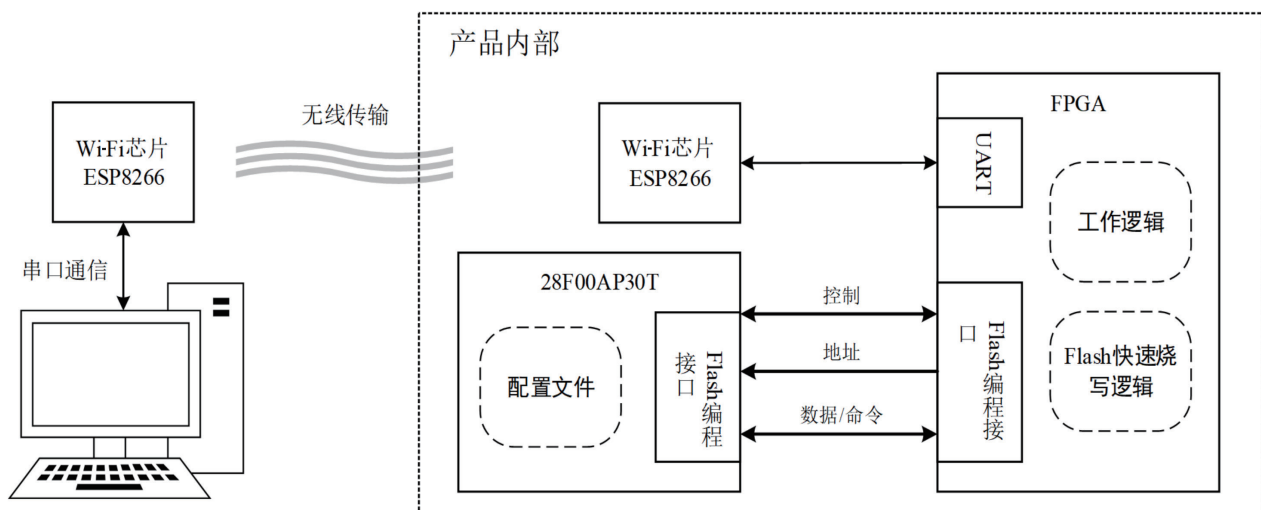


图2 非接触式FPGA配置Flash快速烧写方法原理框图

本，编程语言为 Verilog，整个执行流程在某原理验证用的信号处理 PCB 板上进行了功能测试。

2 无线传输方式介绍

在上位机端（近端）和 FPGA 端（远端）分别使用一片 ESP8266 芯片来构建 Wi-Fi 传输通道，两片 ESP8266 芯片提前经过编程，上电后会自动互相搜索网络并建立连接。近端通过上位机串口与 ESP8266 芯片相连接，串口通信速率 115 200 bit/s，芯片将串口接收到的数据和命令转化为 Wi-Fi 信号向远端发送，同时接收远端的信息反馈。

远端 ESP8266 芯片通过 Wi-Fi 信号接收到相应的命令和数据，通过双向 UART 端口与本地的 FPGA 建立连接并进行通信。FPGA 根据接收的命令和数据执行相应的操作，完成 Flash 的擦除、烧写和回读校验等更新操作。

3 Flash 快速烧写

Flash 本身不具有自我更新能力，需要由外部连接的 FPGA 器件按照 Flash 器件手册的编程要求对其进行更新。Flash 更新逻辑主要包括 5 大部分，分别为：烧写前准备、数据擦除、内容下发与校验、烧写与回读校验、器件锁定。

3.1 烧写前准备

如图 3 所示，FPGA 上电后自动加载带有 Flash 快速烧写逻辑的配置文件，Flash 快速烧写逻辑中的执行状态机对配置 Flash 进行状态校验、配置寄存器重写、模式设定等操作。另外，Flash 上电后默认为锁定状态，执行写操作前，需要对 Flash 的所有分区进行解锁操作，等所有分区的解锁操作完成后进入 Flash 擦除流程。

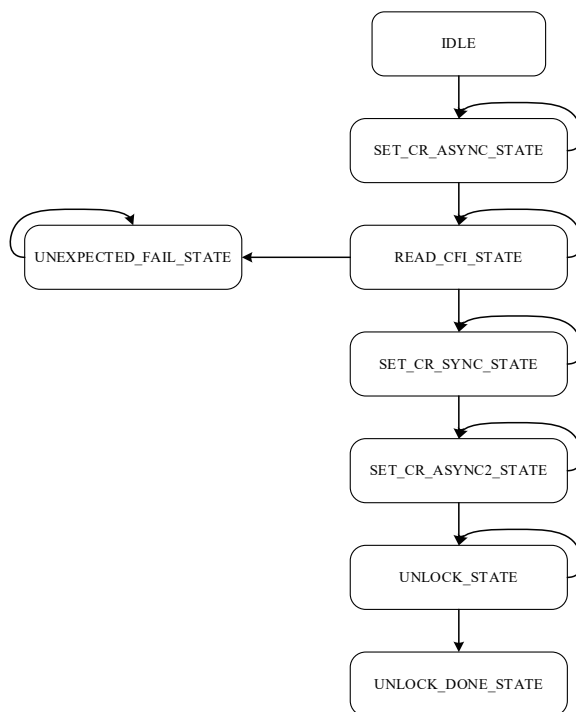


图3 Flash 烧写前准备工作流程

3.2 数据擦除

如图 4 所示，Flash 的擦除需要进行等待和校验，擦除命令从 FPGA 发送给 Flash 后，会进行轮询操作，以确定当前 Flash 的状态。通过定时查询 Flash 的状态寄存器，执行逻辑会判断是否当前分区的擦除操作完成，如果没有则继续等待，如果完成擦除则清空状态寄存器。然后，状态机跳转到擦除完成判断状态，查看是否完成所需分区的擦除操作，没有完成则重复以上操作。如果所需分区的擦除已经完成，则跳转到擦除完成状态，等待进入 Flash 烧写与回读校验工作流程。

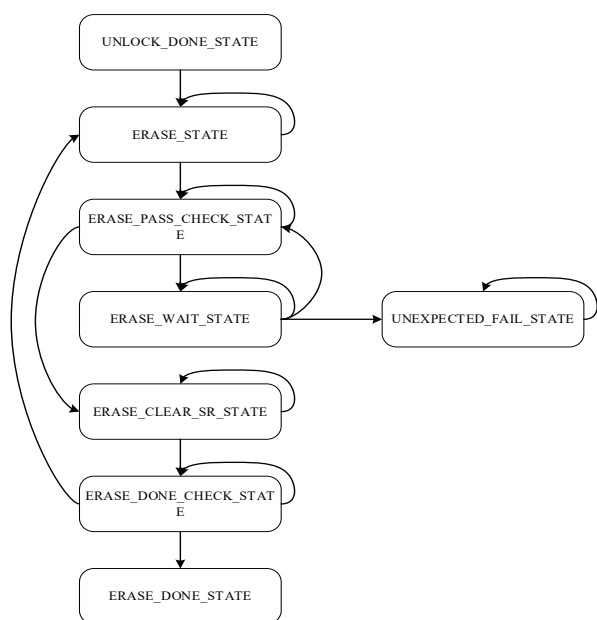


图4 Flash 擦除工作流程

3.3 内容下发与校验

在FPGA完成Flash的擦除工作后，远端会向近端发送数据传输请求包，远端接收到近端的传输请求后会将数据按照每包1 kB的大小进行发送，经近端ESP8266芯片将下发内容转换为无线传输，远端ESP8266芯片接收到发送的数据包后会通过UART传送给远端的FPGA，FPGA计算该数据包的校验和并与包尾附带的校验和进行比对，如果一致则接收该包数据，否则要求重新传输。本实验中设计的最大重传次数为10，即为单一数据包重传10次仍不能通过校验，则认为传送失败，当前网络状态不满足烧写要求，工作流程退出。上位机会择机重新开启Flash的烧写工作。

3.4 烧写与回读校验

本小节是整个Flash快速烧写方法的核心，主要描述Flash快速烧写与回读校验逻辑。Flash在执行完擦除操作并接收到有效数据后，会自主执行Flash快速烧写与回读校验过程，如图5所示。

整个操作流程可分为四步：

(1) FPGA接收远端Wi-Fi芯片通过UART串口传送来的数据并存入FIFO中进行保存，以供回读校验使用。每512个16 bit字为一包，以充分利用28F00AP30T型Flash的512字大小的SRAM缓存空间，大幅提升Flash的写入速率。

(2) FPGA发送SETUP命令，并读状态寄存器确认命令状态。通过控制一次发送的数据字的长度，将接收到的512个16 bit数据字依次写入Flash内。

(3) 发送CONFIRM命令，完成一个512字的烧写操作。

(4) 最后执行回读操作，通过读Flash命令将回读到的数据与FPGA片内FIFO中存储的下发数据进行逐字比对，完成本包的回读校验工作。

重复以上烧写和回读校验过程，直到所有数据都被写入Flash内，并全部通过回读校验，Flash的烧写工作完成。

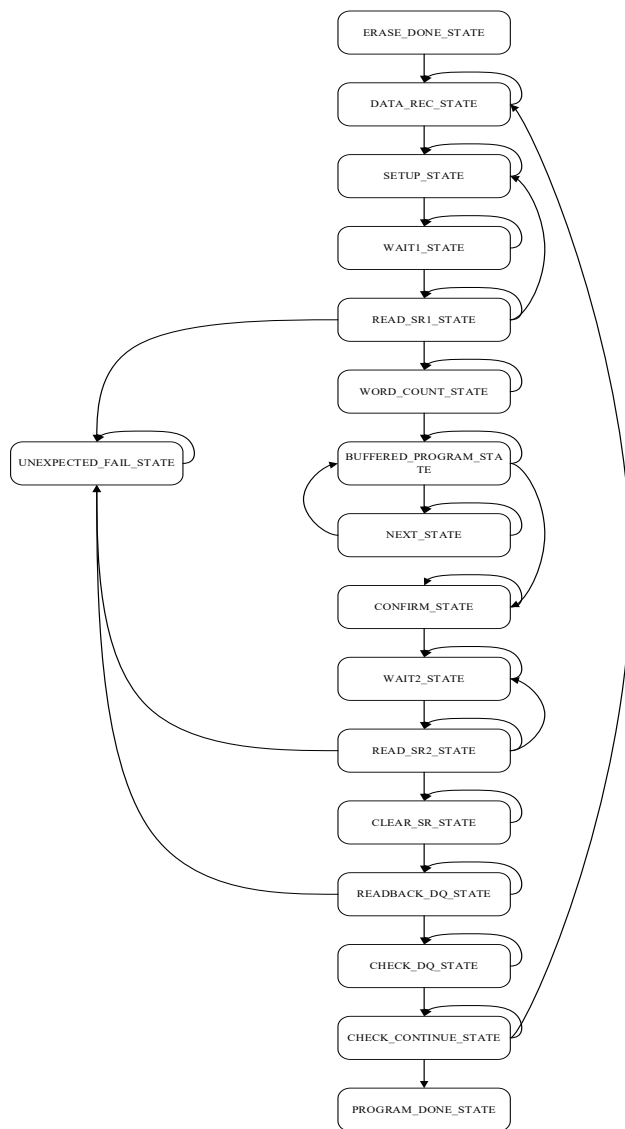


图5 Flash 快速烧写与回读校验工作流程

3.5 分区锁定

Flash烧写完成并经过校验后，将所有分区锁定，以防止误操作可能导致的存储数据的改变，如图6所示。

4 平台验证

通过实际搭建验证平台，并编写FPGA闪灯程序作为实

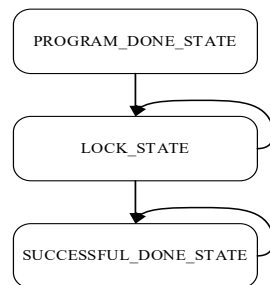


图6 Flash 锁定工作流程

验用Flash快速烧写的上位机下发内容，经多次Wi-Fi传输和Flash快速烧写实验，观察在烧写完成后FPGA重新上电时的LED灯工作状态，与编程要求的1 Hz闪烁频率一致，故而验证Wi-Fi传输和Flash快速烧写的正确性。

5 总结

本文将无线数据传输技术与Flash快速烧写技术相结合,创新性的实现了非接触式FPGA快速烧写方法,可在不脱去外部罩子、不增加裸露的硬件连线的情况下实现FPGA软件的升级,未来可以扩展到更多类型器件中,具有较好的应用意义。

后续还可考虑使用FPGA Multi-boot技术^[10],通过将RS管脚连接到Flash地址线的高两位,使配置Flash划分为多块不同分区,防止意外烧写错误而导致FPGA无法正常加载现象。

参考文献:

- [1] 戴政,陈小敏,廖志忠,等.基于FPGA的随机衰落及硬件实时统计实现[J].航空兵器,2020,27(2):71-76.
- [2] Micron Technology. PC28F00AP30TF datasheet[EB/OL]. [2024-06-21]. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/558688/MICRON/PC28F00AP30TF.html>.
- [3] AMD. 7 series FPGAs configuration user guide (UG470)[EB/OL].(2023-12-05)[2024-06-25]. https://docs.amd.com/v/u/en-US/ug470_7Series_Config.
- [4] NAIK K C, BABU J C, PADMAPRIYA K, et al. Implement-

ing NAND flash controller using product reed solomon code on FPGA chip[J]. International journal of engineering research and applications , 2013, 3(2): 224-229.

- [5] 李鹏,兰巨龙.用CPLD和Flash实现FPGA配置[J].电子技术应用,2006(6):101-103.
- [6] 关珊珊,周洁敏.基于Xilinx FPGA的SPI Flash控制器设计与验证[J].电子器件,2012,35(2): 216-220.
- [7] 康嘉.基于FPGA配置的电路系统设计[D].西安:西安电子科技大学,2014.
- [8] 郑吉华.一种FPGA芯片在线更新配置电路及方法:CN202011134086.9[P]. 2021-02-05.
- [9] 刘宇波,施文韬.基于FPGA和PowerPC的FPGA启动加载Flash升级系统及方法[P]. 2016-12-7.
- [10] 王群泽,胡方明,林汉成,等.基于Flash和JTAG接口的FPGA多配置系统[J].单片机与嵌入式系统应用,2011,11(4): 37-40.

【作者简介】

王博(1993—),男,河南鲁山人,硕士,工程师,研究方向:嵌入式系统与雷达信号处理。

(收稿日期:2024-11-14)

(上接第70页)

实验结果表明,在高分辨率遥感图像的语义分割这一复杂任务中,本文方法在实验指标上展现出良好的性能。在GID数据集上的实验,所提出的方法的性能在所有准确性指标上超过了对比的基线方法。通过消融研究,评估多注意力模块的影响,结果表明多注意力模块能够明显提升分割效率。另外,多注意力模块所展示的资源效率使其能更普遍地应用在多种网络中。

参考文献:

- [1] 马震环.深度学习技术在图像语义分割中的应用研究[D].成都:中国科学院大学,2020.
- [2] 张琛亮.几类基于Transformer的遥感图像语义分割方法研究[D].南京:南京信息工程大学,2023.
- [3] CHEN L C, PAPANDREOU G, SCHROFF F, et al. Rethinking atrous convolution for semantic image segmentation[DB/OL]. (2017-12-05)[2024-06-16].<https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.05587>.
- [4] CHEN L C, ZHU Y K, PAPANDREOU G, et al. Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation[J].Computer vision ,2018,11211:833-851.

- [5] LONG J, SHELHAMER E, DARRELL T. Fully convolutional networks for semantic segmentation[J].IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2017, 39(4):640-651.
- [6] RONNEBERGER O, FISCHER P, BROX T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation[J]. Medical image computing and computer-assisted intervention, 2015, 9351: 234-241.
- [7] LI R, ZHENG S Y, ZHANG C, et al. Multiattention network for semantic segmentation of fine-resolution remote sensing images [J]. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, 2021, 60: 1-13.
- [8] ZHAO H S, SHI J P, QI X J, et al. Pyramid scene parsing network[DB/OL]. (2017-04-27)[2024-05-11]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1612.01105>.

【作者简介】

张焱杰(1993—),男,山西长治人,硕士研究生,助教,研究方向:深度学习、算法设计与分析。

(收稿日期:2024-11-19)