

面源红外目标模拟器硬件系统设计

王 茜, 李根焰, 林佳哲, 曾雪刚

(空军勤务学院航空弹药系, 江苏 徐州 221000)

摘要: 面源红外目标模拟器是红外成像导弹导引头性能测试必不可少的部件。通过需求分析, 利用 PCI 技术、FPGA 芯片、SRAM 芯片和 DA 芯片搭建了一个硬件驱动系统, 用来实现驱动电阻阵列芯片的产生红外辐射的功能, 同时对系统中的 PCI 接口芯片、FPGA 芯片、SRAM 芯片、DA 转换芯片和电阻阵列芯片的选型进行了详细分析, 并且对硬件系统涉及的 FPGA 外围电路、PCI 接口电路、SRAM 接口电路和 DA 转换电路进行了设计。

关键词: 面源红外目标模拟器; 芯片选型; 电路设计

中图分类号: TJ530 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2015)10-0852-06

The Hardware System Design of Infrared Image Target Simulator

WANG Qian, LI Gen-yan, LIN Jia-zhe, ZENG Xue-gang

(Department of Aviation Ammunition, Air Force Logistics College, Xuzhou 221000, China)

Abstract: The infrared target simulator is an essential part of infrared imaging missile seeker performance testing parts. Based on the demand analysis, through the use of PCI technology, FPGA chip, SRAM chip, and a DA chip, the article built a hardware drive system to realize a drive chip resistor array to generate infrared radiation. At the same time, the system of the PCI interface chip, FPGA chip, SRAM chip, DA conversion chip and chip resistor array selection is analyzed in detail, and the hardware system of which is designed.

Key words: image generation computer, selection of the chip, circuit design

0 引言

近年来, 红外成像制导空空导弹凭借制导精度高、抗干扰能力强的优点渐渐成为世界各国空军武器库里的核心装备。红外成像制导空空导弹无论是在研制还是使用阶段都必须进行功能测试, 而面源红外目标模拟器正是其进行测试的核心器件之一。

目前国内研究较多的是电阻阵列面源红外目标模拟器, 且大部分针对的是 128×128 阵列规模, 主要有张安京开发基于光纤反射内存网和 PC104 技术^[1]的系统; 董敏周开发的基于光纤通信和 DSP 控制技术^[2]的系统; 马文超开发的基于以太网^[3]的系统; 但是这 3 种系统用于 256×256 电阻阵列, 由于图像数据量的大幅增加, 其帧频和灰度等级会受到很大的制约, 系统很可能不适用。而针对 256×256 规模, 目前只有黄勇开发的基于 FPGA+双端口 RAM 技术的系统, 但是这种驱动系统比较繁琐, 开发周期长, 因此迫切需要一种规模大, 帧频高的电阻阵列面源红外目标模

拟器。

1 硬件系统设计

面源红外目标模拟器是把图像生成计算机产生的目标和背景图像数据, 通过 PCI 总线高速传输到驱动控制系统, 再利用控制系统对图像数据进行处理、缓冲、D/A 转换传给电阻阵列, 驱动电阻阵列产生红外辐射图。针对上述功能要求, 本文设计的面源红外目标模拟器硬件系统如图 1 所示。

硬件控制系统是整个面源红外目标模拟器最核心部分。本文设计的硬件控制系统由 PCI 芯片、FPGA 芯片、SRAM 芯片和 DA 转换芯片构成。首先通过 PCI 总线及接口芯片完成图像数据从计算机到驱动控制系统的高速传输; 然后利用 FPGA 芯片完成对整个硬件控制系统的逻辑控制和时钟分配, 同时生成驱动电阻阵列芯片所需的时序驱动信号; 同时通过外接 SRAM 芯片完成图像数据的缓存; 最后利用 D/A 转换芯片完成图像数据数字信号到模拟电压信号的转

收稿日期: 2015-07-07; 修订日期: 2015-09-15。

作者简介: 李根焰 (1990-), 男, 四川乐山人, 硕士研究生, 研究方向是机载武器系统与运用方面。E-mail: 1205027333@qq.com。

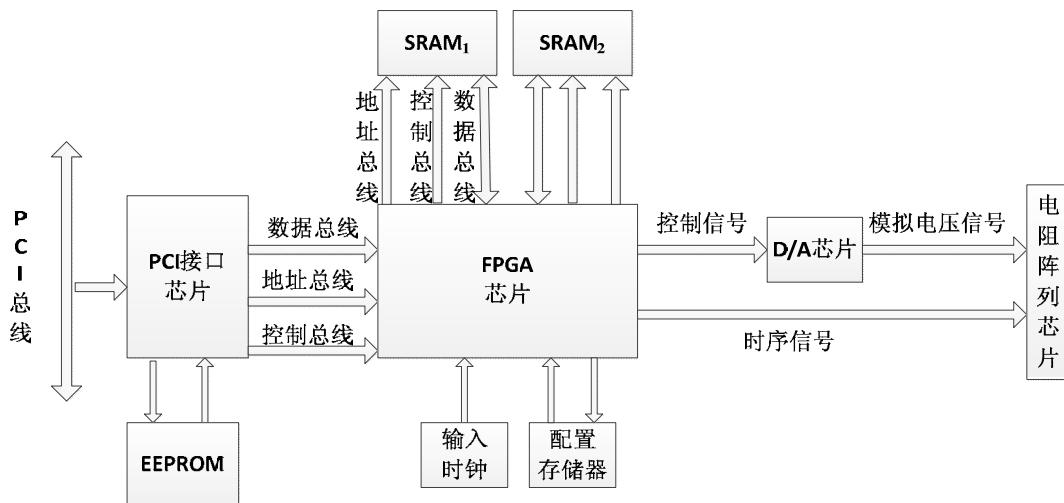


图1 硬件结构图

Fig.1 Hardware structure chart

换,生成驱动电阻阵列芯片所需的行模拟电压信号。

2 硬件系统技术指标

由于目前成熟的电阻阵列面源红外目标模拟器绝大部分都是 128×128 规模,所以文章针对 256×256 电阻阵列原理,提出一个基于FPGA+PCI+SRAM的电阻阵列面源红外目标模拟器硬件设计方案,技术指标如下:

- 1) 空间分辨率: 256×256 ;
- 2) 帧频达到200Hz;
- 3) 灰度等级: $2^{16} = 65536$ 级。

该系统集成化程度高,开发周期短,能更好地满足成像制导导弹的测试需求。相比于之前出现的电阻阵列面源红外目标模拟器,本文设计的系统阵列规模更大,帧频更高,主要是通过选用更先进主流的FPGA主控芯片,采用性价比更高的PCI总线,以及通过快速读写和转换能力更强的SRAM和DA芯片来实现,具体内容后续将详细介绍。

3 硬件选型

3.1 电阻阵列芯片选型

国内对于电阻阵列的研究起步较晚,目前只有中国科学院上海技术物理研究所在国产电阻阵列的研发方面取得了不小成就,国产电阻阵列的发展主要经历了三代,如表1所示^[5]。

综合比较表中的数据不难发现,第二代 256×256 电阻阵列各项性能均优于第二代的 128×128 电阻阵列,第二代 256×256 电阻阵列和第三代 128×128 电阻阵列相比而言,第三代电阻阵列在占空比和功耗方面确实有很大的优势,但是在帧频、非均匀比和成品率等方面均不如第二代 256×256 电阻阵列,所以本

文的面源红外目标模拟器选择第二代 256×256 电阻阵列芯片。

表1 三种电阻阵列技术性能对比

Table 1 Three kinds of resistor array technology performance contrast

	第二代	第二代	第三代
	128×128	256×256	128×128
单元大小	80 μm	65 μm	50 μm
电阻值	1 k Ω	2 k Ω	4 k Ω
占空比	8%	14.3%	53%
非均匀比	<10%	<10%	<20%
帧频	>200 Hz	>200 Hz	>100 Hz
成品率	>99.8%	>99.8%	>90%
功耗	150 W	180 W	22 W

3.2 FPGA芯片选型

FPGA芯片是硬件系统的核心部分,主要实现对整个硬件系统进行模块化处理,目前世界上主要FPGA芯片产品的两大制造商分别是美国的Altera公司和Xilinx公司,综合考虑,本文决定选用Altera公司的Cyclone II系列,特性如表2所示^[6]。

该系列芯片成本低,性能优异,同时综合内部存储量、I/O接口和PLL数量,硬件系统的FPGA芯片选用EP2C35F484C7。

3.3 PCI接口芯片选型

本文采用PCI总线将计算机生成的图像数据传到FPGA芯片,但是PCI总线不能直接与FPGA芯片连接,需要一个接口来完成PCI总线和FPGA芯片的桥接,为了缩短设计周期,本文决定采用专用接口芯片来完成PCI接口设计。目前PCI专用接口芯片主要来自PLX公司,综合考虑,本文决定选用PCI9050系列^[7],特性如表3所示。

表2 Cyclone II 系列产品特性表

Table 2 The Cyclone II series product features table

特性	EP2C5	EP2C8	EP2C20	EP2C35	EP2C50	EP2C70
逻辑阵列模块	26	36	52	105	129	250
嵌入存储容量	119808	165888	239616	483840	594432	1152000
嵌入乘法器	13	18	26	35	86	150
锁相环数目	2	2	4	4	4	4
I/O 数	158	182	315	475	450	622

表3 PCI 专用接口芯片性能参数对比

Table 3 The PCI interface chip dedicated performance parameters of the contrast

	PCI9050	PCI9054	PCI9080	S5933
兼容规范	2.2	2.1	2.1	2.1
是否支持即插即用	是	否	否	否
支持 PCI 总线类别	32 bit, 33 MHz			
是否直接支持主设备	是	否	是	是
DMA 通道数	2	0	2	1
内置存储器	EEPROM	EEPROM	EEPROM	

从表3可以知道, PCI9054在PCI9050系列产品中性能突出, 兼容性好, 所以选用PCI9054专用芯片作为PCI总线与FPGA的接口。

3.4 SRAM 芯片选型

SRAM芯片主要的生产商是美国的ISSI公司, 其产品结合了新型电路设计和先进制造工艺, 是北美最大的存储器制造商。ISSI公司的SRAM产品具有读写速度快, 功耗低的特点, 其常见SRAM芯片型号有IS65C256AL、IS64C6416AL、IS64LV25616和IS64LV51216。

由本文第二章中的关键参数计算可以得到, 缓存一帧图像数据的最小容量是 $64\text{ k}\times 16\text{ bit}$, 而IS65C256AL容量是 $32\text{ k}\times 8\text{ bit}$, 不满足要求; IS64C6416AL容量是 $64\text{ k}\times 16\text{ bit}$, 容量刚好, 但没有余量, 也不适合; IS64LV25616容量是 $256\text{ k}\times 16\text{ bit}$, IS64LV51216容量是 $512\text{ k}\times 16\text{ bit}$, 容量完全满足系统设计需求。再考虑到系统成本, 本文决定采用IS64LV25616作为硬件系统的缓冲芯片。

3.5 DA 芯片选型

电阻阵列的驱动需要行模拟电压信号, 这部分由DA芯片来完成。本文设计的系统精度是16bit, 因此DA选用16位; 同时设计中的电阻阵列规模是 256×256 , 共需要32路模拟电压输入, 为了简化电路设计, DA芯片必须具有多通道输出; 并且系统帧频200Hz, 要求芯片转换时间必须低于 $5\mu\text{s}$ 。综合多方面考虑, 本文决定选用美国TI公司的MAX5631芯片^[8]。

4 接口电路设计

4.1 FPGA 外围电路设计

FPGA作为硬件系统的主控芯片, 除了内部的逻辑控制程序, 同时也需要外围电路, 主要是时钟电路和下载配置电路。

图2是时钟电路, 本文设计采用晶振输出来给FPGA芯片提供全局时钟信号, 频率是50MHz, 只需将其接到EP2C35F484C7芯片的CLK0引脚即可^[13]。

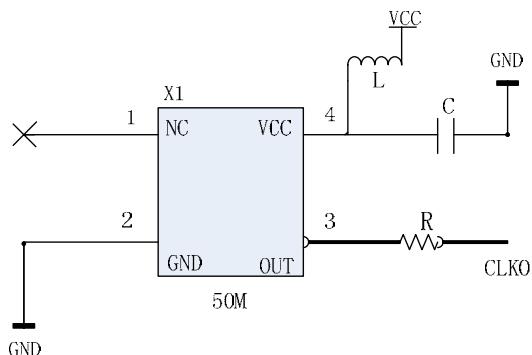


图2 晶振时钟电路 Fig.2 Crystal clock circuit

图3是时钟电路配置下载, 本文设计采用AS配置下载方式, 外部配置器件选用Altera公司FPGA芯片专用的EPCS16。只需将nCSO、DCLK、ASDO和DATA四个引脚与相对应的AS接口相连即可^[9]。

4.2 PCI 接口电路设计

PCI9054芯片与FPGA可以直接连接, 大大简化了电路设计。具体接口电路图4所示。

左边的管脚是PCI总线信号线, 直接与PCI插槽相应端口相连, 右上部分是本地端信号线, 直接

与 FPGA 相应端口相连, 右下角 4 个是 EEPROM 信号线^[10]。

图 5 是 EEPROM 接口电路, CI9054 正常工作之前必须使用 EEPROM 器件来加载配置信息。

PCI9054 内部的 EESK、EEDO、EEDI 以及 EECS 四个管脚用来和 EEPROM 相应的 CS、DT、DO 以及 CLK 四个管脚相连即可。

4.3 SRAM 接口电路设计

乒乓缓冲电路由两个 IS61LV25616AL 芯片构成, 其中一个电路如图 6 所示。IS61LV25616AL 电源信号滤波通过在电源引脚连接两个电容实现, 读写控制通过将其控制引脚与 FPGA 引脚相连产生的逻辑时序信号来实现^[11]。

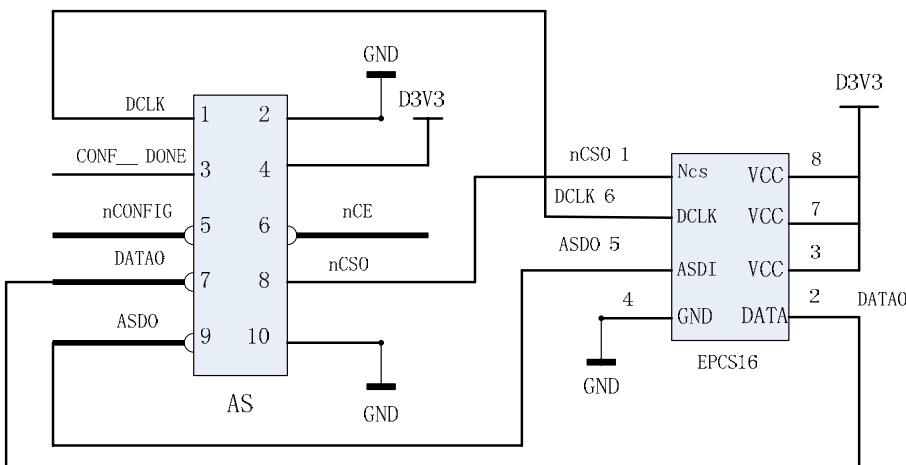


图 3 配置下载电路

Fig.3 Download circuit configuration

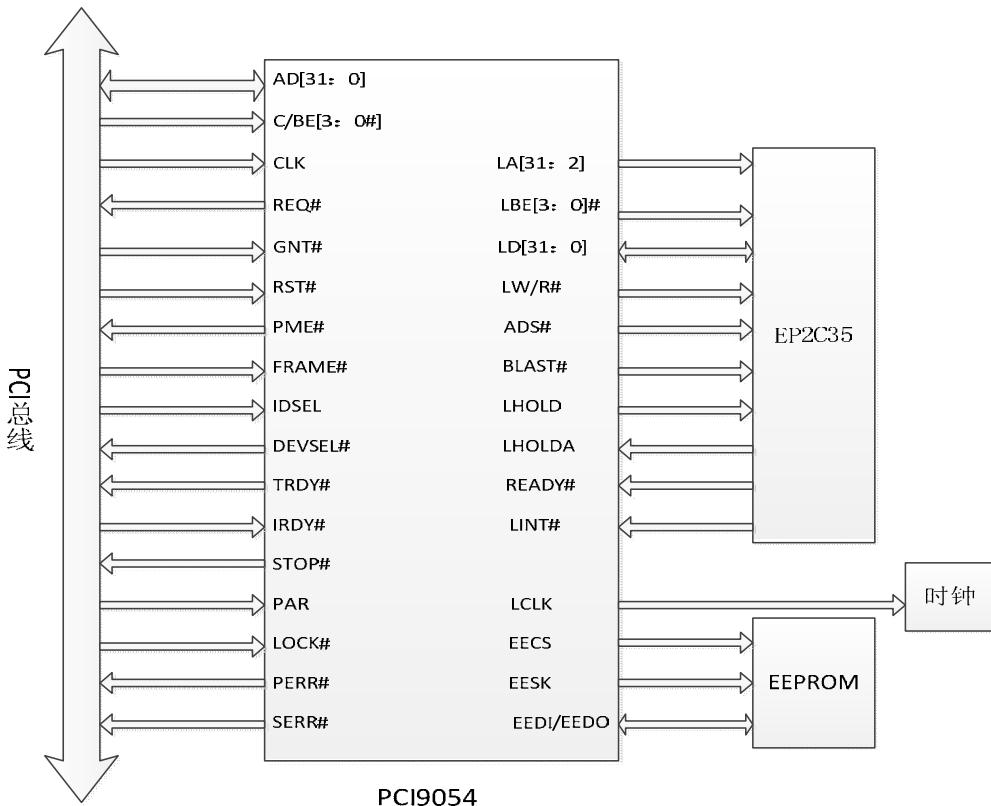


图 4 PCI9054 接口电路

Fig.4 PCI9054 interface circuit

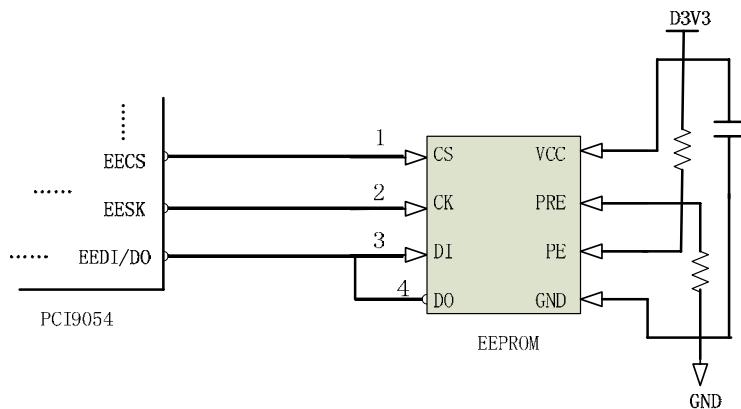


图 5 EEPROM 接口电路

Fig.5 EEPROM interface circuit

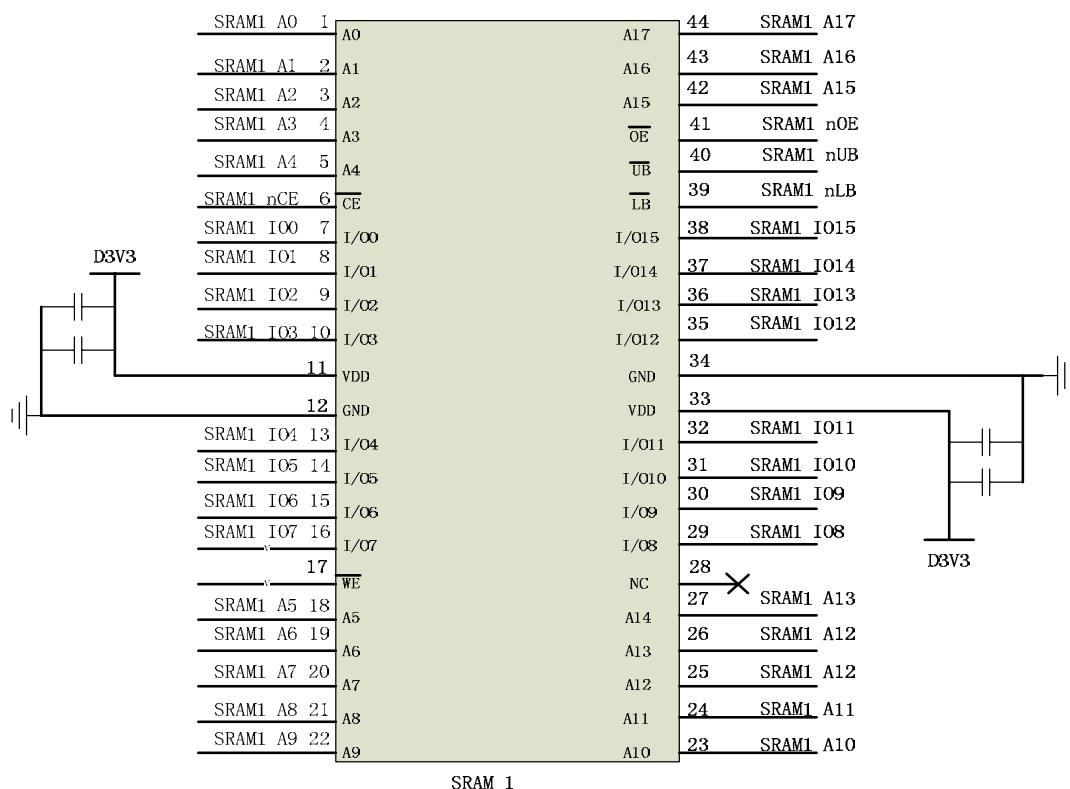


图 6 IS61LV25616AL 电路接口

Fig.6 IS61LV25616AL interface circuit

4.4 DA 转换电路设计

为了完成数模抓换功能, 将 MAX5631 的控制类引脚与 FPGA 芯片相连, 输出端口与电阻阵列连接, 电源类引脚接通供电电源, 接地接口接地, 具体如图 7。

CS 是片选信号, 当其为低后, 转换开始; DIN 为串行数据输入, SCLK 为外部时钟输入, IMMED 为模式选择^[12]。

5 结语

本文利用 PCI 技术、FPGA 芯片、SRAM 芯片和 DA 芯片搭建了一个硬件驱动系统, 用来实现驱动电阻阵列芯片的产生红外辐射的功能。该系统的帧频能达到 200 Hz, 精度能达到 16 bit, 同时系统选用的芯片集成化程度高, 兼容性好, 具有驱动更大规模电阻阵列芯片的潜力, 在面源红外目标模拟器的发展领域有很好的发展前景。

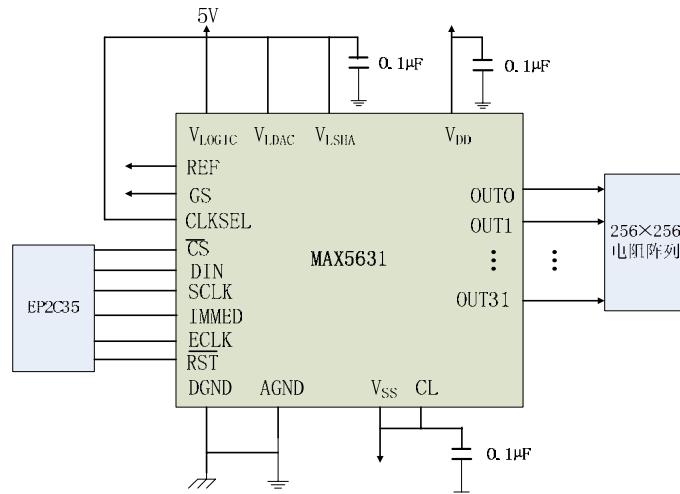


图 7 DA 接口电路

Fig.7 DA interface circuit

参考文献:

- [1] 朱岩, 苏德伦, 廖守亿, 等. MOS 电阻阵列驱动控制器设计[J]. 红外技术, 2009, 31(7): 377-379.
- [2] 马斌, 程正喜, 刘强. 国产 MOS 电阻阵列动态红外景像产生器新进展[J]. 红外与激光工程, 2011, 39: 282-286.
- [3] 马斌, 程正喜, 翟厚明, 等. 国产电阻阵列技术的发展[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(12): 2315-2317.
- [4] 朱厚存. 基于 MOS 电阻阵列的红外图像实时生成系统研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [5] 黄勇, 吴根水, 赵松庆, 等. 256×256 元 MOS 电阻阵驱动方法研究[J]. 航空兵器, 2013, 12: 40-43490-492.
- [6] Cyclone II FPGA Family Datasheet[S]. Altera.Inc .
- [7] PLX Technology. PCI9054DataBook[Z]. Version2.2. 2001.
- [8] 16-Bit DACs with 32-ChannelSample-and-Hold Outputs[R]. MAXIM.
- [9] 马冬雪. 基于 FPGA 的图像采集存储系统设计与实现[D]. 沈阳: 东北大学, 2010.
- [10] 王金锐. 基于 FPGA 和 PCI 总线数据采集系统的研究与设计[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013 .
- [11] 蔡军辉. 基于 FPGA 的视频信号数字化采集与显示系统[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010 .
- [12] 张丹红, 张孝勇, 刘文. 基于 PCI9054 的数据通信接口卡设计[J]. 武汉理工大学学报, 2013, 35(3): 306-308.
- [13] 陈莹, 朱明. 多子直方图均衡微光图像增强及 FPGA 实现[J]. 中国光学, 2014, 7(2): 225-233