

· 电路与控制 ·

## 双口RAM在图像处理系统中的应用研究

王培利

(中国电子科技集团公司光电研究院, 天津 300000)

**摘要:** 基于图像处理系统实时性和大数据量冲突的问题, 提出了在图像处理系统中使用双口RAM的方法。介绍了双口RAM的功能和特点, 以IDT70V09芯片为例给出了图像处理系统中应用双口RAM的系统架构设计、硬件接口设计、系统软件设计以及FPGA和DSP对双口RAM操作软件的详细设计, 并针对双口RAM的端口争用问题与解决方法进行了详细讨论, 对系统的印制板设计和电路调试提出了建议。最后对图像处理系统进行了功能测试, 证明了采用双口RAM设计的系统的稳定性和可行性。

**关键词:** 双口RAM; FPGA; DSP; 图像处理

中图分类号: TP317.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-04-0045-05

## Application Research on Dual-port RAM in Image Processing System

WANG Pei-li

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000, China)

**Abstract:** According to the problem between real-time image processing and mass data, dual-port random access memory (RAM) used in image processing system is presented. The functions and characteristics of dual-port RAM are introduced. Taking IDT70V09 chip as an example, system structure, hardware interface, system software design of dual-port RAM used in image processing system and the detailed design of dual-port RAM operation software of field-programmable gate array (FPGA) and data signal processor (DSP) are given. And the port contention problem of dual-port RAM and the solutions are discussed in detail. The suggestions about printed circuit board design and circuit debugging of the system are proposed. Finally, function test of the image processing system is performed to prove the stability and feasibility of the system adopting dual-port RAM design.

**Key words:** dual-port random access memory (RAM); field-programmable gate array (FPGA); data signal processor (DSP); image processing

图像处理系统为了获得更多的图像信息, 就要有更高的数据传输速率和实时处理能力。目前的图像处理系统正向高速、大数据量方向发展。因此, 如何适应图像数据的高速和大数据量的特点, 保证数据在系统中准确、可靠、实时的传输是图像处理系统设计中的一个关键。而采用双口RAM作为图像处理系统中数据传输的桥梁, 解决了图像数据高速、大数据量可靠传输的问题, 图像处理系统工作可靠、稳定<sup>[1-3]</sup>。

### 1 双口RAM简介

RAM是常用的存储器件, 具有到存储器阵列的单一接入端口, 它是一个常用的双向I/O总线。在一个给定的时钟周期内可进行读取或写入操作, 但二者不能同时进行<sup>[4]</sup>。

双端口RAM与单端口RAM相比, 其应用范围更加广泛。它有两条双向I/O总线, 并且双端口RAM还支持每个端口上完全独立的时钟域。这就

收稿日期: 2014-07-16

作者简介: 王培利(1977-), 男, 河南新乡人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为光电技术和信息处理。

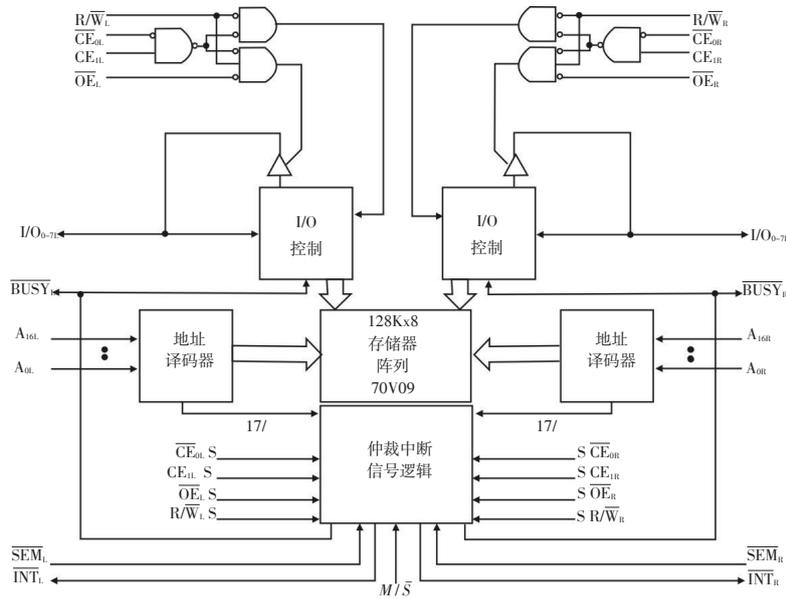


图1 IDT70V09功能框图

将端口的功能存取和寻址与和它相连的器件分离开来,这种灵活性使双端口RAM能够在完全不同的时钟域之间实现数据的无缝缓冲,并简化了接口器件的优化工作<sup>[5]</sup>。适用于实时数据缓存,解决了数据传输速度的瓶颈问题,本设计采用的双口RAM芯片是IDT70V09,其功能框图见图1。

IDT70V09是美国IDT公司开发研制的高速128 K×8 bits的双口静态RAM,100个管脚,TQFP封装。它具有如下特点<sup>[6]</sup>:

- (1)两个端口可同时读写数据,每个端口具有自己独立的控制线、地址线和I/O数据线;
- (2)可高速存取数据,最快存取时间为20 ns,可与大多数高速处理器配合使用;
- (3)具有Master/slave控制脚,可方便地扩展存储容量和数据位宽;
- (4)具有完全独立的忙仲裁逻辑,可保证两个系统对同一单元进行读写操作的正确性;
- (5)每个端口完全异步操作;
- (6)采用IDT公司的高性能CMOS技术,器件的典型功耗为440 mW;
- (7)兼容LVTTTL逻辑电平,3.3 V供电。

## 2 硬件设计

### 2.1 系统架构设计

图像处理系统采用FPGA+双口RAM+DSP的架构,有较强的通用性,系统采用模块化设计,缩短系统的开发周期,同时系统易于维护和进行功能扩展,适合于实时图像处理,系统的结构框图见图2。

由于传感器输出的图像数据为5 V逻辑电平,而FPGA部分为3.3 V的逻辑电平,因而系统设计采用74LVTH16245对来自传感器的图像数据进行电平转换,以防止FPGA芯片的损坏,保证系统工作的可靠性。

来自传感器的行同步、场同步、时钟以及图像数据经74LVTH16245完成5 V到3.3 V的逻辑电平转换后,传输给FPGA进行前期滤波等相关处理,同时对来自传感器的图像数据进行判读,对传感器的工作状态进行实时监控,确保传感器正常工作。预

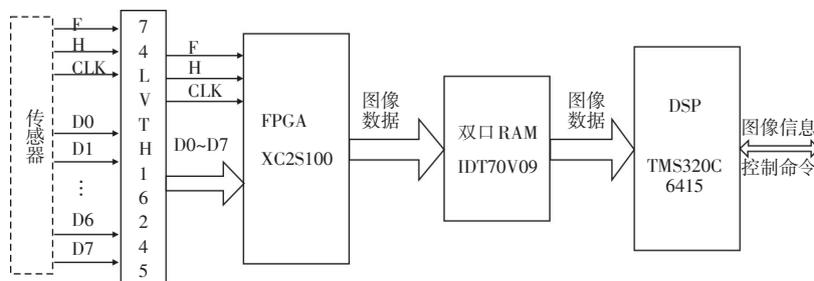


图2 图像处理系统结构框图

处理后的图像数据按照一定的时序要求,由FPGA的写双口RAM模块将其写到指定的双口RAM存储空间,以便DSP完成进一步图像处理工作。

图像数据由FPGA写到双口RAM后,由双口RAM产生中断信号通知DSP,DSP得到双口RAM的中断信号后,软件进行取双口RAM图像数据的操作,将存储在双口RAM中的图像数据取到DSP的内部存储器中,对图像数据根据软件算法进行图像处理。

## 2.2 双口RAM的仲裁设计

双口RAM各端口完全异步操作,用于数据存储的存储器阵列,可被左右两个端口所共用。当两个端口对双口RAM读、写操作时,存在以下四种情况:

(1)两个端口不同时对同一地址单元读、写数据;(2)两个端口同时对同一地址单元读出数据;(3)两个端口同时对同一地址单元写入数据;(4)两个端口同时对同一地址单元操作,一个写入数据,另一个读出数据。

第一种和第二种情况,两个端口的读写不会出现错误,第三种情况会出现写入错误,第四种情况会出现读出错误。故双口RAM接口电路设计的要点是如何解决左右两个端口的读写冲突问题<sup>[7]</sup>。IDT70V09有如下三种防冲突方式可供采用<sup>[8]</sup>。

(1)采用仲裁逻辑解决访问冲突:当双口RAM左右两个端口同时写入或一读一写同一地址单元时,先稳定的地址端口通过仲裁逻辑电路优先读写,同时内部电路使另一个端口的BUSY信号有效,并在内部禁止对方访问,直到本端口操作结束。

(2)采用标识器解决访问冲突:双口RAM通过申请和释放端口的标识器来操作存储单元,可实现数据的高速无等待状态的传送,IDT70V09标识器电路有八个锁存器,且与双口RAM阵列相独立,用作两个端口间的标志传送,以表明共享的双口RAM是否在使用。在标识器工作模式,利用控制脚SEM来申请访问权,地址线A2~A0用于八个标志锁存器的寻址。

(3)采用中断解决访问冲突:双口RAM中最高地址的两个存储单元可以作为信箱使用,左右两端可以同时对它进行操作。可以将信号INT<sub>L</sub>和INT<sub>R</sub>作为CPU的中断源,通过信箱向对方传递自己使用存储单元的状态来防止访问冲突,有较好的实时性,适用于图像处理系统。图3为双口RAM任一端口的中断时序。

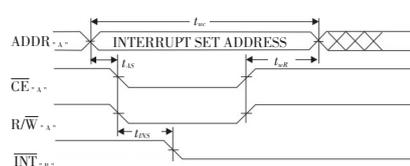


图3 中断时序图

## 2.3 双口RAM的接口电路设计

双口RAM有两套独立的地址、数据和控制端口,系统中FPGA接双口RAM的左端口,DSP接双口RAM的右端口,双口RAM接口电路原理框图如图4所示。系统中采用1片双口RAM,因此双口RAM的M/S端接高电平。系统中双口RAM不使用标识器工作模式,故将SEM接高电平。CE<sub>0L</sub>、OE<sub>L</sub>、R/W<sub>L</sub>作为左端使能端和读/写控制连接FPGA的控制接口,CE<sub>0R</sub>、OE<sub>R</sub>、R/W<sub>R</sub>作为右端使能端和读/写控制连接DSP的控制接口。INT<sub>L</sub>、INT<sub>R</sub>为写完成的中断输出连接FPGA的I/O输入脚和DSP的GPIO脚。

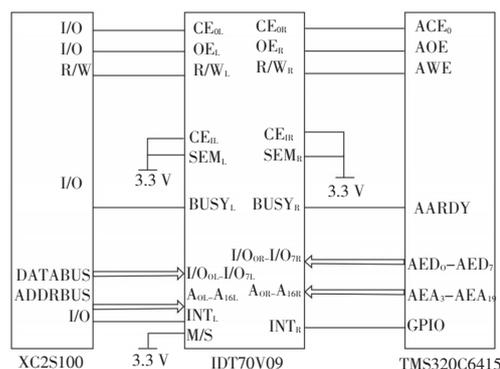


图4 双口RAM接口电路原理框图

为了保证图像数据传输的实时性和有效性,采用双口RAM的中断方式进行操作。图像数据由FPGA写入双口RAM的工作完成后,FPGA写入右端口信箱1FFFH,右端口的信号INT<sub>R</sub>为低电平,通知DSP读取双口RAM中的图像数据,DSP同时读自己的信箱1FFFH,将INT<sub>R</sub>置高。DSP将双口RAM数据读取完成后,DSP写入左端口信箱1FFEh,左端口的信号INT<sub>L</sub>将变为低电平,接着FPGA将下一帧图像数据写入双口RAM,FPGA同时读自己的信箱1FFEh,将INT<sub>L</sub>置高。

## 3 软件设计

该系统的软件根据硬件架构可以分为两部分,

即FPGA的软件和DSP的软件。FPGA的软件主要完成图像的预处理和将数据写入到指定的双口RAM存储单元;DSP的软件完成将数据从双口RAM读出并执行进一步图像处理。

图像处理系统的程序运行如图5所示。从系统软件流程图中可以看出,FPGA和DSP的程序运行遵循各自的规则,但二者之间又实时完成着信息的交互。FPGA完成将数据写入双口RAM后,同时写双口RAM的右端口信箱,双口RAM的INT<sub>R</sub>管脚输出低电平,通知DSP读取双口RAM的数据。DSP完成双口RAM的数据读取后,写双口RAM的左端口信箱,INT<sub>L</sub>管脚输出低电平,通知FPGA进行下一帧图像数据的处理。

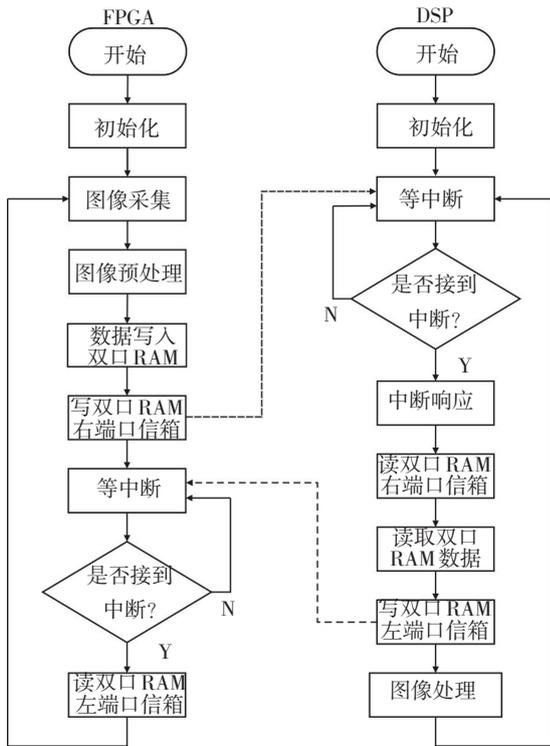


图5 系统软件流程图

### 3.1 FPGA设计

FPGA采用XILINX公司Spantan-II系列集成电路XC2S100,2 700个逻辑单元,40 K位Block RAM,使用Verilog HDL语言编程,软件环境为Xilinx ISE 9.1i。FPGA软件组成如图6所示。主要包括顶层模块、写双口RAM模块以及图像数据状态的监控模块等。FPGA功能主要是实时接收来自传感器的图像

数据,将图像数据预处理后,由写双口RAM模块将图像数据写入指定的双口RAM存储空间,以便DSP读取图像数据进行后续处理。图7为写双口RAM的逻辑电路。

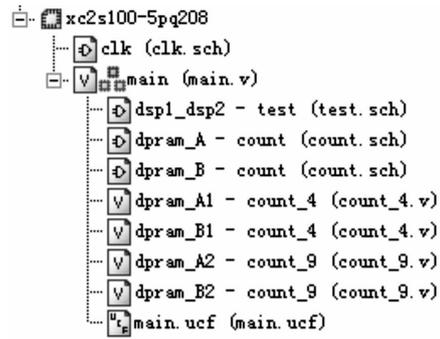


图6 FPGA软件组成

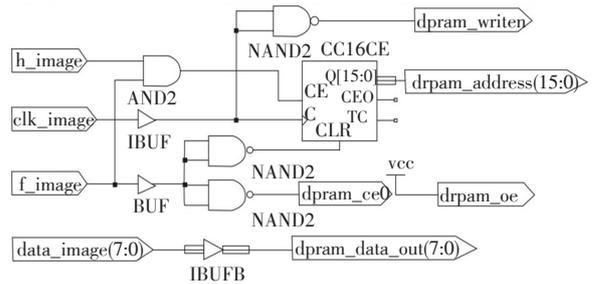


图7 写双口RAM模块的逻辑电路

### 3.2 DSP设计

DSP采用TI公司的集成电路,型号为TMS320C6415,主频500 MHz,EMIF频率100 MHz,用C语言和TMS320C6000系列汇编语编写程序,编程环境为CCS3.3。DSP的软件主要由主函数、多个功能模块函数以及驱动函数等组成,完成接收双口RAM发来的中断信息,从指定的双口RAM存储空间读取图像数据,进而按照特定的软件算法进行相关的图像数据处理等。以下是DSP读取双口RAM数据的软件程序。

```
extern unsigned char Frame_Flag;
extern unsigned char pImageData[0x10000];
unsigned char* Image_DRam_Addr = (unsigned char*)
0x80000000;
interrupt void ISR4()
{
    Frame_Flag=1;
    IRQ_disable(IRQ_EVT_GPINT4);
}
```

```

memmove(pImageData,Image_DRam_Addr,65536);
IRQ_enable(IRQ_EVT_GPINT4);
}

```

DSP 读取双口 RAM 图像数据采用 EDMA (enhanced direct memory access) 方式。EDMA 是 DSP 为满足图像处理需求而设计的,可以在没有 CPU 参与的情况下,实现数据在 DSP 的片内存储器 and 外部存储器之间的搬移,满足实时图像数据高速传输的需求。DSP 的 GPIO4 采集到来自双口 RAM 中断信号下降沿后触发中断,进入中断响应函数,函数以 EDMA 方式将双口 RAM 中 65 536 个 8 位图像数据搬移到 DSP 片内存储器中进行后续图像处理。

## 4 印制板设计及电路调试

### 4.1 印制板设计

高速图像处理系统中,印制板设计也是重要的一环。印制板设计的优劣直接决定传输数据的质量。本系统主要开展了以下几点印制板设计。

(1)采用多层印制板,合理设置叠层;(2)印制板合理布局,强弱信号分开,避免干扰;(3)电源部分合理使用滤波电路,降低电源纹波;(4)控制数据线长度,限制过孔使用数量,保证数据传输的质量。

### 4.2 电路调试

系统的电路调试主要需要注意以下两点。

(1)由于双口 RAM 芯片管脚多,且管脚之间的间距较小,芯片焊接容易出现管脚虚焊或管脚粘连的问题。管脚的虚焊或者粘连会导致读写双口 RAM 出错,因此在电路调试加电之前,要检查芯片焊接的情况;(2)双口 RAM 有两套独立的控制线、地址线 and 数据线,允许对其两个端口独立进行操作,但同时同一地址存储空间进行写或一读一写时会引起读写冲突,因此系统中 FPGA 的写双口 RAM 模块 and DSP 的读双口 RAM 模块在时序上要严格避免出现同时对同一地址存储空间进行写或一读一写的情况。

## 5 功能验证

采用设计的图像处理系统对来自传感器的图

像数据进行实时处理,数据量为  $256 \times 256 \times 20$  (帧)  $\times 8$  bit/s。利用 CCS3.3 调试工具中的图像显示功能对图像数据进行验证<sup>[9]</sup>,CCS 的图像显示属性的设置见图 8。实际显示的图像见图 9。由图可知,传感器的图像数据由双口 RAM 传输稳定、可靠。随后将 DSP 的软件程序进行了烧录,整个图像处理系统进行联调测试。测试结果表明,图像处理系统采用双口 RAM 满足设计要求。

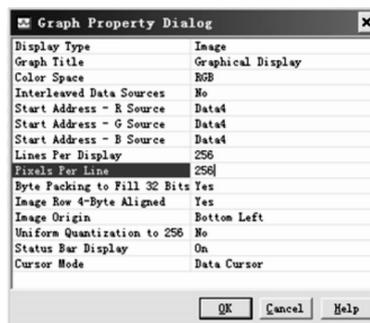


图8 图像显示属性设置

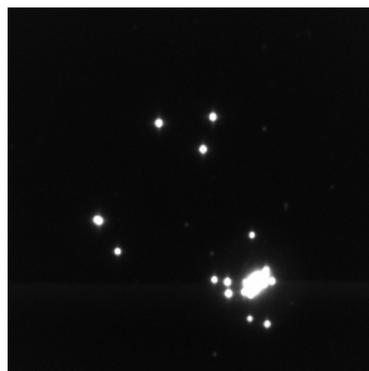


图9 CCS仿真中显示的图像

## 6 结论

采用双口 RAM 做为媒介,完成了 FPGA 与 DSP 之间的数据高速、可靠的传输,为如何更好地实现高速、大数据量稳定传输提供了一个较好的解决方案。采用的系统架构有显著的优越性,具有实时性好、传输速率高、可扩展性强、易于实现、方便维护等优点。系统软件、硬件合理的设计,充分的配合将使双口 RAM 的性能得到更好的发挥。由于双口 RAM 技术的诸多优势,近年来双口 RAM 在图像处理系统中得到了广泛应用。随着图像处理系统的发展,对数据的传输速率将会提出更高的要求,也必将对双口 RAM 的性能提出新的挑战。

(下转第 60 页)

算,具体检测方法见文献[5]。

### 3 结束语

以实际应用为基础,提出了简单易行的检测轴垂直度的方法,有效地提高了两轴转台的工作精度,为两轴转台的设计和装调提供了参考方法,以保证其精度指标达到设计要求,此种方法也可以应用到多轴转台的各轴垂直度检测。

### 参考文献

- [1] 李尚义,赵克定,吴盛林,等.三轴飞行仿真转台总体设计及其关键技术[J].宇航学报,1995.
- [2] 周闻青,周维虎.经纬仪横轴与竖轴垂直度误差分析与检定[J].计量技术,2005(6).

- [3] 孟祥玲,吴盛林.三轴液压仿真转台三轴相交度测试方法[J].中国惯性技术学报,2004(8).
- [4] 张明,王法农,李秋萍.转台用光电自准直仪测试软件开发[J].航空精密制造技术,2010(2).
- [5] 吴风高.天线座结构设计[M].西安:西北电讯工程学院出版社,1986.
- [6] 王志.水平式机架结构设计要素[J].长春理工大学学报,2011(4).
- [7] 范振华.光学机械式仪器有关垂直度检测和调修调整方法的研究[J].工业计量,2012(6).
- [8] 黎万超.基于全站仪的辊轴垂直度的检测方法[J].机械工程师,2010(6).
- [9] 任顺清,陈海兵,赵洪波.用经纬仪测量大尺寸三维导轨垂直度的方法[J].仪器仪表学报,2012(1).
- [10] 石金彦,郭军,李俊伟.某轻型雷达天线座结构设计及精度分析[J].电子机械工程,2006(2).

(上接第49页)

### 参考文献

- [1] 李鹏飞,孟泰,王薇婕.基于Modbus总线协议的并行通信模块设计[J].西安工程大学学报,2013,27(1):60-64.
- [2] 杨志,伍川辉,靳行.基于DSP的高速列车车内噪声舒适性测量装置[J].传感器与微系统,2013,32(5):118-120.
- [3] 胡宏伟,宋斌,赵秀娟.基于CPLD和DIMM-PC微处理器模块的图像采集处理系统设计[J].光电技术应用,2006,21(5):61-66.
- [4] Karl Etzel.为实现高性能选择正确的SRAM架构[J].电子设计应用,2004(8):67-69.

- [5] 王天楚,贺祥庆.一种SRAM单双端口转换电路的设计与实现[J].微电子学,2008,38(4):544-547.
- [6] 赵振华,刘姗姗.双口RAM IDT7009及其在双CPU系统中的应用[J].电子测试,2009(1):48-52.
- [7] 马鹏飞,阎利军,张袁志.基于双口RAM的并行数字信号模拟器研究设计[J].现代电子技术,2013,36(5):115-117.
- [8] 刘玉珍,张晔.双端口RAM在ARM与DSP通信系统中的应用[J].计算机系统应用,2011,20(11):213-216.
- [9] 彭启琮,管庆.DSP集成开发环境—CCS及DSP/BIOS的原理与应用[M].北京:电子工业出版社,2004.

(上接第53页)

### 参考文献

- [1] 黄博,李子儒.医学红外热像中的伪彩色显示技术[J].红外,2011,32(6):28-33.
- [2] 许海峰,王洪艳.伪彩色编码及其在工业上的应用[J].宿州学院学报,2010,25(5):39-41.
- [3] 曹茂永,郁道银.基于IHS空间的灰度图像互补色伪彩色编码[J].光电工程,2002,29(2):63-66.
- [4] SUN Shao-yuan, JING Zhong-liang. Transfer color to night vision images [J]. Chinese Optics Letters, 2005, 3 (8): 448-450.
- [5] 刘缠牢,谭立勋.红外图像伪彩色编码和处理[J].应用光学,2006,27(5):419-422.

- [6] 秦文罡,高爱华,刘卫国.基于直方图的红外图像互补伪彩色编码处理[J].信号与图像处理,2009,39(3):339-341.
- [7] 代中华,孙韶媛.一种车载红外视频彩色化算法[J].红外技术,2010,32(10):595-600.
- [8] 倪国强,肖蔓君.近自然彩色图像融合算法及其实时处理系统的发展[J].光学学报,2007,27(12):2101-2109.
- [9] 赵源萌,王岭雪.基于色彩传递的单波段热图像彩色化处理算法[J].光学学报,2009,29(3):2101-2109.
- [10] 王伟峰,李玉惠,李勃.基于FPGA的微光图像伪彩色处理系统实现[J].仪器仪表用户,2008,15(3):70-71.
- [11] 牛涛.ADV478伪彩色芯片及其在红外电视中的应用[J].科技创业月刊,2002,8:78-79.