

文章编号:1001-5078(2024)08-1286-05

· 光电技术与系统 ·

# 红外光电系统多组件远程加载技术研究与应用

李凯峰<sup>1</sup>, 史馨菊<sup>2</sup>, 于子涵<sup>1</sup>

(1. 华北光电技术研究所, 北京 100015; 2. 国网冀北电力有限公司管理培训中心, 北京 102401)

**摘要:** 光电系统设备通常由多个组件构成, 那么对于各个组件软件的部署, 程序的加载升级也成为一项较为关键的技术。由于传统加载方法在加载方式和加载效率上存在许多缺点, 所以开发出一种高效便捷的远程加载技术至关重要。针对上述问题, 本文设计开发一种远程加载技术, 并将该技术成功应用于红外光电系统。远程加载功能主要通过上位机与远程加载板进行实现, 上位机负责将升级文件远程发送至加载板, 加载板成功接收到数据后, 完成对于被加载组件的程序升级。为增加远程加载功能的可靠性, 设计备份启动功能, 如果出现加载失败的情况, 能够实现程序的二次加载。

**关键词:** 光电系统; 远程加载; 备份启动

**中图分类号:** TN216; TP274 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2024.08.016

## Research and application of multiple component remote loading technology for infrared electro-optic systems

LI Kai-feng<sup>1</sup>, SHI Xin-ju<sup>2</sup>, YU Zi-han<sup>1</sup>

(1. North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China;

2. Management Training Center of State Grid Jibei Electric Power Company, Beijing 102401, China)

**Abstract:** Electro-optic system equipment is usually composed of multiple components, so the deployment of software for each component and loading and upgrading of program have become a key technology. Due to the many shortcomings of traditional loading methods in terms of loading methods and loading efficiency, it is crucial to develop an efficient and convenient remote loading technology. In response to the above issues, this article designs and develops a remote loading technology, and successfully applies this technology to infrared electro-optic systems. The remote loading function is mainly implemented through the computer and remote loading board. The computer is responsible for remotely sending the upgrade file to the loading board. After successfully receiving the data, the loading board completes the program upgrade of the loaded components. To increase the reliability of the loading function, a backup boot function is designed to enable secondary loading of the program in case of loading failure.

**Keywords:** electro-optic systems; remote loading technology; backup boot function

### 1 引言

随着红外光电设备功能集成度的不断提升, 通常一台多功能设备由多个组件构成, 那么对于各个组件软件的部署, 程序状态的加载升级也成为一项较为关键的技术。传统的加载方法都是通过仿真器加载的方式逐一对组件进行升级, 此方法优势是简洁方便, 缺点是加载速度较慢, 如果对

各个组件逐一进行升级, 会花费较长的时间。此外, 通常设备安装后拆除困难或者被加载的组件完全封装在设备中, 仿真器加载的方式就无法实现。所以, 开发出一种高效便捷的远程加载技术至关重要。

### 2 应用背景

本文红外光电设备主要完成红外成像<sup>[1-2]</sup>、数

据传输、图像处理与显示等功能,系统的各组件被密封于设备安装舱内,无法使用传统仿真器加载的方式对各个组件进行在线升级,所以需要研发远程加载<sup>[3]</sup>技术实现对于各组件的功能升级。此项技术只需要通过操作上位机即可完成对于所有被加载组件查找、选通、状态升级的全部功能,解决了传统仿真器加载面临的困难降低维护成本,提升软件维护升级效率。

### 3 方案设计

#### 3.1 系统组成

图1为远程升级方案框图,整个系统由上位机、两个远程加载板、四个被加载组件构成,分别为红外热像仪组件、前端接口组件、信号主控组

件、信号处理组件,整个系统被完全密封于安装舱内,通过光纤完成与上位机通信实现对于红外光电设备的控制以及远程升级数据传输。信号主控板作为上位机与整个系统数据传输的纽带,借助光模块完成光电信号数据转换通过一路光纤接口与远程加载板1连接,完成对于红外热像仪,前端接口组件加载升级;另外一路通过VPX背板与远程加载板2连接,完成信号处理组件与主控组件加载升级。两个加载板通过RS422接口与其余被加载组件进行通信,完成程序加载命令和数据的下发,并接收被加载组件反馈的状态信息,并将该信息通过主控板发送至上位机即可通过上位机界面查看加载的进度及状态。

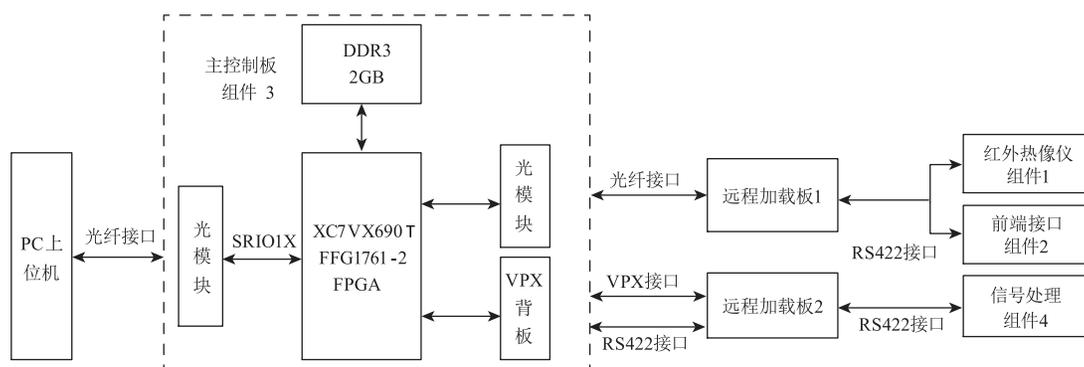


图1 远程加载方案框图

Fig. 1 Remote loading scheme diagram

远程加载功能系统设计以高带宽数据传输,高效率数据加载为核心理念,上位机至两个远程加载板通过高速接口进行连接,在数据传输稳定前提下能够大大缩短数据在长距离传输中的时间。两个远程加载板均以FPGA为核心器件,通过利用FPGA高度并行的优势可实现对于多个被加载组件的数据处理以及分发,大大提升运算效率。由于被加载组件较多,都需要与加载板进行连接,所以需选择一种低成本,数据传输稳定但是连接数量较少的通信接口,RS422接口恰好符合设计要求。

#### 3.2 软件设计

远程加载软件设计主要包含上位机软件、主控板逻辑设计与远程加载板逻辑设计,设计实现过程中存在以下难点:

(1)数据类型较多:完成整个远程加载功能需包含设备查找指令类型数据、升级数据、状态信息数据、并且系统包含多个被加载组件每个组件升级数据均不相同、所以需要对不同类型数据进行准确分类与精准传输。

(2)传输带宽高:上位机至两个远程加载板均

通过高速接口进行连接,数据为突发传输,传输速率最高可至5 Gbps,所以要实现数据在不同组件的高速准确传输逻辑控制。

(3)数据传输逻辑复杂:主控板作为数据中间传输枢纽,要实现与上位机与两个远程加载板的完美配合,不仅需要能够快速接收上位机发送的加载数据而且要实时监测发送数据状态,如果不能精确控制会出现数据传输错误导致整个加载流程失败。

(4)远程加载流程设计:远程加载板接收数据后需要控制完成整个加载流程,由于被加载组件较多,整个流程设计也更加繁琐。

(5)备份启动方案设计:为避免在升级过程由于异常现象导致升级失败的问题,需要设计备份启动机制,通过利用备份启动程序重新执行加载升级。

(6)多种协议转换:数据从上位机PCIE协议转换为SRIO协议传输至主控板,主控板需要实现SRIO协议至DDR3协议转换完成数据存储与读取,将处理完的数据以SRIO协议发送至加载板,加载

板需要将 SRIO 协议转换为 DDR3 协议和 RS422 协议。

#### 4 功能实现

根据系统设计方案以及软件设计中提出的多项技术难点展开远程加载功能实现描述。

##### 4.1 数据传输协议

针对数据类型较多设计难点,通过为数据制定详细传输协议进行身份标注实现对数据准确分类。表 1 为针对数据类型划分进行的传输协议制定,所有的数据均以 0x55,0xAA 作为数据开始的标志头,后面使用两个字节描述长度配置信息,通过不同的长度信息来区分命令数据,配置信息数据和有效加载数据。紧接一个字节进行设备 ID 信息描述,通过为不同被加载组件进行 ID 信息的分配,能够将有效加载数据传输至指定位置,完成最终的远程升级功能。最后一字节为校验位,对每包传输数据进行校验,增强数据传输可靠性,使用前  $n - 1$  字节之和的低 8 位作为一包数据的校验标志。

表 1 数据传输协议

Tab. 1 Data transmission protocol

Byte 1 ~ 2	Byte 3 ~ 4	Byte 5	...	...	Byte $n$
起始标志	长度信息	ID 信息	其他描述信息		校验位
0x55,0xAA	...	...	...	...	Checksum

表 2 为不同长度信息代表的数据类型,数据则代表数据包对应多少字节的数据长度。

表 2 数据类型描述

Tab. 2 Data type description

长度信息(字节)	数据类型
0x07	设备查找
0x10	信息描述
0x98	升级数据

表 3 为不同 ID 信息代表的被加载组件。

表 3 ID 类型描述

Tab. 3 ID type description

ID 信息	被加载组件
0x01	红外热像仪组件
0x02	前端接口组件
0x03	主控制板组件
0x04	信号处理组件

##### 4.2 主控制板功能实现

主控制板作为数据传输枢纽发挥着至关重要的作用,负责完成数据接收,缓存、分类、分发等工作,将

数据准确发送至指定远程加载板。根据协议描述可知,设备查找和信息描述类型的数据长度较短且数据总量较小,但是在进行升级数据传输时,需要传输几百兆字节的数据容量,并且单次传输过程中必须按照固定长度 1 MB 进行数据传输,不能改变数据传输的长度。此外,需要保证与两个加载板间的通信独立互相不能影响,这就对主控板数据传输逻辑提出较为严苛的要求以及较为复杂的控制传输逻辑。

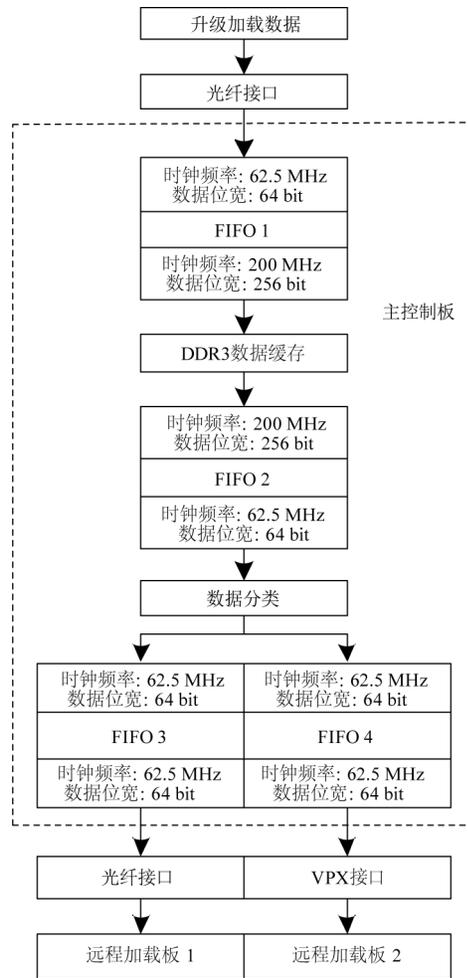


图 2 数据传输框图

Fig. 2 Data transmission block diagram

主控板核心器件为 FPGA,通过光纤接口接收到加载数据后,首先经过 FIFO1 缓存实现光纤至 DDR3 用户层接口的数据位宽和时钟频率转换,完成加载数据在 DDR3 中的数据缓存,此外在 DDR3 写操作忙碌周期内能够存储数据保证数据完整性。DDR3 读取数据后要添加一级 FIFO2 缓存,由于所有加载数据均需要经缓存后经过 FIFO2 完成数据分发,所以主要设计难点在于 FIFO2 读写两端的逻辑设计。写逻辑设计关键要保证 DDR3 缓存区满足单次传输长度数据量并且 FIFO2 能够有足够空间存储数据再进行写入操作。读逻辑要保证 FIFO2

中存储单次传输长度数据量且下一级缓存允许数据写入操作才能进行读操作。FIFO2 读写两端严格复杂的控制逻辑是数据传输中的难点。经过 FIFO2 输出的数据需要进行分类,目的是将对应的数据发送至指定远程加载板。数据分类完成后的数据需要再经过一级 FIFO3 或者 FIFO4,首先为避免接口传输时数据丢失,该级缓存保证在传输总线处于忙碌状态时能缓存传输数据,保证数据的完整性。其次,按照 SRIO 接口用户层格式进行数据组包,将数据发送至指定加载板。

### 4.3 远程加载板功能实现

远程加载数据传输至加载板后,需要其控制数据校验、缓存、分类、传输、程序擦除、程序烧写整个远程加载流程设计,加载数据以及流程不能出现任何错误否则无法成功完成远程数据升级功能。

远程加载整个系统流程如图 3 所示,加载板选用 FPGA 作为核心处理器<sup>[4-6]</sup>,首先需要完成对于组件查找指令的处理,在接收到设备查找命令后将查找指令分发至对应查找设备,并将被加载组件状态信息反馈给上位机,用于检测是否查找到设备。其次,上位机下发文件描述信息,告知加载板被加载对象以及程序文件的大小,长度等信息用于数据校验。最后,描述信息接收完成后告知上位机允许有效加载文件的下发,加载板会对有效加载数据与文件描述信息进行校验比对,如果校验正确将这些数据进行缓存,否则重新请求加载请求。当完成有效加载文件的缓存后启动程序升级,根据数据协议信息将数据通过 RS422 接口准确发送至被加载对象再将数据发送至自身烧写芯片中完成远程加载功能实现。

### 4.4 备份启动方案

备份启动方案设计关键在于要控制处理器能够正确运行期望空间应用程序,同时多个启动空间程序能够在指定情况下正确跳转才能满足备份启动设计的全部功能。

图 4 所示为备份启动的设计方案图,FLASH 被划分为 4 部分分别存放不同的应用程序。板卡初始上电从地址 0 启动,随后跳转至地址 1 执行 Timer1 延时操作,如果在地址 1 空间后放置应用程序,那么程序继续跳转至地址 2 执行应用程序。以下两种情况会从应用程序空间跳转至备份启动空间执行备份启动程序。第一,如果初始应用空间没有程序那么会直接从应用空间跳转至备份启动空间。第二,如果在程序烧写过程中出现烧写失败导致应用空间文件损坏,会跳转至地址 3 空间,完成 Timer2 延时操

作后跳转至备份启动空间,通过该机制能够成功解决烧写异常问题,完成备份启动。

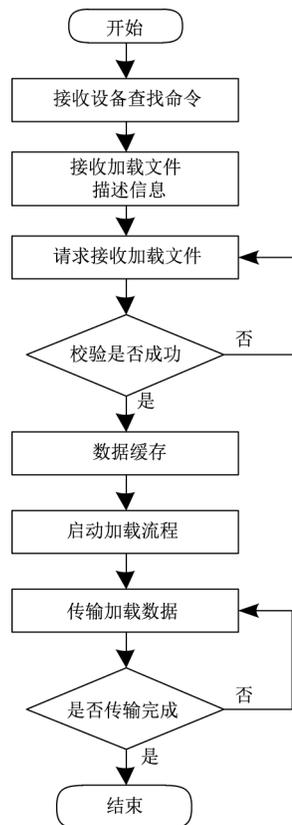


图 3 远程加载流程图

Fig. 3 Remote loading flowchart

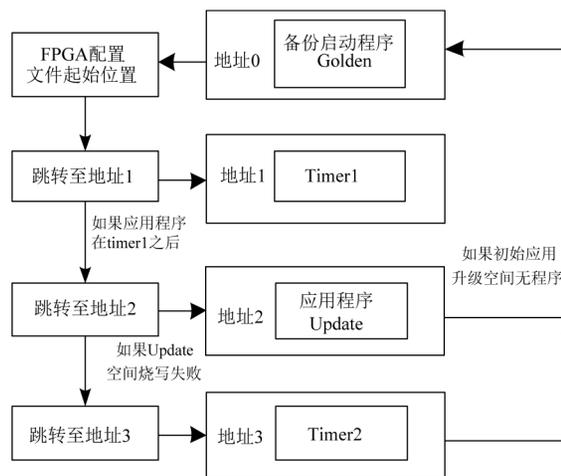


图 4 备份启动方案图

Fig. 4 Backup start plan diagram

## 5 试验结果分析

本文设计的远程加载方案最大优势在于加载流程简单快捷,加载速度快,完成对于系统全部指定组件的远程升级,只需要通过点击上位机界面按钮在较短时间内完成。

图 5 为远程加载系统上位机操作界面图,可以看出软件设计包含上文提及的远程加载板,前端

接口,长波热像仪传感器,信号主控和信号处理所有组件。界面中放置设备查找、发送描述信息、远程升级等按钮,通过指令完成设备查找和发送文件描述操作后,图中能够清楚看出主控制组件和信号处理组件在线且处于等待加载的状态,加载

文件实现成功发送。图 6 是完成对于信号处理组件远程升级后的界面显示图,图中显示程序文件加载成功,且加载时间仅为 86 s,加载效率远远高于传统仿真器加载。通过实验结果证明,多组件远程加载系统实现正确设计,具备较好的实际应用。



图 5 上位机界面图

Fig. 5 PC interface diagram



图 6 远程加载效果图

Fig. 6 Remote loading effect drawing

## 6 总结

本文完成一种红外光电设备多组件远程加载系统设计,对系统组成以及方案设计进行详细的描述,对系统各组成部分具体实现的方法和流程进行了全面介绍。通过实际验证测试,实现对于多组件设备扫描,配置文件信息发送,远程加载数据传输,加载状态信息反馈,成功实现多组件远程状态升级功能,充分说明该系统设计的正确性,完整性,实际应用性。

## 参考文献:

- [1] Zhangm Xingde, Li Ronggang, Liu Lin, et al. Research and development of dual-band infrared camera system[J]. Laser & Infrared, 2010, 40(8): 801 - 804. (in Chinese)  
张兴德, 李荣刚, 刘琳, 等. 红外双波段成像系统的研究与发展[J]. 激光与红外, 2010, 40(8): 801 - 804.
- [2] Peng Qingqing, Du Xiaoyu. Design of an optical system for multispectral infrared imaging [J]. Laser & Infrared, 2023, 53(6): 940 - 944. (in Chinese)  
彭晴晴, 杜晓宇. 一种多谱段红外成像光学系统设计[J]. 激光与红外, 2023, 53(6): 940 - 944.
- [3] Shao Long. A universal method for remote loading of embedded processor program[J]. Electronics Optics & Control 2021, 28(3): 107 - 110. (in Chinese)  
邵龙. 嵌入式处理器程序远程加载通用方法[J]. 电光与控制, 2021, 28(3): 107 - 110.
- [4] Chen Xi, Shen Zuofeng. A reliable dynamic configuration and implementation of FPGA[J]. Communications Technology, 2012, 45(3): 105 - 110. (in Chinese)  
陈曦, 沈佐峰. 一种可靠的 FPGA 动态配置方法及实现[J]. 通讯技术, 2012, 45(3): 105 - 110.
- [5] Lu Lihong, Yin Huanting. Research on fast loading scheme for FPGA based on CPLD technology [J]. Electronic Technology & Software Engineering. 2013, 22(3): 40 - 43. (in Chinese)  
陆礼红, 尹焕亭. 基于 CPLD 技术的 FPGA 快速加载方案研究[J]. 电子技术与软件工程, 2013, 22(3): 40 - 43.
- [6] Shen Zuofeng, Liang Wenting. Exploration of loading methods for multi chip domestic FPGA [J]. Communications Technology, 2020, 53(1): 245 - 250. (in Chinese)  
沈佐峰, 梁文婷. 多片国产 FPGA 加载方式的探讨[J]. 通信技术, 2020, 53(1): 245 - 250.