

文章编号: 1672-8785(2016)09-0008-05

基于 PCI Express 总线的红外图像实时采集与显示系统及其界面设计

李 冰^{1,2} 李范鸣¹

(1. 中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083 ;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 介绍了一种基于碲镉汞红外短波相机的图像实时采集与显示系统。以基于碲镉汞短波红外探测器以及 FPGA+DSP 硬件结构, 且具有手动调焦、调节积分时间和增减衰减片等多种功能的红外短波凝视相机作为采集系统的基础, 以 Camera Link 接口连接线作为传输通道, 采用兼容 PCI Express x4 总线的采集卡实现了红外图像的实时快速采集和显示。实验中, 设计了图像采集与显示界面, 以实现对相机的实时控制和对采集图像的调整; 设计了一种图像回放软件, 以完成存储图像检验和后期图像处理等工作。实验结果证明, 该系统的性能稳定可靠, 实时采集、传输和存储功能完备准确, 因此具有很高的工程实用价值。

关键词: 实时红外图像采集; PCI Express 总线; FPGA+DSP ; 界面设计

中图分类号: TN216 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.09.002

A Real-time Infrared Image Acquisition System Based on PCI Express and Its Interfacial Design

LI Bing^{1,2}, LI Fan-ming¹

(1. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai

200083, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A real-time image acquisition and display system based on a HgCdTe short-wave infrared staring camera is presented. The short-wave infrared staring camera uses a HgCdTe short-wave infrared detector and a FPGA+DSP hardware. It has several functions including manual focusing, adjustable integral time and increasable attenuators. Taking a Camera Link connection line as the transfer channel, the real-time and fast acquisition and display of infrared images are realized by using a acquisition card compatible with the PCI Express x4 technology. In the experiment, an image acquisition and display interface is designed for the real-time control of the camera and the adjustment of the acquired images. Also, an image storage software is designed for the checkout and post processing of stored images. The experimental results show that the system is stable in performance. It has several functions such as real-time image acquisition, display and storage. It is of great value to engineering projects.

Key words: real-time infrared image acquisition; PCI Expressbus; FPGA+DSP; interfacial design

收稿日期: 2016-04-23

作者简介: 李冰 (1990-), 女, 吉林人, 博士研究生, 主要研究方向为电路与系统。E-mail: libing1990230@sina.com

0 引言

红外探测技术具有精度高, 抗干扰能力强, 非接触、被动探测以及可昼夜工作等特点, 因此被广泛应用于各类军事探测领域。随着半导体技术的飞速发展, 红外探测器技术也日趋成熟。而红外探测器规模的不断增大, 使得需要传输和处理的数据量也随之增多。根据不同工作环境及条件的复杂性和工程应用等需要, 实时稳定的红外图像采集与观测系统已经成为了工程试验中不可或缺的条件。

作为新一代的 I/O 总线结构, PCI Express 总线不同于传统的结构形式, 它采用了点对点的串行连接方式和分层结构的通信协议。基于数据包的数据传输方式, 使其具有自己的专属链接。多个数据包之间可以共享同一总线来进行数据传输, 而且不会发生冲突, 从而提高了系统的扩展性和抗干扰能力。因此, 基于 PCI Express 总线的红外图像采集系统可以更有效地实现红外实时图像采集显示系统中大数据量的实时、稳定传输。

1 采集系统方案

1.1 探测器的选择

碲镉汞材料在红外探测器领域应用广泛, 因为其具有其他材料难以媲美的突出特点。比如, 在红外波段, 碲镉汞材料具有极高的光子吸收率, 而且在相同的温度条件下, 由该材料激发的热载流子所产生的暗电流极小。碲镉汞红外探测器可以工作在 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 和 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 三个大气窗口。本文采用的是工作波段为 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ 的碲镉汞短波红外探测器。

1.2 模数转换模块

探测器输出的光谱信号十分微弱, 而且由于碲镉汞探测器属于光伏型探测器, 需要先对输出信号进行电流-电压转换, 然后再对其进行放大处理。这些工作都是由模数转换芯片来完成的。

本文采用美国模拟器件公司生产的 AD9259 型 4 通道模数转换器。它具有 14 位转换精度,

其非线性误差为 0.5 LSB, 信噪比高达 73 dB, 采样速率为 50.0 MSPS。AD9259 型模数转换器具有可编程的时钟和数据校准以及可编程的数字测试模式。这些特性不仅增加了其灵活性, 而且在很大程度上减小了系统损耗。

1.3 DSP+FPGA 控制模块

在现阶段的信号处理领域, DSP+FPGA 结构逐步显示出了优越性, 并得到了广泛关注和应用。该结构具有应用灵活、通用性较强、便于模块化设计、开发周期短、易于维护和发展等特点, 因此非常适用于实时信号处理。

通过 DSP 与 FPGA 之间的通信, 可以实现对由模数转换模块输出的数字图像信号的缓存、图像处理以及相机控制等操作。其中, 图像处理包括图像的直方图均衡处理、图像去噪与平滑等预处理操作。另一方面, 相机可以同时输出数字和模拟图像, DSP+FPGA 控制部分可以实现对图像的显示控制, 比如亮度和对比度的调节。而且, 图像校正包括一点校正和两点校正, 这些工作也都是由这一控制部分完成的。相机控制包括对积分时间的修改和相机的调焦控制等。

1.4 Camera Link 接口通信模块

Camera Link 是一种基于美国国家半导体公司开发的 Channel Link 技术而制定的通讯接口标准, 它可以实现数字摄像机与采集卡之间的连接, 即可实现摄像机与采集卡之间图像数据、视频数据控制信号以及相机控制信号的传输, 其数据传输速率可达 2.38 Gbps。

Camera Link 标准定义了接口模式、相机控制信号、端口配置、图像数据位置以及引脚等等。该标准充分利用了低压差分信号的高速传输能力, 实现了数据的串并结合传送。通过采用这种接口标准, 不仅可以减少数字摄像机与采集卡之间的连接线数, 使得连接线更加易于制造, 而且还可提高通用性和增加传输距离。

1.5 采集板卡模块

PCIe-CPL64 是一款基于 PCI Express x4, 支持 PoCL (Camera Link 供电) 的图像采集卡。它可以支持两通道 Camera Link Base 配置、多接口面扫描和线扫描相机。这种图像采集卡的另一大特点是, 对于两个完全独立的相机, 只要将其配

置为 Camera Link Base 模式, 该采集卡就可以实现同时采集, 而且其图像传输率的最大值可以达到 512 MB/s。这里, 我们仅用一个通道, 并且只对一台相机进行图像采集和存储。

PCIe-CPL64 图像采集卡兼容 PCI Express x4, 其采集像素的时钟频率最高可达 85 MHz。它拥有 4 路 TTL 数字输入/输出和 2 路触发输入, 用于图像采集的 128 MB、200 MHz 的 DDR SDRAM, 支持 64 位内存寻址。通过采用这款采集板, 可以实现红外图像的大数据量、实时稳定的传输和存储。

1.6 主机控制显示模块

主机控制显示模块主要用于对采集系统进行测试和调试, 包括图像的实时显示、相机配置的设置、对采集到的连续图像的存储以及显示时模拟和数字图像的控制和调节。这一部分即为基于 VC6.0 C++ 语言的上位机界面软件。同时针对采集到的图像, 设计了一种用于检验存储数据并对所得到的数据进行分析和对比的回放软件。

2 系统结构及实现

2.1 相机部分

在本文系统中, 我们对探测器模块、模数转换模块以及 DSP+FPGA 模块进行了整合, 图 1 所示为封装后的碲镉汞红外短波相机。该相机由光学镜头、光伏型碲镉汞短波红外探测器和输出电路等构成。为了便于实验开展, 我们还为相机配置了一个足够支撑相机重量且可调节的三脚架。

光线经前端光学镜头到达探测器后被成像和输出, 然后再接受缓存处理等 (前端光路见图 2)。

这种相机的成像波段为 $0.8 \sim 2.5 \mu\text{m}$, 像元数为 320×256 , 像元尺寸为 $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$, 瞬时视场为 0.07 mrad , 光学口径为 171 mm 。该相机具有短波成像功能, 可以输出模拟视频和数字视频图像; 支持 Camera Link 接口, 可以实现与主机的通讯; 具有图像极性变换功能; 具有通过



图 1 碲镉汞红外短波相机

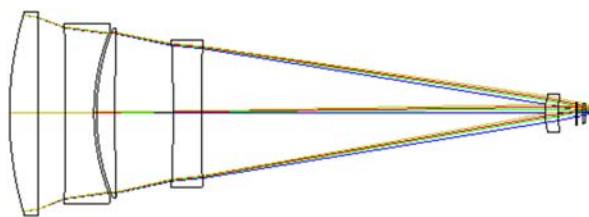


图 2 短波光学镜头光路

命令控制的手动调焦功能; 具有非均匀性校正功能。

通过这种相机可以实现图像成像、图像的模拟/数字转换以及图像存储和传输。

2.2 总体架构

整个数据采集显示系统主要分为相机部分、连接线部分以及主机云台 (包括采集卡) 部分 (见图 3)。在相机内部, 光学镜头完成光的能量会聚, FPGA 和 AD 完成对整个相机的驱动; 探测器将模拟信号输至 AD9259, 然后由 A/D 完成模数转换, 并将数字信号输给 FPGA; FPGA+DSP 结构完成对图像数据的预处理及缓存; DSP 通过连接线与主机进行通信, 完成对相机行为的控制; FPGA 将缓存后的数据输给连接线并到达采集卡, 进而由主机实时显示。相机和主机上电后, 等待相机 (探测器) 完成制冷, 此后即可对数据进行实时采集和显示。

3 实验结果

3.1 主机界面设计

由主机界面 (见图 4) 发出指令, 对相机进行实时控制。上电后, 相机首先要经过制冷。当环

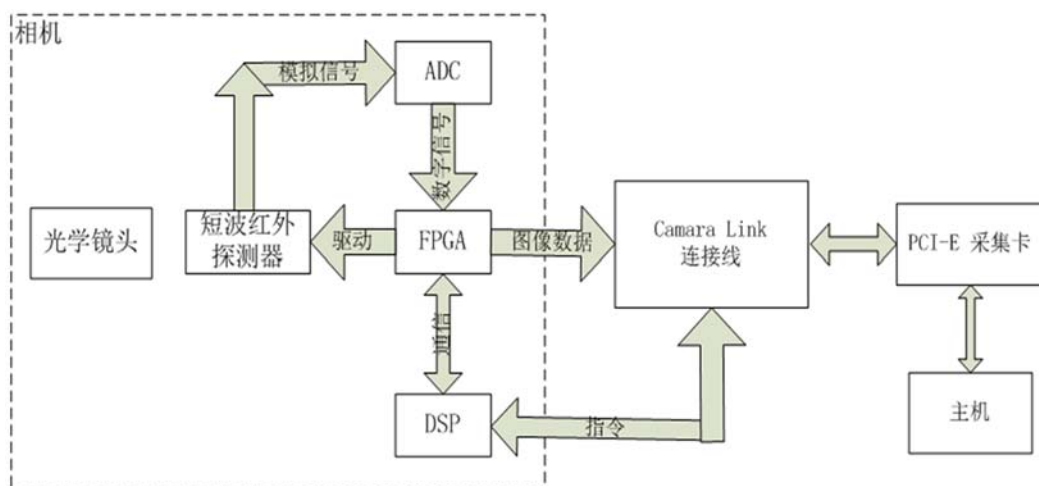


图 3 采集显示系统的总体架构



图 4 主机界面

境温度较高时, 制冷时间相对长些; 反之, 则仅需较短时间。制冷时间最长需要 7 ~ 8 min。制冷结束后, 打开界面, 并对相机参数进行配置, 随后即可进行实时控制等操作。

实验中, 可对相机输出的模拟视频图像和数字视频图像进行实时连续显示, 并可对亮度 and 对比度进行调节。对于视线范围内的图像, 可返回位置坐标和亮度信息。如图 4 所示, 该相机

具有非均匀性校正功能, 即可针对不同的背景和亮度环境, 对图像进行一点校正, 以达到更好的显示效果。

3.2 相机调焦控制部分

相机本身可以观看距离无限远的图像, 但需要进行调焦控制才可观察到细节。图 5 所示为近距离 (300 m 内) 和远距离 (5 km 外) 的红外图像。



图 5 近距离图像和远距离图像

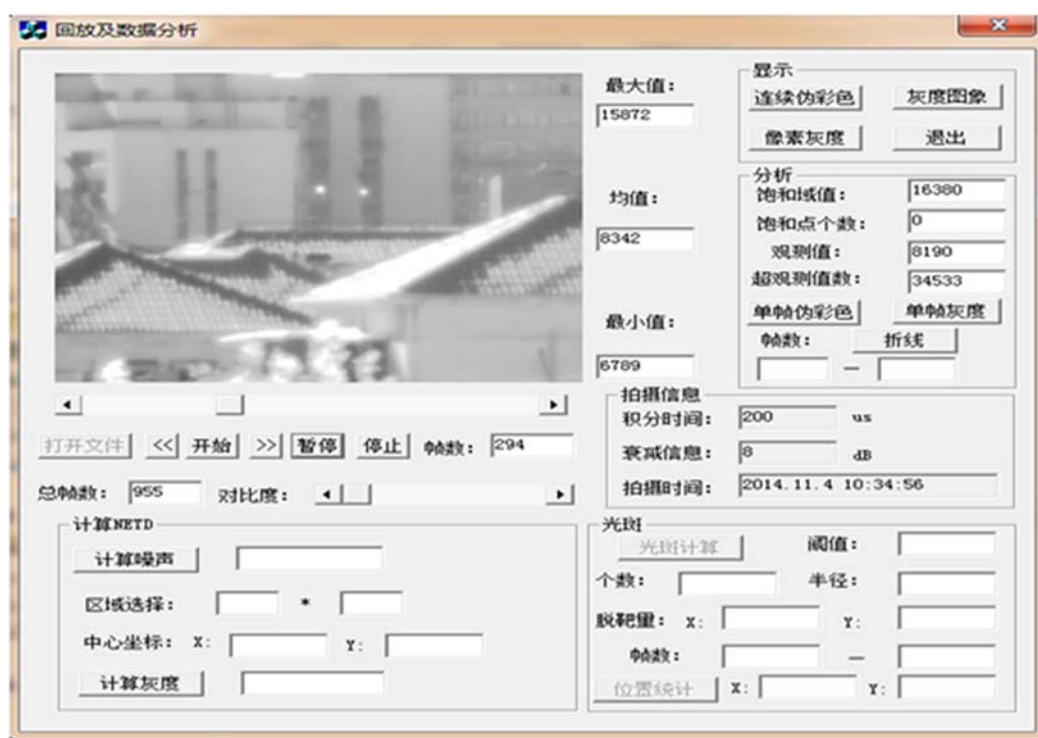


图 6 存储视频图像的回放界面

3.3 积分时间调节和衰减片的增减

此外, 图像采集显示界面还具有视频图像保存功能。图 6 所示为视频图像的回放界面, 以便对保存的图像进行进一步的观察和处理。

相机积分时间的调节范围为 $100 \sim 19 \text{ ms}$ 。当环境的平均亮度较高时, 较低的积分时间即可进行图像的实时显示和采集。然而, 当环境的整体亮度较低时, 则需要增加积分时间, 以达到观察和显示的目的。

但是当环境亮度超出一定范围时, 仅凭调节积分时间已经无法满足观察目的, 因此需要

增加其他条件。例如, 实验中的原始图像数据为 16 bit (低 14 bit 为有效数据), 当环境整体的平均灰度在 12000 左右 (最高为 16383) 时, 图像已经接近饱和, 且不利于观察。此时可在相机上增加衰减片, 即对进入相机的光线进行能量衰减。衰减后, 由于整体灰度下降, 可以更好地加以观察和处理。

图 6 中的小图所示为积分时间为 200 ms 且加入 2 dB 和 6 dB 衰减片后采集和存储的图像。衰减后, 图像的平均灰度在 8000 左右。

(下转第 24 页)