

# 基于 PCI 总线的红外探测器图像数据采集系统设计与实现

郑可旺, 黄勇, 王聪

(西北工业大学 航天学院, 西安 710072)

**摘要:** 红外成像探测系统在调测过程中, 通常需要完成探测系统输出图像和辅助信息的采集、保存和分析; 根据红外成像探测系统输出信息的特点, 文章介绍了基于 PCI 总线技术的红外探测器图像数据采集系统的软硬件设计方法和实现方案, 解决了多种分辨率红外图像的实时数据采集、显示和储存问题; 系统通过接受  $320 \times 256$  以及  $640 \times 512$  分辨率的图像进行测试; 经过测试表明: 通过使用 DMA 方式, PCI 总线读取速率达到了 49.0 MByte/s, 可以准确无误地对多种分辨率红外图像和辅助信息进行高速实时采集, 满足测试系统的使用需求, 为红外成像探测系统的调测提供了坚实的基础。

**关键词:** 红外图像; 图像采集; PCI; FPGA

## Design and Implementation of a Image Data Sampling System for Infrared Detector Based on PCI Bus

Zheng Kewang, Huang Yong, Wang Cong

(School of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** Infrared detection imaging and supplementary information collection, storage and analysis have been proved to be very important in Infrared imaging test system. According to the characteristics of infrared imaging detector system output information, a hardware and software design methods and implementation scheme of infrared detector based on PCI bus technology are introduced, which is also helpful in solving problems such as the real-time data acquisition, display and storage of various resolution infrared images. System tests are based on  $320 \times 256$  and  $640 \times 512$  resolution image accepting. Tests indicate that the read rate of PCI bus can reach 49.0MByte/s by using DMA. It can accurately implement high speed real-time sampling of various resolution infrared image and auxiliary information, which fully meet the user's requirements of the testing system, and provides a solid foundation for infrared imaging detector system output sampling.

**Key words:** infrared Image; data sampling; PCI; FPGA

### 0 引言

图像采集处理技术是红外探测器测试仿真的关键技术, 直接影响红外探测器工作特性的分析。考虑到实时性和高可靠性, 红外探测器一般采用 LVDS (Low Voltage Differential Signaling, 低电压差分信号) 格式来实现高速传输, 并利用特定的图像传输协议传输数据<sup>[1-2]</sup>。

本文所设计的系统对象, 就是按照 LVDS 接口标准, 以 24 MHz 时钟高速传输的 2 种不同分辨率图像红外 ( $320 \times 256 \times 16 \text{ bit}$  与  $640 \times 512 \times 8 \text{ bit}$ ) 并行信号和一路包含辅助信息的串口信号。以 FPGA 为采集系统的主控器件, 通过 PCI 总线与主机进行数据交互, 控制流交互, 实现数据图像的显示与存储, 并集成了相应的串口信息的接收。相比传统的图像采集卡而言, 该系统使得图像数据和辅助数据在同一数据帧内被采集, 大大提高了红外探测器图像的实时性, 为测试人员的调试

和分析带来了很大的方便。

### 1 硬件系统设计

硬件系统整体框架如图 1 所示, 系统主要分为 LVDS 接收转换、FPGA 主控处理、SRAM 缓存处理以及 PCI 9054 上位机交互控制 4 个部分。

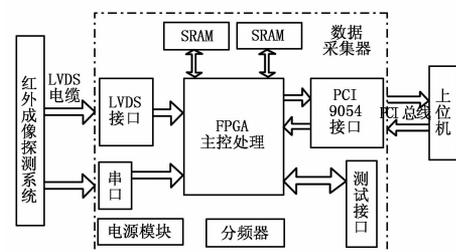


图 1 硬件系统整体框图

数据接收的基本过程为: 红外成像探测系统产生的 LVDS 图像数据经过屏蔽电缆送入采集系统内, 采集系统首先通过电平转换芯片 DS90LV048A 将 LVDS 转换为 3.3 V 的 TTL, 并将其转换后的信号送入 FPGA 内, 然后 FPGA 对接收到的原始数据进行解码, 并以乒乓方式将图像数据交替存于两片 SRAM 中。上位机通过 PCI 总线读取 SRAM 中的数据并存储图像数据, 以供测试人员观测使用。

收稿日期: 2013-10-19; 修回日期: 2013-12-27。

基金项目: 航空科学基金项目(20110153004)。

作者简介: 郑可旺(1990-), 男, 陕西西安人, 工学硕士, 主要从事飞行器导航制导与控制技术方向的研究。

黄勇(1976-), 男, 陕西西安人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事导航、制导与控制方向的研究。

### 1.1 LVDS 接口

LVDS 作为一种点对点通信电流模式驱动的低功耗串行接口标准, 拥有较低的电压摆幅, 可以很好地应用于注重电磁兼容性的场合, 具有高速度、噪声抑制、产生的噪声小、低功耗等特点, 当传输电缆为 20 m 时, 速率可达 100 Mbps<sup>[3]</sup>。

由于红外探测器的图像发送方采用 LVDS 编码芯片 DS90LV047A, 故采集系统使用 LVDS 解码对片 DS90LV048A 进行接收。按照图像协议定义共有 12 对差分信号, 其中包括 8 对图像数据、3 对控制信号以及 1 对串口信号。因此选用了 3 片 DS90LV048A 作为接收转换接口。

经过 DS90LV048A 处理后的信号进入 FPGA 后, FPGA 需要按照给定的控制协议进行接收操作。如图 2 所示, 为 320 × 256 分辨率图像经过 DS90LV048A, 8 对 LVDS 信号传输转换后的时序。

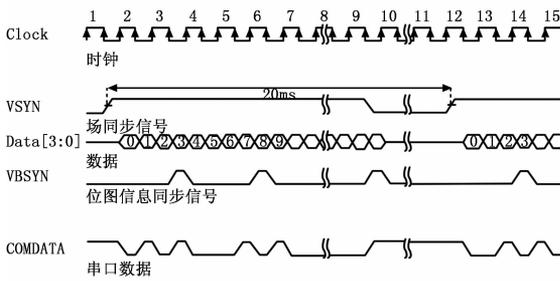


图 2 LVDS 转换后的输入时序图

### 1.2 SRAM 乒乓缓冲

对于高速数据流控制处理有一种比较常见的设计思想就是乒乓操作。高速数据流首先通过数据接收单元, 此时接收单元将通过查询标志信息来选择数据缓冲区域。通过切换缓存区域, 达到数据存储读取的连续进行。该数据缓冲模块可以是常用的数据缓冲单元, 如 SRAM, DPRAM, FIFO 等<sup>[4]</sup>。

由于图像数据量比较大, 故本文选用的 512 K × 32 的 SRAM 作为乒乓操作的存储器。为了保证 SRAM 能够更快地响应上位机的操作, 此时我们选择了比接收时钟 (20 MHz) 更快的时钟 (50 MHz) 作为写入和读取 SRAM 的时钟, 确保系统的采集速率。

### 1.3 PCI 总线

设计中上位机和 FPGA 的连接采用了 PCI 总线, 因为 PCI 总线具有高速、突发 (Burst) 的数据传输特征。本设计中采用 32 bit 的 PCI 总线。此条件下, 如果数据采用单数据读写, 完成一次数据读写操作, 需要 6 个时钟周期。这时数据带宽利用率不高, 在一个设备能够不断申请到总线的情况下, 只能达到 22 MByte/s 的带宽。如果一个设备能够不断申请到总线, 每次读写操作的时候采用突发读写, 并且一次读写操作数据周期能够尽量长, 那么 PCI 总线的带宽可以达到 132 MByte/s<sup>[5-6]</sup>。

为了实现数据接收与上位机的控制流交互, 硬件板上采用了 PLX 公司的 PCI9054 总线接口芯片进行通信, 如图 3 所示。对于 PCI 的 LOCAL Bus 一端与 FPGA 直接连接, 并需要一个本地的中断 LINT# 信号进行响应。本文中 PCI 9054 芯片工作在 C 模式 DMA 下, 相比传统 PCI Target 与 Initiator 方式, DMA 方式大大减少了控制指令与周期, 传输速度快, 适合大批量数据传输。PCI 9054 一共提供两个 DMA 通道, 本系

统利用 DMA 通道 0, 作为控制通道进行控制流的传输; DMA 通道 1, 作为数据通道, 作为数据传输。

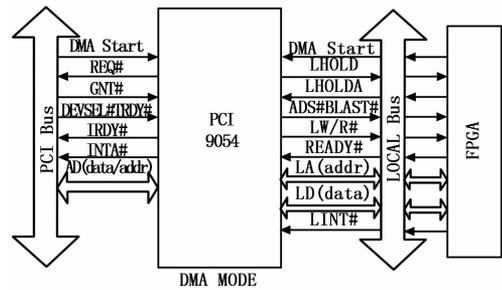


图 3 PCI 9054 DMA 模式联接示意图

### 1.4 FPGA 设计

在硬件电路的设计中, FPGA 往往担任了逻辑转换、控制信号收发以及参数计算等工作。由于 FPGA 的设计往往比较灵活, 更加体现了硬件工程师的设计思路。本系统根据硬件通信速率以及采集系统设计特性的需要, 我们选用了 Xilinx Spartan 3E 系列的 XC3S1200E 作为采集卡的主控逻辑处理器。

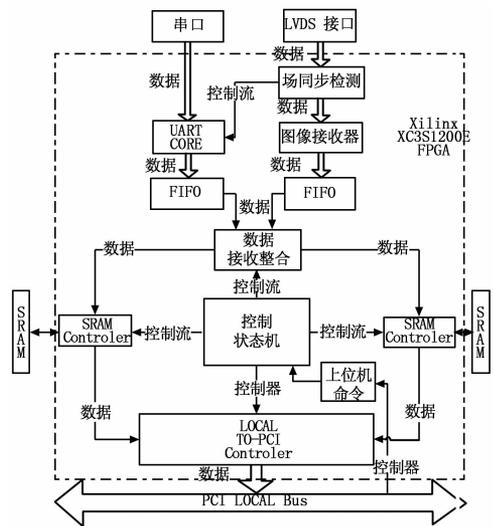


图 4 FPGA 内部模块框图

FPGA 中的内部框图如图 4 所示, 采集卡在上电工作后, 首先需要进行模式判别, 此工作由上位机向控制状态机填写状态存储器的方式完成。接着检验图像场同步信号是否稳定, 然后再进行数据传输。由于图像信号为同步时钟信号, 串口信号为异步通信信号, 所以在接收的过程中需要用 FIFO 对其进行缓存, 然后存入数据接收整合模块, 继而存入 SRAM 中, 完成一包数据的存储缓冲。乒乓操作的控制流信号由控制状态机产生, 并向 LOCAL TO PCI 控制器产生读取信号, 完成 FPGA 向 PCI 9054 间的数据传输。在 FPGA 设计的过程中有 3 个难点需要注意。

系统设计的一个难点就是检测场同步稳定。从协议可以看出, 由于每一场图像没有特殊开始标识, 所以要在接收正确的数据前进行图像场同步检测。本次采用的头检测策略为: 重复检测 VSYN 信号下降沿的策略, 当确定此时探测器图像数据发送稳定后, 才进行数据接收。

系统设计的第二个难点就是同步信号与异步信号的拼接。

从图中可以看出系统的输入为图像和串口的信号, 其中图像信号为同步时钟信号, 串口为异步通信。图像信号与串口信号分别经过解码拼接进入自己独立的 FIFO 之中, 并通过场同步信号 VSYN 以及采集模式产生使能对图像数据和串口数据进行拼接, 完成两种信号的实时同步。

系统设计的第三个难点是不同分辨率的切换。我们采用的主要方式为上位机通过 PCI 总线下发模式指令的方式实现的。与此同时, 还需要对 FPGA 中场同步检测、图像接收器、UART 核、数据接收整合器以及其两种信号进行缓存的 FIFO 进行复位。保证切换后的探测器信息, 可以稳定准确的接收。

## 2 软件系统构成

软件系统主要包括 3 部分内容: 驱动程序、功能函数库和界面应用程序。

### 2.1 驱动程序

PLX 公司官方提供名为 PlxApi.lib 函数类库为 PCI 8000, PCI 9000, PCI 6000 系列提供了方便和完善的控制接口<sup>[7]</sup>。对于本系统的设计而言, 我们只需要了解和熟悉库中各个应用方法即可。

### 2.2 功能函数库

为了使驱动函数更加简捷地被应用开发人员开发使用, 我们还需要对原始的 PlxApi.lib 进行修改、集成和封装。新的功能函数库接口, 有利于简化库的大小, 集成更多有意义的接口操作, 降低了软件开发人员熟悉硬件底层的过程, 使得应用层面的调用更加方便。利用 VC, 调用 PLX 公司给出的 PlxA-pi.dll 动态链接库, 编写新的 .lib 功能函数库也一定程度减少了开发周期<sup>[8]</sup>。

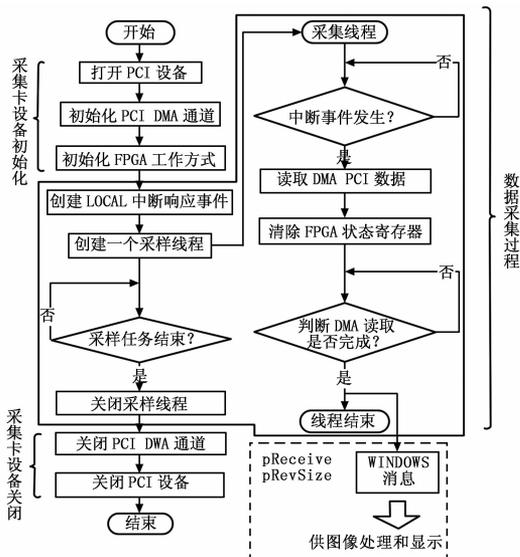


图 5 上位机采集程序流程图

对于本系统而言最为重要的环节就是数据读取的过程。正如图 5 所示, 数据的采集是通过开线程的方式, 操作 DMA 进行读写, 为了提高读数据的效率, 每次的读写深度总根据不同分辨率进行了选择。DMA 操作完成后会向 WINDOWS 系统发出消息, 供应用层响应。用户在接收到消息后仅需要传送数据接收指针 (如 pReceive) 和数据接收大小 (如 pRevSize) 就可以将接收到数据的存储和显示。

## 2.3 界面应用程序的开发

界面应用程序是使用 VC++ 编写的 MFC 程序, 调用的之前封装好的功能函数库文件以及图形数据显示插件, 实现数据的存储与显示。

## 3 测试结果分析

### 3.1 测试条件

探测器图像数据系统通过屏蔽电缆链接上红外探测器进行测试。测试条件如表 1 所示。

表 1 测试条件表

项目	条件
工作环境	研华工控 610H
系统采集红外图像的频率	50fps
系统显示图像刷新率	50 HZ
系统图像最大采集时长	大于 30min

主要的测试项目包括: 图像数据存储、显示、漏帧测试、硬件 DMA 通道速率及系统采集速率等。

### 3.2 测试结果

图 6 为图像采集系统工作在 320 \* 256 分辨率图像时, PCI LOCAL 端示波器所检测到的时序图。两张图片工作在同一时刻, 只是时间轴比例不同。图中 D7-D0 分别代表了 PCI LOCAL 端 LOCALCLK、LHOLDA、LHOLD、# ADS、# BLAST、LWR、# READY、# LINT 信号。

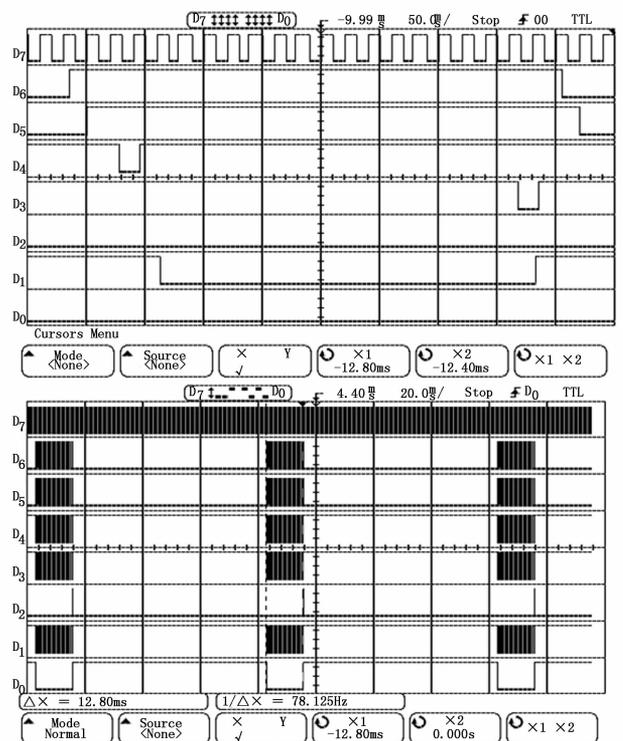


图 7 PCI 总线 LOCAL 端示波器采集图像

从图 6 可以清楚地看出, LOCAL 端工作在 PCI DMA 模式下的时序情况, 而下面示波器图像光标显示了一次 DMA 传输所消耗的时间为 12.80 ms (此数据在整个测试过程中可以稳定), 由于一次 DMA 读写可以进行 4 帧图像的采集, 故可

(下转第 1921 页)

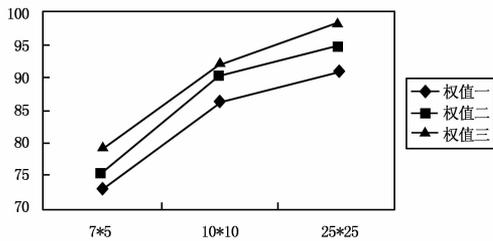


图 10 网格密度及权重大小对识别率的影响

从侧面说明了网格密度发生改变以及不一样的算法影响识别率的程度不同, 并且表明了密度和识别率是成正比的。通过实验, 可以说明采用属性嵌套技术网格车牌识别算法具有明显的优势: 1) 容错率以及学习能力较强, 经过实验可以知晓字母、数字以及汉字都具有很高的准确度; 2) 识别的基本原理较容易, 并且能够很快地识别, 算法也很易实现; 3) 在稳定性、智能性以及准确性等方面较强。

表 2 识别的测试结果

测试算法	属性网格 7×5	属性网格 10×10	属性网格 25×25
属性计算网格算法	77.4%	90.1%	96.2%
属性嵌套计算网格算法	79.3%	92.1%	98.7%

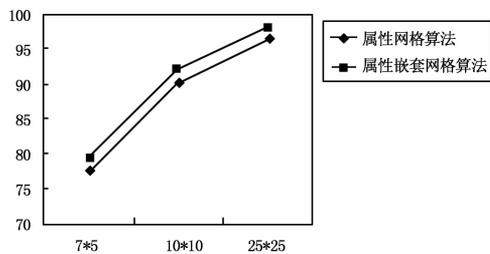


图 11 网格密度及识别方法对识别率的影响

\*\*\* \*\*

(上接第 1917 页)

以估算出  $320 \times 256$  图像的 DMA 通道采样速率为 49.0 Mbyte/s。采用同样的方式测试  $640 \times 512$  图像采集, 测得 DMA 通道采样时间 25.2 ms, 估算 DMA 速率 49.7 Mbyte/s。可以看出 DMA 采集速率在不同分辨率下可以稳定工作。

从整体的测试结果来看, 该图像采集处理系统能够实现高速 LVDS 信号的采集、存储及显示, 能够可靠稳定运行。并在连续半小时以上, 未发生数据错误、丢失的现象, 显示清晰流畅, 系统速率稳定, 并未影响到上位机的其他操作。

#### 4 小结

本文研究了一种基于 PCI 总线技术, 适用于红外探测器图像信号测试要求的图像采集系统。为多分辨率的红外探测器图像采集系统开发, 提供了一种高效可行的设计方案, 具有很高的工程实践价值。

#### 4 小结

在实际过程中, 车牌的识别算法是较为复杂的。本文主要是叙述车牌字符的划分以及对字符识别的算法设计。采用属性嵌套网格的算法和特征模式做匹配, 该算法不仅以整体的方式对特征部分详细分析, 而且还把需要进行识别的字符创建了全局以及局部的属性网格。这样, 良好的逻辑结构层次使得需要识别的车牌字符建模较为方便, 不仅使得辨识的速率提升, 而且能够有效的抵抗外界的干扰。

#### 参考文献:

- [1] A novel license plate recognition method using HTD and VTD features [J]. Engineering Sciences, 2010, 01: 71-76.
- [2] 顾 弘, 赵光宙, 齐冬莲, 等. 车牌识别中先验知识的嵌入及字符分割方法 [J]. 中国图象图形学报, 2010, 05: 749-756.
- [3] 王洪元, 刘忠杰, 刘爱萍. 基于多特征组合的车牌识别算法 [J]. 常州大学学报 (自然科学版), 2010, 04: 47-51.
- [4] Implementing VLPR systems based on TMS320DM642 [J]. Journal of Zhejiang University (Science A: An International Applied Physics & Engineering Journal), 2007, 12: 2005-2016.
- [5] Vehicle License Plate Character Segmentation [J]. International Journal of Automation & Computing, 2008, 04: 425-432.
- [6] Research on Acquiring Binarized Vertical Edge Image for Texture-Based Adapting License Plate Location [J]. International Journal of Systems and Control, 2008, 03: 192-198.
- [7] 颜靖华. 车牌信息识别技术算法研究 [J]. 信息安全, 2011, 04: 85-87.
- [8] 何兆成, 余锡伟, 余文进, 等. 字符多特征提取方法及其在车牌识别中的应用 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 23: 228-231.
- [9] 徐建闽, 贺敬凯. 车型与车牌自动识别技术分析 [J]. 交通与计算机, 2002, 02: 7-12.
- [10] 王晓华, 王晓光. Improved Approach Based on SVM for License Plate Character Recognition [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (English Edition), 2005, 04: 378-381.
- [11] Wavelet packet based feature extraction and recognition of license plate characters [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 02: 97-100.

#### 参考文献:

- [1] 朱沛立, 李建华. LVDS 技术的高速串行图像数据采集系统的设计 [J]. 机械与电子, 2012, 05: 51-53.
- [2] 邵 华, 刘亚斌, 徐志跃. 实时高速 LVDS 串行数据采集系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (3): 424-426.
- [3] 李 燕, 汤心溢, 葛 军, 等. 基于 FPGA 的多通道红外图像实时采集系统 [J]. 红外与激光工程, 2008, 02: 113-116.
- [4] 庄 良, 张 涌, 汤心溢, 等. 基于 PCI 总线图像注入式红外探测器仿真系统 [J]. 半导体光电, 2012, 05: 1363-1368.
- [5] PLX Technology Inc. PCI 9054 Data Book [Z]. US, 2000, 2, 1: 33.
- [6] 金鹏飞, 毛勇毅, 张宏君. 一种 FPGA 的 PCI 接口设计 [J]. 测控技术, 2013, 07: 79-82.
- [7] PLX Technology Inc. PCI 9054 PLX SDK User Manual [Z]. US, 2009, 6. 3: 1-2.
- [8] 何 琼, 陈 铁. 基于 PCI 总线图像采集卡系统设计及测控应用 [J]. 煤炭技术, 2011, 01: 153-155.